

Perkembangan Implementasi

# CO-FIRING

di Pembangkitan Jawa Bali



REGIONAL

# JMB

Jawa Madura Bali

Bidang Pengembangan  
Teknologi Ketenagalistrikan

SATUAN TEKNOLOGI PT PJB



Perkembangan Implementasi

# Co-Firing

di Pembangkitan Jawa Bali

REGIONAL JAWA BALI MADURA

Bidang Pengembangan  
Teknologi Ketenagalistrikan  
**Satuan Teknologi**  
PT Pembangkitan Jawa Bali  
2021



# Sambutan Dirut PT PJB

Sebagai yang terdepan di industri pembangkit listrik, PJB memiliki ambisi tersendiri untuk memaksimalkan penggunaan biomassa sebagai sumber energi bersih dalam memproduksi listrik yang andal. Untuk mewujudkan hal ini PJB telah melakukan riset terkait co-firing biomassa mulai Juli 2019 dan mulai melakukan pengetesan pada PLTU Paiton 1 & 2, 2x400 MW, pada September 2019. Sampai dengan Juli 2020 telah melakukan pengetesan pada 6 pembangkit lainnya. Tahapan riset dimulai dari studi literatur co-firing, studi kecocokan tipe biomassa dengan tipe boiler, studi potensi biomassa area sekitar pembangkit, melakukan pengujian, studi kelayakan operasi, lingkungan, finansial dan risiko.

Beragam jenis biomassa juga telah diimplementasikan pada tahap uji coba, mulai dari biomassa serbuk kayu, cangkang sawit, *wood pellet*, hingga *woodchip*. Setelah berhasil melalui tahap uji coba, beberapa unit PJB juga telah melakukan komersialisasi seperti PLTU Paiton 1 & 2. Selanjutnya komersialisasi co-firing akan disusul oleh PLTU PJB lainnya seperti PLTU Tenayan dan PLTU Ketapang.

Penghijauan PLTU tidak hanya berdampak pada peningkatan kualitas lingkungan sekitar PLTU saja, namun juga memberikan dampak positif pada sisi finansial. Co-firing telah berhasil melakukan penghematan sebesar Rp 21.330.000.000 / tahun tanpa adanya modifikasi di PLTU Paiton. Pada PLTU Ketapang, secara finansial dapat menurunkan BPP sebesar Rp 5,09 / kWh, atau berpotensi penghematan sebesar Rp 713.000.000 / tahun tanpa adanya modifikasi. Contoh penghematan lainnya tercermin pada PLTU Tenayan 1 & 2 melalui penurunan BPP sebesar Rp 3,70 / kWh atau berpotensi penghematan sebesar Rp 5.840.000.000 / tahun tanpa adanya modifikasi.

Melalui Co-Firing pada Unit Pembangkit batubara yang sudah ada, PT PJB meraih medali perunggu untuk kategori “Biomass Power Project of the Year” pada Asian Power Award 2020.

Buku yang disusun oleh Bidang Pengembangan Teknologi Ketenagalistrikan Satuan Teknologi ini mendokumentasikan konsideran pengimplementasian co-firing berikut bagaimana implementasinya di PLTU lingkungan Jawa Bali dan Madura. Semoga buku ini dapat memberi manfaat bagi para pembaca sekalian, dan kami berharap buku ini terus diperbaharui seiring bertambahnya pengalaman PJB dalam mengimplementasi co-firing.

Gong Matua Hasibuan  
Dirut PJB



# Kata Pengantar

Inisiatif Co-firing di PLN sudah dimulai sejak 2017 di mana ujicobanya mulai dilaksanakan pada 2019. Inisiatif ini dilaksanakan sebagai upaya sinergi antara PLN Pusat dengan beragam *stakeholder*: Pusenlis, Puslitbang, UIW, UIK, UIKL, IP, PJB, Ditjen EBTKE, BPPT, PSEUGM.

Pada Januari 2020 pelaksanaan diputuskan untuk dilakukan di seluruh PLTU milik PLN Group dengan syarat implementasi dilakukan setelah ujicoba dinyatakan berhasil, terdapat potensi biomassa di sekitar lokasi PLTU dengan harga di bawah harga batubara.

PT PJB sendiri, dengan Go Live Komersial *Co-Firing* Biomassa PLTU Paiton 2 x 400 MW, telah mengkokohkan diri sebagai pionir dalam melakukan akselerasi pemanfaatan Energi Baru Terbarukan (EBT) di Indonesia. Saat ini, PJB sudah mengujicoba co-firing di 3 jenis Boiler berbeda - *Pulverized coal*, *Circulating Fluidized Bed*, *Stoker* - dengan 10 jenis biomassa berbeda.

Buku ini mengulas tentang progress atau perkembangan implementasi Co-Firing di lingkungan PT PJB dan merupakan kompilasi dari laporan implementasi, *lesson learned* dan *best practice* yang kami pelajari. Buku ini tidaklah dimaksudkan untuk menggantikan dokumen laporan asli melainkan untuk memberi gambaran besar dan sisi yang lebih strategis.

Bab pertama dari buku ini mengulas tentang beragam pertimbangan yang menjadi dasar diterapkannya Co-Firing, berikut bagaimana gambaran umum implementasinya di Indonesia. Bab ke-2 mengulas kajian operasi untuk co-firing dari sisi biomassa-nya, parameter operasinya berdasarkan metode co-firing yang dipilih, berikut beberapa *lesson learned* dari penerapan co-firing di luar negeri dan dari *pilot project* Paiton. Bab ke-3 mengulas tentang Penanganan Bahan Bakar Biomassa, dilanjutkan dengan pembahasan terkait Pengujian dan Evaluasi di Bab IV. Bab V mengulas perihal yang cukup sensitif terkait dengan implementasi Co-Firing, yakni konsiderasi lingkungan dan keselamatan kesehatan kerja.

Besar harapan kami buku ini dapat membawa manfaat bagi para pihak yang berkepentingan. Secara isi, apa yang termuat sebagai bahasan di buku ini sejatinya akan terus berkembang seiring kematangan PJB dalam mengimplementasi co-firing untuk terus menjadi pelopor dan yang terdepan.

Ardi Nugroho  
Kabid Pengembangan Teknologi Kelistrikan PT PJB



# Daftar Isi

<b>SAMBUTAN DIRUT PT PJB .....</b>	<b>III</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>V</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>VII</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>XI</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>XV</b>
<b>BAB I PERTIMBANGAN UNTUK MELAKUKAN CO-FIRING .....</b>	<b>1</b>
1.1 KOMITMEN TERHADAP <i>GREEN ENERGY</i> .....	1
1.1.1 <i>Menuju Netral Karbon</i> .....	4
1.1.2 <i>Bio Energi untuk Mengurangi Kadar CO<sub>2</sub> dari Atmosfer</i> .....	6
1.2 PROGRAM CO-FIRING .....	8
1.2.1 <i>Co-Firing sebagai Teknologi Lebih Ramah Lingkungan</i> .....	8
1.2.2 <i>Masalah Lingkungan yang Memotivasi Co-firing</i> .....	9
1.2.3 <i>Beragam Segi Kemanfaatan Co-Firing</i> .....	12
1.2.4 <i>Potensi Co-firing di Indonesia</i> .....	14
1.2.5 <i>Program Co-Firing oleh PJB</i> .....	17
1.2.6 <i>Sinergi Program Co-firing di Indonesia</i> .....	21
1.3 POTENSI BIOMASSA DI INDONESIA .....	24
1.3.1 <i>Tuntutan Kebutuhan Listrik Nasional dan Potensi EBT</i> .....	24
1.3.2 <i>Potensi Biomassa</i> .....	26
1.3.3 <i>Kiprah Pemerintah Penuhi Suplai Bahan Bakar Co-firing</i> .....	27
1.3.4 <i>Rencana Strategis Pengembangan Percepatan Biomassa</i> .....	29
1.3.5 <i>Kerja Sama Terkait Penyediaan Biomassa</i> .....	30
<b>BAB II KAJIAN OPERASI CO-FIRING .....</b>	<b>33</b>
2.1 KAJIAN BIOMASSA.....	33
2.1.1 <i>Penerapan Biomassa</i> .....	35
2.1.2 <i>Jenis, Ukuran, dan Karakteristik Biomassa untuk Co-firing</i> .....	36
2.1.3 <i>Feed Stock: Variasi &amp; Kontinuitas Biomassa</i> .....	39
2.1.4 <i>Harga (Ekonomis) Biomassa</i> .....	40
2.1.5 <i>Proses Pembakaran Biomassa</i> .....	41
2.2 KARAKTERISTIK SEPUTAR BIOMASSA.....	45
2.2.1 <i>Carbon Neutral Biomass</i> .....	45
2.2.2 <i>Cl-induced Active Oxidation</i> .....	46
2.2.3 <i>Molten Salt Corrosion</i> .....	48
2.2.4 <i>Slagging</i> .....	48
2.3 METODE CO-FIRING .....	50
2.3.1 <i>Direct Co-firing</i> .....	50
2.3.2 <i>Indirect Co-firing</i> .....	53
2.3.3 <i>Parallel Co-firing</i> .....	54

<b>2.4 PARAMETER OPERASI CO-FIRING.....</b>	<b>55</b>
2.4.1 Pulverized Coal Boiler .....	55
2.4.2 Circulating Fluidized Bed.....	59
2.4.3 Stoker.....	64
<b>2.5 CATATAN LESSON LEARNED.....</b>	<b>68</b>
2.5.1 Penerapan Co-Firing Biomassa dari Luar Negeri.....	68
2.5.2 Co-firing Pembangkit di Amerika Serikat dan Eropa.....	69
2.5.3 Lesson Learn Co-firing Biomassa di PLTU Paiton 1-2.....	71
<b>BAB III PENANGANAN BAHAN BAKAR BIOMASSA .....</b>	<b>73</b>
<b>3.1 PERIHAL KUNCI.....</b>	<b>73</b>
3.1.1 Tantangan pada Manajemen Bahan Bakar .....	74
3.1.2 Umum.....	75
3.1.3 Quality Control .....	76
3.1.4 Pengelolaan .....	76
<b>3.2 SURVEI BIOMASSA .....</b>	<b>77</b>
3.2.1 Survei Wood pellet di PLTU Paiton .....	78
3.2.2 Survei Sawdust di PLTU Paiton 9 .....	79
3.2.3 Survei Serbuk Kayu di PLTU Pacitan.....	79
<b>3.3 PENYIAPAN BIOMASSA.....</b>	<b>79</b>
3.3.1 Pengadaan.....	79
3.3.2 Pengiriman dan Transportasi.....	80
3.3.3 Penyiapan .....	82
3.3.4 Pengeringan .....	84
3.3.5 Penyaringan (Screening).....	85
3.3.6 Penerimaan Bahan Bakar .....	86
<b>3.4 IMPLEMENTASI PENYIAPAN .....</b>	<b>87</b>
3.4.1 Persiapan Wood pellet dan Sawdust di PLTU Paiton .....	87
3.4.2 Persiapan Biomassa Sawdust di PLTU Paiton 9.....	88
3.4.3 Persiapan Serbuk Kayu PLTU Pacitan .....	89
<b>3.5 HANDLING BIOMASSA.....</b>	<b>89</b>
3.5.1 Penyimpanan Biomassa .....	89
3.5.2 Peralatan Penyimpanan Biomassa .....	90
3.5.3 Penempatan Biomassa .....	96
3.5.4 Pengelolaan Pemeliharaan Biomassa.....	97
3.5.5 Penghancuran Biomassa.....	100
3.5.6 Pencampuran Biomassa .....	102
3.5.7 Metode Pengelolaan Pencampuran Biomassa.....	110
3.5.8 Transportasi Biofuel ke Pembangkit Listrik.....	116
3.5.9 Pengukuran Feed Rate.....	117
<b>3.6 IMPLEMENTASI HANDLING BIOMASSA .....</b>	<b>117</b>
3.6.1 Handling Biomassa di PLTU Paiton 1-2.....	117
3.6.2 Handling Biomassa di PLTU Paiton 9.....	118
3.6.3 Handling Biomassa di PLTU Pacitan .....	120

## BAB IV PENGUJIAN DAN EVALUASI ATAS CO-FIRING ..... 123

4.1 KARAKTERISTIK BAHAN BAKAR .....	123
4.1.1 Karakteristik Bahan Bakar di PLTU Pacitan .....	123
4.1.2 Karakteristik Bahan Bakar di PLTU Paiton 9 .....	125
4.2 PELAKSANAAN PENGUJIAN .....	127
4.2.1 Pengujian di PLTU Paiton 1-2 .....	127
4.2.2 Pengujian di PLTU Paiton 9 .....	128
4.2.3 Pengujian di PLTU Pacitan .....	129
4.3 PERHITUNGAN, ANALISA DATA DAN EVALUASI PENGUJIAN.....	130
4.3.1 Evaluasi Pengujian di PLTU Paiton 1-2.....	130
4.3.2 Evaluasi Pengujian di PLTU Paiton 9 .....	130
4.3.3 Evaluasi Pengujian di PLTU Pacitan .....	130
4.4 TEKNIK DAN EVALUASI EKONOMI.....	131
4.4.1 Tantangan terkait Pembakaran Biomassa .....	132
4.4.2 Hambatan Pembakaran Biomassa .....	132
4.5 EVALUASI TEKNIS OPERASIONAL.....	133
4.5.1 Pengamatan Coal Biomass Mixing di PLTU Pacitan.....	136
4.5.2 Pengamatan Parameter Operasi Coal mill di PLTU Pacitan .....	137
4.5.3 Pengamatan Parameter Operasi Baseline di PLTU Pacitan.....	137
4.5.4 Pengamatan Parameter Operasi Co-firing di PLTU Pacitan .....	138
4.5.5 Pengamatan Load dan Total Coal Biomass Flow di PLTU Pacitan .....	138
4.5.6 Pengamatan FEGT di PLTU Pacitan.....	140
4.5.7 Pengamatan Smoke dan Carry Over di PLTU Pacitan .....	141
4.5.8 Evaluasi Hasil Pengujian Co-firing di PLTU Pacitan.....	142
4.6 SIMULASI CFD UNTUK CO-FIRING.....	143
4.7 EVALUASI BIAYA PRODUKSI .....	143
4.7.1 Perhitungan BPP Co-firing Biomass di PLTU Paiton 1-2 .....	144
4.7.2 Evaluasi Biaya Produksi di PLTU Paiton 9.....	146
4.7.3 Evaluasi Biaya Produksi di PLTU Pacitan .....	148
4.8 ACUAN BERDASARKAN LESSON LEARNED .....	150
4.8.1 Hasil Pengujian Co-firing 1% Wood Pellet .....	150
4.8.2 Pengujian Co-firing 3% Wood pellet di PLTU Paiton 1-2 .....	152
4.8.3 Pengujian Co-firing 5% Wood pellet di PLTU Paiton 1-2 .....	153
4.8.4 Pengujian Co-firing 5% Sawdust di PLTU Paiton 1-2 .....	158
4.8.5 Monitoring FEGT di PLTU Paiton 1-2 .....	159
4.8.6 Evaluasi Potensi Korosi dan Slagging di PLTU Paiton 1-2 .....	162
4.8.7 Simulasi Co-firing 5% di PLTU Paiton 1-2 .....	164
4.8.8 Evaluasi Operasional di PLTU Paiton 1-2.....	166
4.8.9 Pengamatan Coal Biomass Mixing di PLTU Paiton 9 .....	168
4.8.10 Pengamatan Parameter Operasi Coal mill di PLTU Paiton 9.....	169
4.8.11 Pengamatan Parameter Operasi Baseline di PLTU Paiton 9.....	169
4.8.12 Pengamatan Parameter Operasi Co-firing 5% di PLTU Paiton 9 .....	169
4.8.13 Pengamatan Load dan Total Coal Biomass Flow di PLTU Paiton 9 .....	170
4.8.14 Pengamatan FEGT di PLTU Paiton 9 .....	173
4.8.15 Pengamatan Potensi Korosi dan Slagging di PLTU Paiton 9 .....	175
4.8.16 Evaluasi Hasil Pengujian Co-firing di PLTU Paiton 9.....	177
4.9 TINDAK LANJUT CO-FIRING .....	178

## BAB V PERTIMBANGAN LINGKUNGAN DAN KESELAMATAN KERJA .....181

5.1 CO-FIRING DAN DAMPAKNYA PADA LINGKUNGAN .....	181
5.1.1 <i>Manfaat Lingkungan dari Co-firing Biomassa.....</i>	183
5.1.2 <i>Pengelolaan Emisi Udara .....</i>	184
5.1.3 <i>Kepatuhan Regulasi di Indonesia.....</i>	184
5.1.4 <i>Peraturan Lingkungan di Indonesia.....</i>	185
5.2 GAMBARAN DAMPAK LINGKUNGAN.....	187
5.2.1 <i>Dampak Lingkungan dari Pembakaran Biomassa .....</i>	187
5.2.2 <i>Dampak Lingkungan dari Co-firing di Boiler Siklon.....</i>	190
5.2.3 <i>Dampak Lingkungan dari Co-firing di Boiler Pulverized coal.....</i>	193
5.3 PERALATAN PEMBERSIH GAS BUANG .....	194
5.4 PENGELOLAAN LIMBAH CO-FIRING .....	195
5.4.1 <i>Air Limbah.....</i>	195
5.4.2 <i>Limbah Padat .....</i>	195
5.4.3 <i>Kebisingan.....</i>	195
5.4.4 <i>Limbah B3 dan FABA.....</i>	196
5.5 IMPLEMENTASI EVALUASI LINGKUNGAN .....	197
5.5.1 <i>Baku Mutu Emisi di PLTU Paiton 1-2.....</i>	197
5.5.2 <i>Pengujian Emisi Gas Buang di PLTU Paiton 1-2.....</i>	197
5.5.3 <i>Baku Mutu Emisi di PLTU Pacitan.....</i>	199
5.5.4 <i>Pengujian Emisi Gas Buang di PLTU Pacitan .....</i>	200
5.5.5 <i>Baku Mutu Emisi di PLTU Paiton 9.....</i>	202
5.5.6 <i>Pengujian Emisi Gas Buang di PLTU Paiton 9.....</i>	203
5.5.7 <i>Hasil dan Lesson Learned dari Evaluasi Lingkungan di PLTU Paiton.....</i>	205
5.6 KESEHATAN & KESELAMATAN KERJA SEPUTAR CO-FIRING BIOMASSA.....	207
5.6.1 <i>Peraturan Tentang Kesehatan dan Keselamatan Kerja .....</i>	207
5.6.2 <i>Pengelolaan Keselamatan dan Kesehatan .....</i>	208
5.6.3 <i>Rekomendasi untuk K3 Co-firing .....</i>	210

## DAFTAR PUSTAKA .....211

# Daftar Gambar

Gambar 1 Bauran Energi RUPTL 2019-2028.....	1
Gambar 2 Gambaran Transisi Energi .....	2
Gambar 3 Komitmen Pemerintah terhadap EBT.....	3
Gambar 4 Siklus Pemanfaatan Bio Energi.....	7
Gambar 5 Siklus Energi Biomassa.....	10
Gambar 6 Potensi Rabasan PLN Area untuk Co-firing PLTU.....	11
Gambar 7 Sebaran PLTU batubara di Indonesia yang Berpotensi Dilakukan Co-Firing .....	14
Gambar 8 Co-firing Project - 3 Commercial / 14 Tests / 20 Power Plants .....	16
Gambar 9 Peta sebaran PLTU di Indonesia per Regional.....	17
Gambar 10 <i>Co-firing</i> di PLTU Tembilahan.....	18
Gambar 11 <i>Co-firing</i> di PLTU Anggrek, Gorontalo.....	18
Gambar 12 <i>Co-firing</i> di PLTU Tenayan, Pekanbaru.....	19
Gambar 13 Penghargaan PROPER EMAS PJB Terkait Pencapaian di Bidang Co-Firing .....	19
Gambar 14 Skema Pengembangan Industri Biomass & Dukungan Kementerian/Lembaga.....	22
Gambar 15 Sinergi seputar <i>Wood Pellet</i> di PLTU Indramayu.....	24
Gambar 16 Potensi Total Sumber Energi Terbarukan di Indonesia .....	25
Gambar 17 Sumber Bahan Baku Biomassa .....	31
Gambar 18 Teknologi Konversi Termokimia, Produk Dan Potensi Penggunaan Akhir.....	34
Gambar 19 Sensitifitas Koefisien HPT Mendukung Harga Biomass yang Feasible - Simulasi Data UP Paiton.....	41
Gambar 20 Pembakaran Partikel Biomassa Kecil Berlangsung Dalam Tahapan yang Berbeda.....	42
Gambar 21 Analisis Termografis dari Empat Sampel Kayu .....	44
Gambar 22 Schematic Mechanism of Cl-induced Active Oxidation .....	47
Gambar 23 Direct Co-firing .....	50
Gambar 24 Co-milling Biomassa dan Batubara.....	51
Gambar 25 Co-firing Bersama Langsung dengan Injeksi Terpisah.....	52
Gambar 26 Indirect Co-firing .....	53
Gambar 27 Contoh Peralatan Gassifier .....	54
Gambar 28 <i>Pulverized Coal boiler</i> .....	56
Gambar 29 Circulating Fluidizing Bed Boiler .....	60
Gambar 30 Stoker Boiler.....	64
Gambar 31. Skenario Co-Firing Biomassa (Doosan) .....	69
Gambar 32 Pemetaan Potensi Biomassa di Area PLTU Paiton 9 .....	77
Gambar 33 <i>Hydraulic Dump Truck</i> yang Dapat Digunakan Untuk Transportasi Biomassa .....	81
Gambar 34 Ilustrasi Pengangkutan Biomassa .....	82
Gambar 35 Gambaran Proses Produksi <i>Wood Pellet</i> .....	84
Gambar 36. Proses Penerimaan, Penimbangan dan Unloading Biomassa <i>Sawdust</i> di Unit PLTU Paiton 1-2 .....	88
Gambar 37 Proses Unloading Saw Dust.....	88
Gambar 38 Terpal PE .....	91
Gambar 39 Terpal HDPE .....	92

Gambar 40 Terpal PVC .....	92
Gambar 41 Ilustrasi <i>Wheel Loader</i> .....	93
Gambar 42 Biomass Storage: Drax Power .....	94
Gambar 43 Alternatif Biomass Storage .....	95
Gambar 44 Posisi Penyimpanan Biomassa di <i>Coal Shelter</i> .....	96
Gambar 45 Biomass Storage: Drax Power .....	98
Gambar 46 Ilustrasi Penutupan Biomassa dengan Terpal .....	99
Gambar 47 Ilustrasi Pemanfaatan Stok Biomassa .....	99
Gambar 48 Ilustrasi Pengadukan dengan <i>Wheel Loader</i> .....	100
Gambar 49 Biomass Chipper Engine .....	102
Gambar 50 Proses <i>Mixing Saw Dust &amp; BB</i> .....	103
Gambar 51 Hasil <i>Mixing Saw Dust &amp; BB</i> .....	104
Gambar 52 Stacker/Reclaimer .....	104
Gambar 53 Bulldozer .....	105
Gambar 54 <i>Wheel Loader</i> .....	106
Gambar 55 <i>Coal bunker</i> .....	108
Gambar 56 <i>Coal feeder</i> .....	109
Gambar 57 Mill .....	109
Gambar 58 Penuangan Biomassa ke <i>Belt conveyor</i> .....	110
Gambar 59 Skema <i>Coal Handling System</i> .....	111
Gambar 60 Pencampuran di <i>Coal Stockpile</i> .....	111
Gambar 61 Teknik Penuangan Biomassa ke <i>Belt Conveyor</i> .....	112
Gambar 62 Penuangan Biomassa Sampah .....	113
Gambar 63 Teknik Memasukkan Pada Campuran Biomassa Sampah Dan Batubara Pada CFB Boiler.....	113
Gambar 64. Biomass Storage.....	117
Gambar 65. Proses <i>Mixing Biomassa Wood Pellet &amp; Batubara</i> .....	118
Gambar 66. Proses <i>Mixing Biomassa Sawdust &amp; Batubara</i> .....	118
Gambar 67. Proses Penerimaan <i>Sawdust</i> di Unit PLTU Paiton 9 .....	119
Gambar 68. Proses Mixing Biomassa & Batubara (a dan b), Proses Loading BB dan Bio ke RH (c).....	120
Gambar 69. Proses Mixing <i>Sawdust &amp; Batubara</i> .....	121
Gambar 70. Proses Penerimaan <i>Sawdust</i> di Unit PLTU Pacitan.....	121
Gambar 71 Pengamatan Sampling Fuel 5% dari <i>Coal Feeder</i> .....	136
Gambar 72 Grafik Pengamatan <i>Mill current</i> .....	137
Gambar 73 Grafik Pengamatan Operasi (a) Load dan (b) <i>Coal Flow</i> .....	139
Gambar 74. Pengamatan FEGT pada Boiler.....	140
Gambar 75. Grafik Pengamatan Furnace Exit Gas Temperature .....	140
Gambar 76. Pengamatan Gas Buang Keluar Stack Tidak Terlihat Black Smoke dan Carry Over.....	141
Gambar 77. Coal Biomass Mixing di Coal Yard.....	150
Gambar 78. Pengujian 1%: (a) sebelum <i>coal mill</i> , (b) setelah <i>coal mill</i> .....	150
Gambar 79. Pengujian 1%: Material Pyrite.....	151
Gambar 80. Pengujian 3%: (a) Sebelum <i>Coal Mill</i> , (B) Setelah <i>Coal Mill</i> .....	152
Gambar 81. Pengujian 5%: (a) Sebelum <i>Coal Mill</i> , (b) Setelah <i>Coal Mill</i> .....	153
Gambar 82. Pengamatan Sampling Fuel 5% dari <i>Coal Feeder</i> .....	154
Gambar 83. Drain Bottom Ash saat Uji Co-firing 5%.....	155
Gambar 84. Pengamatan Sampling Fuel 5% dari <i>Coal Feeder</i> .....	156
Gambar 85. Drain Bottom Ash saat Uji Co-firing 5%.....	157
Gambar 86. Pengujian 5%: (a) sebelum <i>coal mill</i> , (b) setelah <i>coal mill</i> .....	158
Gambar 87. Monitoring Coal Pyrate Mill A sd. E (dari Kiri ke Kanan).....	159

Gambar 88. Visualisasi Kondisi di FEGT .....	159
Gambar 89. Hasil Uji Sample <i>Fineness Co-Firing 5% Wood Pellet</i> .....	161
Gambar 90. Hasil Uji Sample <i>Fineness Co-firing 5% Sawdust</i> .....	161
Gambar 91. Isometric View Boiler PLTU Paiton 2x400MW .....	165
Gambar 92 Kontur Temperatur Boiler 3 Kondisi (100% Batubara, 95% Batubara, 5% Biomassa) .....	165
Gambar 93 Kontur Temperatur pada Boiler Nose 3 Kondisi (100% Batubara, 95% Batubara, 5% Biomassa) .....	166
Gambar 94 Pengamatan Sampling Fuel 5% dari Conveyor .....	168
Gambar 95. Pengamatan Sampling Fuel 5% dari <i>Coal Feeder</i> .....	168
Gambar 96 Pengujian 5%: Material Pyrite .....	170
Gambar 97 Grafik Pengamatan Operasi (a) Load dan (b) Coal Flow .....	171
Gambar 98 Grafik Pengamatan Operasi Gas Outlet Temperature Air Heater (a) A dan (b) .....	172
Gambar 99 Visualisasi Kondisi di FEGT .....	173
Gambar 100 Grafik Pengamatan Furnace Exit Gas Temperature (FEGT).....	174
Gambar 101 Tingkat NO <sub>x</sub> dari Boiler Berbahan Bakar Siklon yang Menggunakan Biomassa Dan Batubara Subbituminous.....	191
Gambar 102 Tingkat NO <sub>x</sub> dari Boiler Berbahan Bakar Siklon yang Menggunakan Biomassa Dan Batubara Bituminous Timur .....	192
Gambar 103. Pengambilan Data Emisi Gas Buang .....	197
Gambar 104 ResUME Pengujian Emisi Co-firing PLTU Paiton 1-2 .....	199
Gambar 105 Pengujian Emisi Gas Buang di PLTU Pacitan .....	200
Gambar 106 Hasil Pengujian Emisi Co-firing 0% - 5% di PLTU Pacitan.....	201
Gambar 107 ResUME Pengujian Emisi Co-firing 0% - 5% di PLTU Paiton 9 .....	204



# Daftar Tabel

Tabel 1 Kebutuhan co-firing di PLTU di Indonesia.....	15
Tabel 2 Potensi Co-firing Biomassa di PLTU milik PT PLN untuk Meningkatkan Bauran EBT .....	15
Tabel 3 Faktor Pembentukan Harga Biomassa Co-Firing .....	40
Tabel 4 Pengujian Co-firing di Pembangkit Eropa dan Amerika Serikat.....	70
Tabel 5 Ketersediaan Pasokan Biomassa di Sekitaran Area Paiton .....	78
Tabel 6 Kebutuhan Biomassa untuk Pengujian Co-firing .....	87
Tabel 7 Kebutuhan Serbuk Kayu untuk Pengujian <i>Co-firing</i> .....	89
Tabel 8 Kebutuhan Serbuk Kayu untuk Pengujian Co-firing.....	89
Tabel 9 Ketebalan Terpal Plastik .....	91
Tabel 10 Karakteristik Material Terpal Plastik.....	91
Tabel 11 Spesifikasi Penyimpanan Biomassa .....	95
Tabel 12 Contoh Spesifikasi Peralatan <i>Belt Conveyor</i> .....	106
Tabel 13 Contoh Spesifikasi Peralatan <i>Electronic Belt Weigher and Cycle Chains Load Checking Device</i> .....	107
Tabel 14 Komparasi Karakteristik Batubara dengan Biomassa Serbuk Kayu ....	123
Tabel 15 Komparasi Karakteristik Batubara dengan Biomassa <i>Sawdust</i> .....	126
Tabel 16 Aktivitas Pengujian Co-Firing di PLTU Paiton .....	128
Tabel 17 Aktivitas Pengujian Co-Firing di PLTU Paiton 9.....	128
Tabel 18 Aktivitas Pengujian Co-Firing di PLTU Pacitan.....	129
Tabel 19. Kelayakan Finansial: BPP.....	144
Tabel 20. Penambahan/ Penghematan Biaya Bahan Bakar pada Pola Operasi Co-firing Biomass .....	145
Tabel 21 Hasil Perhitungan SFC Kondisi Operasi Menggunakan 100% Batubara dan Co-firing 5% <i>Sawdust</i> .....	146
Tabel 22 Perhitungan SFC Kondisi Operasi 100% Batubara dan Co-firing 5% Serbuk Kayu.....	148
Tabel 23 Monitoring FEGT - Pengujian 1-3-5%.....	160
Tabel 24 Komparasi Karakteristik Batubara dengan Biomassa Wood pellet dan <i>Sawdust</i> .....	163
Tabel 25 Monitoring FEGT .....	174
Tabel 26 Komparasi Karakteristik Batubara dengan Biomassa <i>Sawdust</i> .....	175
Tabel 27 Emisi dari Pembangkit Listrik Berbahan Bakar Fosil 2000mw Menggunakan Batu Bara, Udara .....	189
Tabel 28 Baku Mutu Emisi PLTU.....	197
Tabel 29 Data Pengukuran Emisi Gas Buang pada Pengujian Co-firing Paiton .....	198
Tabel 30 Rekap Data Pengukuran Emisi Gas Buang pada Pengujian Co-firing PLTU Paiton .....	198
Tabel 31 Baku Mutu Emisi PLTU Batubara.....	199
Tabel 32 Pengujian Emisi Operasi Co-firing 0%.....	200
Tabel 33 Pengujian Emisi Operasi Co-firing 5%.....	201
Tabel 34 Baku Mutu Emisi PLTU Batubara.....	202
Tabel 35 Pengujian Emisi Operasi Co-firing 0%.....	203
Tabel 36 Pengujian Emisi Operasi Co-firing 5%.....	203
Tabel 37 Resume Pengujian Emisi Co-firing 0% dan 5% .....	203



# Pertimbangan untuk Melakukan Co-Firing



1



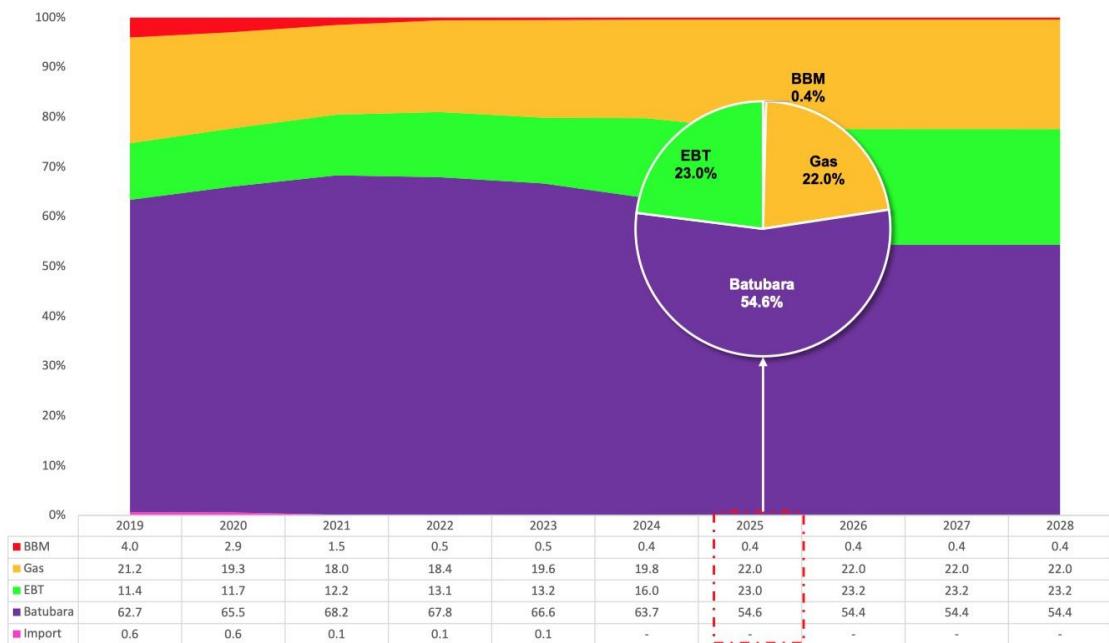
# Bab I

## Pertimbangan untuk Melakukan Co-Firing

### 1.1 KOMITMEN TERHADAP *GREEN ENERGY*

Jumlah penduduk yang terus bertambah mendorong meningkatnya permintaan terhadap energi, terutama untuk keperluan transportasi dan listrik. Sementara produksi energi fosil (tidak terbarukan) terus mengalami penurunan memaksa pemerintah harus mengimpor minyak bumi untuk memenuhi kebutuhan domestik. Guna mengantisipasi semakin terbatasnya cadangan energi fosil nasional serta meningkatnya kebutuhan energi masyarakat pemerintah menggalakkan penggunaan EBT. Ini dicapai antara lain melalui penggunaan pembangkit tenaga energi panas bumi, tenaga surya, bioenergi, tenaga air dan tenaga angin. Tidak hanya itu, pemerintah juga melakukan kebijakan penggunaan *biofuel* (B-20), yakni pencampuran bahan bakar mesin diesel dengan minyak sawit untuk mengurangi penggunaan energi fosil.

Di Indonesia, upaya tersebut salah satunya tercermin melalui rencana kerja PLN dalam RUPTL-nya yaitu mewujudkan target Bauran Energi Nasional untuk EBT 23% pada tahun 2025.



Gambar 1 Bauran Energi RUPTL 2019-2028

Dalam Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) 2019-2028, pemerintah menargetkan bauran Energi Baru Terbarukan (EBT) untuk pembangkit meningkat menjadi sebesar 23,2% pada 2028 atau dua kali lipat dari 11,4% pada 2019. Sementara bauran energi pembangkit listrik dari batu bara turun menjadi 54,45% pada 2028 dari 62,7% pada 2019.

Indonesia berkomitmen dalam NDC-nya untuk berkontribusi dalam solusi perubahan iklim global pada UNFCCC dengan pengurangan emisi GRK 29% di 2030 (BAU). PLN berkomitmen *best effort* dalam mencapai target bauran energi nasional 23% di 2025. Potensi Biomassa merupakan bahan bakar karbon netral dan dapat menjadi *alternative fuel* pengganti batubara.



Gambar 2 Gambaran Transisi Energi

Langkah yang diambil agar pemanfaatan EBT meningkat, pertama adalah dengan cara substitusi, melalui peningkatan bahan bakar nabati di sektor-sektor yang masih belum menggunakan B30, dan dengan dorongan Presiden, B30 akan dinaikkan menjadi B40 atau B50. Substitusi lain juga melalui program co-firing biomassa di PLTU batubara. Melalui program ini, pembangkit tidak perlu menambah kapasitas, dan tetap menggunakan mesin yang sama, tidak perlu menggunakan teknologi baru, melainkan bahan bakarnya yang ditambah dengan energi yang terbarukan seperti limbah dan sampah.

Yang kedua, konversi energi primer fosil khususnya diesel atau termasuk batubara ke PLT EBT, yang paling dekat yaitu konversi PLTD ke PLT EBT dan ini sudah masuk di dalam program di Kementerian ESDM maupun di PLN. Terdapat 5200 unit PLTD tersebar di 2000an lokasi secara nasional dengan total sekitar 2 GW. Tahap pertama di tahun 2021 dilakukan konversi untuk 225 MW dan sudah dimulai oleh PLN dan Ditjen EBTKE sudah melakukan persiapan untuk tahap kedua. yang ketiga, pembangkit baru berbasis EBT akan ditambah setelah terjadi *demand* baru, setelah keekonomiannya kembali normal, fokusnya pada penyediaan listrik yang murah dan bersih seperti Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Sebagai tambahan didorong

juga pemanfaatan EBT yang sifatnya non listrik dan bukan juga untuk yang non BBN. Pemanfaatan energi di pertanian misalnya untuk pengeringan tembakau, jadi tidak hanya dimanfaatkan untuk listrik tapi memanfaatkan energi terbarukan untuk proses yang lebih sederhana.

Salah satu strategi percepatan pemanfaatan energi baru terbarukan (EBT) menuju target 23% di 2025, dilakukan melalui substitusi energi. di masa pandemi Covid-19, di mana *demand* penggunaan energi turun dan ketersediaan dana untuk investasi juga terbatas, maka upaya substitusi energi untuk jangka pendek dan menengah menjadi pilihan yang tepat untuk mendorong EBT tanpa membebani PLN dan juga Pemerintah dengan subsidi. Realisasi strategi ini diwujudkan melalui program co-firing biomassa pada PLTU batubara eksisting, yang juga menjadi salah satu program Green Booster PT PLN (Persero). Program Co-firing biomassa menggunakan biomassa baik yang berbasis sampah, limbah maupun biomassa yang berasal dari tanaman energi. Co-firing biomassa pada PLTU batubara bukanlah hal baru. Banyak negara-negara lain yang telah berhasil meng“hijau”kan PLTU-nya dengan program co-firing biomassa, bahkan hingga 100% PLTU digantikan dengan biomassa.

Pemerintah Indonesia telah berkomitmen untuk menurunkan emisi gas rumah kaca. Komitmen ini telah tertuang dalam Dokumen *Nationally Determined Contribution* (NDC) yang merupakan tindak lanjut *Paris Agreement* yang disahkan melalui Undang-Undang Nomor 16 Tahun 2016. Dalam penyampaian First NDC disebutkan target penurunan emisi Indonesia hingga tahun 2030 sebesar 29% dari *Bussiness as Usual* (BAU) dengan upaya sendiri dan sampai dengan 41% dengan bantuan internasional.



Gambar 3 Komitmen Pemerintah terhadap EBT

## Bab I Pertimbangan untuk Melakukan Co-Firing

- \* Menurut ESDM cadangan biomass nasional memiliki potensi 32.6 GW dan mengandung sulfur yang lebih rendah dari batubara, namun masalah fuel supply masih jadi kendala untuk pengembangan potensi Biomassa
- \*\* Sejumlah perusahaan berkomitmen memiliki visi 2020 menggunakan 100% *Renewable Energy*. Saat ini mereka mengajukan pasokan listrik dari PLN dengan kategori premium *Green Energy* dengan sertifikasi khusus. Perusahaan yang memiliki komitmen tinggi itu antara lain: IKEA, Nestle, Philips, Swiss RE, BT, Formula E, H&M, KPN, Mars, Reed Elsevier dan Yoox

### 1.1.1 Menuju Netral Karbon



Pembakaran bahan bakar fosil, seperti batu bara, gas alam, dan minyak, mengeluarkan karbon dioksida dan polutan lainnya ke atmosfer. Emisi ini berkontribusi pada peningkatan suhu, kenaikan permukaan laut, dan perubahan pola cuaca. Karena karbon dioksida bertanggung jawab atas sekitar 75% dari semua emisi gas rumah kaca yang dihasilkan manusia, istilah ini merujuk secara khusus pada karbon daripada semua gas rumah kaca. Beberapa gas rumah kaca lainnya termasuk metana, hidrofluorokarbon, dan dinitrogen oksida.

Segala sesuatu yang kita lakukan yang menghasilkan karbon dioksida -- mulai dari mengemudi hingga menyalakan rumah dan banyak lagi -- membentuk jejak karbon kita. Menjadi "netral karbon" berarti bahwa kita, atau operasi bisnis kita atau ekonomi nasional kita, memancarkan jumlah karbon dioksida yang sama ke atmosfer yang kitaimbangi dengan cara lain. Menambahkan panel surya ke rumah, atau beralih ke kendaraan listrik adalah contoh hal yang dapat dilakukan untuk mengurangi keluaran karbon dioksida.

Mencapai netralitas karbon berarti bahwa keluaran karbon dioksida Anda memiliki dampak netral bersih terhadap lingkungan, dan dapat membantu membendung dampak perubahan iklim. Gas rumah kaca seperti karbon dioksida meningkatkan suhu rata-rata di seluruh dunia, yang pada gilirannya berkontribusi pada kenaikan permukaan laut, perubahan pola cuaca, dan faktor lain yang terkait dengan perubahan iklim.

Kita mencapai netral karbon jika jumlah karbon dioksida yang Anda keluarkan ke atmosfer sama dengan jumlah karbon dioksida yang kita keluarkan dari atmosfer. Setiap orang atau entitas dapat menjadi netral karbon -- seluruh pemerintah, perusahaan, atau individu. Ini dicapai dengan menyeimbangkan emisi karbon dengan teknik seperti penggantian kerugian karbon - yang melibatkan penghitungan emisi karbon dan berinvestasi dalam skema yang disertifikasi sebagai penghilangan sejumlah karbon dioksida dari atmosfer. Skemanya akan bervariasi, tetapi penanaman pohon adalah hal yang umum. Ini karena pohon secara alami menyerap karbon dioksida dari atmosfer, membantu mengurangi volume gas rumah kaca. Atau penggantian kerugian karbon dapat dilakukan hanya dengan tidak mengeluarkan karbon sama sekali - misalnya, memilih untuk bersepeda pascal daripada mengemudi mobil atau motor.

Saat ini, dunia bisnis menjadi semakin sadar akan perlunya bertindak untuk mengurangi total keluaran karbon. Microsoft telah mengumumkan bahwa mereka berkomitmen untuk menjadi negatif karbon pada tahun 2030. Terlebih lagi, Microsoft mengatakan bahwa pada tahun 2050, mereka berencana untuk menghilangkan semua karbon yang telah dilepaskan dari atmosfer sejak didirikannya Microsoft pada tahun 1975. Ini adalah komitmen signifikan dari masing-masing perusahaan, dan menggarisbawahi potensi pendekatan menggunakan emisi negatif, atau penghilangan karbon dioksida, untuk memainkan peran penting dalam memenuhi tujuan iklim internasional.

Netralitas karbon, atau "net zero", berarti bahwa setiap pelepasan ke atmosfer dari aktivitas manusia diseimbangkan dengan jumlah yang setara sebagaimana yang telah dikeluarkan. Menuju ke karbon negatif menuntut perusahaan atau negara untuk menghilangkan lebih banyak CO<sub>2</sub> dari atmosfer daripada yang dipancarkannya.

Untuk bisa memenuhi target iklim internasional yang ambisius mengharuskan emisi CO<sub>2</sub> global turun di bawah nol pada paruh kedua abad ini, hingga mencapai apa yang dikenal sebagai emisi negatif bersih. Namun, ini tidak berarti bahwa penghilangan karbon hanyalah solusi jangka panjang: teknologi juga dapat memainkan peran penting jangka pendek dalam transisi energi bersih. Teknologi ini dapat menetralkan atau mengimbangi emisi yang saat ini secara teknis menantang atau sangat mahal untuk ditangani. Ini termasuk dalam beberapa proses industri, seperti pembuatan baja dan produksi semen, dan transportasi jarak jauh, seperti pengiriman dan penerbangan.

Penting untuk dicatat bahwa teknologi penghilangan karbon bukanlah alternatif untuk mengurangi emisi atau alasan untuk penundaan tindakan. Tetapi ini semua dapat menjadi bagian dari portofolio teknologi dan tindakan yang diperlukan dalam menanggapi perubahan iklim secara komprehensif.

Salah satu strategi untuk mencapai target netral karbon tersebut adalah dengan mengembangkan secara masif energi baru terbarukan. Maka Pemerintah Indonesia pun menargetkan netral karbon di sektor energi dapat dicapai pada 2060 atau lebih cepat dengan bantuan internasional lewat

sejumlah strategi, sebagaimana dikomitmenkan oleh Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Arifin Tasrif.

Salah satu strategi untuk mencapai target netral karbon tersebut adalah dengan mengembangkan secara masif energi baru terbarukan (EBT), seperti pembangkit listrik tenaga surya, angin, biomassa, panas bumi, air, energi laut, nuklir, hidrogen, dan *battery energy storage system*.

Selain itu, juga mengurangi penggunaan sumber energi fosil dengan menerapkan program co-firing biomassa pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), memensiunkan PLTU dan pembangkit listrik *combined cycle* (CCPP) tua, mengonversi pembangkit listrik diesel ke pembangkit EBT, serta mengaplikasikan teknologi *carbon capture, utilization, and storage* (CCUS) pada pembangkit listrik fosil, di mana PLTU terakhir pensiun pada 2058 dan CCPP pada 2054.

Dalam upaya mencapai netral karbon, pemerintah juga akan melakukan interkoneksi transmisi jaringan listrik di Sumatra, Jawa, Kalimantan, dan Sulawesi, serta mengembangkan *smart grid*, dan meningkatkan pemanfaatan kendaraan listrik pada 2030 sebanyak 2 juta unit mobil listrik dan 13 juta unit motor listrik.

Adapun, pemerintah menargetkan pengurangan emisi CO<sub>2</sub> di sektor energi dapat mencapai 314 juta ton CO<sub>2</sub> pada 2030. Hingga 2020, realisasi penurunan emisi CO<sub>2</sub> mencapai 64,4 juta ton CO<sub>2</sub>.

### 1.1.2 Bio Energi untuk Mengurangi Kadar CO<sub>2</sub> dari Atmosfer

Ada beberapa cara untuk menghilangkan CO<sub>2</sub> dari atmosfer, yang sebagian besar termasuk dalam tiga kategori besar: (1) solusi berbasis alam, (2) tindakan yang bertujuan untuk meningkatkan proses alami, dan (3) solusi berbasis teknologi.

Solusi berbasis alam termasuk aforestasi dan reforestasi. Ini melibatkan penggunaan kembali lahan dengan menumbuhkan hutan yang sebelumnya tidak ada (aforestasi) atau membangun kembali hutan di mana sebelumnya ada (reboisasi). Solusi berbasis alam lainnya termasuk pemulihan habitat pesisir dan laut untuk memastikan mereka terus mengambil CO<sub>2</sub> dari udara.

Proses alami yang ditingkatkan termasuk pendekatan pengelolaan lahan untuk meningkatkan kandungan karbon dalam tanah melalui metode pertanian modern. Ini termasuk penambahan biochar (arang yang dihasilkan dari biomassa) ke tanah, di mana karbon dapat tetap disimpan selama ratusan atau ribuan tahun. Pendekatan yang kurang berkembang termasuk pelapukan yang ditingkatkan untuk mempercepat proses alami yang menyerap CO<sub>2</sub> (misalnya, dengan menambahkan batuan silikat mineral yang sangat halus ke tanah) atau pemupukan laut di mana nutrisi ditambahkan ke laut untuk meningkatkan kapasitasnya dalam menyerap CO<sub>2</sub>. Pendekatan pelapukan yang ditingkatkan dan pemupukan laut memerlukan penelitian

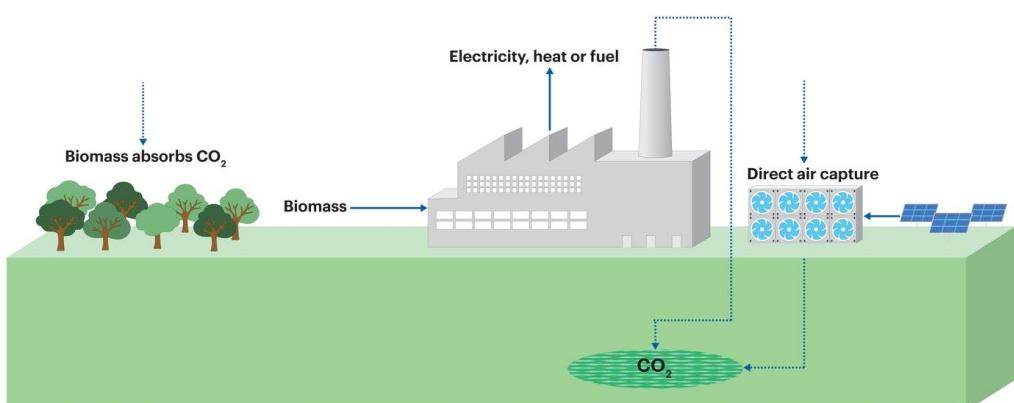
lebih lanjut untuk memahami potensi mereka dalam menghilangkan karbon serta biaya, risiko, dan pertukarannya.

Solusi teknologi termasuk bioenergi dengan penangkapan dan penyimpanan karbon (*bioenergy with carbon capture and storage, BECCS*) dan penangkapan udara langsung, yang - seperti namanya - melibatkan penangkapan CO<sub>2</sub> langsung dari atmosfer. Kedua solusi ini mengandalkan penyimpanan geologis CO<sub>2</sub> untuk menghilangkan karbon dalam skala besar dan dapat memainkan peran penting dalam transisi energi bersih.

Bio-energi dengan penangkapan dan penyimpanan karbon (*Bio-Energy with Carbon Capture and Storage, BECCS*) adalah proses mengekstraksi bioenergi dari biomassa dan menangkap serta menyimpan karbon, sehingga dikeluarkan dari atmosfer. Karbon dalam biomassa berasal dari gas rumah kaca karbondioksida (CO<sub>2</sub>) yang diekstraksi dari atmosfer oleh biomassa saat tumbuh. Energi diekstraksi dalam bentuk yang berguna (listrik, panas, *biofuel*, dll.) sebagaimana biomassa digunakan melalui pembakaran, fermentasi, pirolisis atau metode konversi lainnya. Beberapa karbon dalam biomassa diubah menjadi CO<sub>2</sub> atau biochar yang kemudian dapat disimpan dengan sekuestrasi geologi atau aplikasi lahan, memungkinkan penghilangan karbon dioksida dan menjadikan BECCS sebagai teknologi emisi negatif.

BECCS melibatkan penangkapan dan penyimpanan permanen CO<sub>2</sub> dari proses di mana biomassa dibakar untuk menghasilkan energi. Ini dapat mencakup pembangkit listrik yang menggunakan biomassa (atau campuran biomassa dan bahan bakar fosil); mill pulp untuk produksi kertas; kiln kapur untuk produksi semen; dan kilang yang memproduksi *biofuel* melalui fermentasi (etanol) atau gasifikasi (biogas) biomassa.

BECCS memungkinkan penghilangan karbon karena biomassa menyerap CO<sub>2</sub> saat tumbuh, dan CO<sub>2</sub> ini tidak dilepaskan kembali saat dibakar. Sebaliknya, itu ditangkap dan disuntikkan ke dalam formasi geologi yang dalam, mengeluarkannya dari siklus karbon alami.



Gambar 4 Siklus Pemanfaatan Bio Energi

BECCS adalah salah satu opsi penghilangan karbon yang paling matang. Ada sejumlah fasilitas BECCS yang beroperasi di seluruh dunia saat ini, menangkap CO<sub>2</sub> dari proses industri (misalnya, produksi etanol) dan pembangkit listrik berbasis biomassa.



### 1.2 PROGRAM CO-FIRING

#### 1.2.1 Co-Firing sebagai Teknologi Lebih Ramah Lingkungan

Selain mendorong PLTU menggunakan teknologi ramah lingkungan seperti *clean coal technology*, pemerintah melalui Kementerian ESDM juga mendorong pelaksanaan co-firing atau pencampuran bahan bakar PLTU batu bara dengan biomassa.

Penggunaan energi berupa Biomassa merupakan salah satu potensi energi terbesar di dunia yang bisa dimanfaatkan untuk mewujudkan target Bauran Energi Nasional. Bahkan Kementerian ESDM potensi energi biomassa Indonesia, secara teoritis diperkirakan mencapai sekitar 32 Gigawatt (GW).

Co-firing adalah praktik menambahkan bahan bakar tambahan ke bahan bakar dasar atau primer dalam pengoperasian boiler, turbin pembakaran, atau sistem pembangkit energi terkait. Co-firing biomassa biasanya melibatkan memasukkan limbah kayu, *switchgrass*, atau beberapa *biofuel* lainnya ke dalam boiler berbahan bakar batubara untuk memasok dari 1 hingga 10% energi yang dibutuhkan oleh sistem pembangkit tersebut. Dalam beberapa instalasi, *biofuel* yang disaring telah memasok hingga 50% masukan panas ke boiler.

Program Co-firing PLTU Batubara dengan biomassa merupakan salah satu dari Program PLN “Green Booster” untuk mendukung target bauran energi EBT nasional. PJB sudah menguji coba co-firing di 14 PLTU, baik di Jawa maupun Luar Jawa dari Kapasitas terkecil di PLTU Stoker Ropa 2x7MW sampai Kapasitas terbesar di PLTU Paiton 9: 1 x 660MW dengan persentase Co-firing 1-20%.

Pada dasarnya, co-firing dilakukan jika dapat membuat pembangkit listrik lebih efektif secara ekonomis untuk utilitas listrik. Efektivitas ini dapat disebabkan oleh pertimbangan kebijakan dan deregulasi, pertimbangan lingkungan, atau pertimbangan pasokan bahan bakar. Harus diakui bahwa co-firing dalam perekonomian saat ini membutuhkan penggunaan bahan bakar limbah, agar *biofuel* memiliki biaya yang cukup rendah untuk

memberikan harga bahan bakar yang kompetitif. Bahan bakar nabati ini biasanya merupakan limbah dari industri hasil hutan, operasi manufaktur perkotaan atau pinggiran kota yang menggunakan kayu sebagai bahan mentah atau menggunakan produk kayu dalam kegiatan perkapalan, agribisnis, atau industri jasa dalam transportasi atau pasokan energi (misalnya, palet, peti kayu, dunnage, dll.).

Karena *biofuel* saat ini adalah limbah industri dan perkotaan, penggunaannya sebagai bahan bakar utilitas bergantung pada kondisi lokal dan kekuatan pasar. Pada saat yang sama, kekuatan dan tren pasar nasional mempengaruhi kondisi lokal tersebut.

Operasi co-firing menawarkan metode untuk menghasilkan listrik dari bahan bakar biomassa terbarukan tanpa menimbulkan biaya dan penundaan yang terkait dengan perancangan dan pembangunan pembangkit listrik baru yang mampu menggunakan bahan bakar biomassa. Namun, menyatukan kayu dengan bahan bakar fosil lain memang menghadirkan peluang di mana perhatian khusus harus diberikan pada campuran bahan bakar untuk mencegah potensi masalah boiler. Selain itu, karena penggunaan bahan bakar biomassa sebagai bahan bakar co-firing tidak menyediakan kapasitas pembangkit baru, biaya pemasangan peralatan yang diperlukan untuk co-firing harus diamortisasi dengan penghematan yang dihasilkan dari operasi co-firing daripada dengan nilai penuh listrik yang dihasilkan.

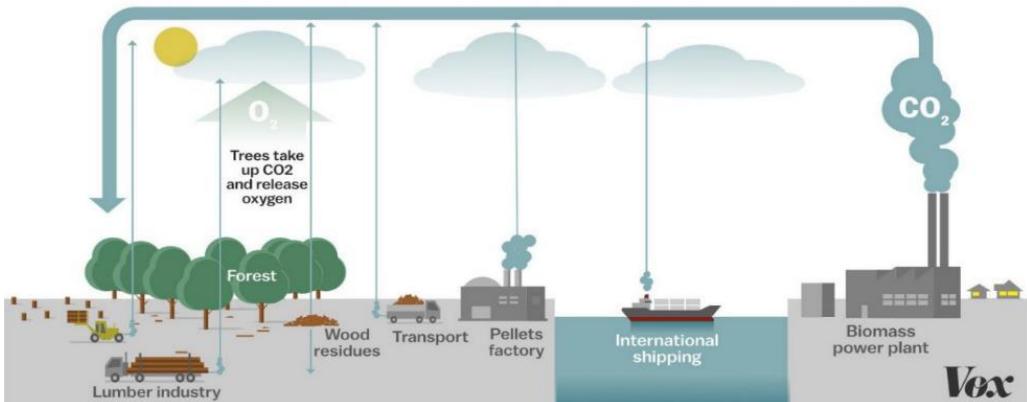
### 1.2.2 Masalah Lingkungan yang Memotivasi Co-firing

Faktor lingkungan yang memotivasi penggunaan teknologi co-firing mencakup faktor jangka pendek dan faktor jangka panjang. Faktor jangka pendek termasuk pengelolaan emisi udara termasuk opasitas, sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ), dan oksida nitrogen ( $\text{NO}_x$ ). Faktor jangka panjangnya termasuk pengelolaan gas rumah kaca, dan berupaya menghadapi tantangan iklim global dengan cara yang hemat biaya.

Isu global lingkungan saat ini dan isu nasional terkait perubahan iklim yang menginspirasi PJB untuk menginisiasi co-firing di beberapa PLTU adalah sebagai berikut:

1. United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)
2. Komitmen Indonesia dalam memberikan kontribusi terhadap solusi perubahan iklim global COP21 Paris Agreement Pengurangan emisi Gas Rumah Kaca (GRK) 29% terhadap BAU pada tahun 2030
3. RUPTL 2019-2028 (berdasarkan KEN): Target bauran energi nasional untuk EBT 23% pada tahun 2025
4. Potensi Energi Terbarukan: Potensi EBT menjadi energi sebesar 443208 MW dan pemanfaatannya masih rendah (1,9%) yakni 8215,5 MW
5. Harapan Konsumen PLN Listrik Andal, Murah dan Ramah Lingkungan Produk Premium *Renewable Energy*
6. Cadangan batubara *high rank* rendah, harga cenderung naik

### The cycle of biomass energy



Gambar 5 Siklus Energi Biomassa

### Co-firing Biomassa Merupakan Proses *Carbon Neutral*

Dalam siklus energi biomassa, selama pertumbuhannya, biomassa tersebut telah menyerap emisi Karbon Dioksida dari udara sekitar dengan proses fotosintesis. Proses ini membentuk sebuah siklus karbon tertutup yang disebut dengan *carbon neutral*. Penggunaan biomassa dalam sistem pembangkit listrik tentu akan mengurangi jejak karbon dari energi fosil secara signifikan. Tidak seperti energi fosil yang jejak karbonnya seharusnya terpendam di bawah tanah, justru terangkat ke permukaan sehingga menambah jumlah emisi karbon di udara.

### Co-firing Biomassa akan Mendorong Replantasi Lahan

Teknologi Co-firing telah umum digunakan di beberapa negara Eropa, Korsel dan Jepang, telah diuji coba di 12 PLTU yang dikelola PJB, dan merupakan bentuk komitmen terhadap isu lingkungan, pengurangan emisi CO<sub>2</sub> maupun reduksi gas rumah kaca sehingga akan mendorong reboisasi hutan, Replantasi Lahan hingga berkembangnya hutan tanaman energi



Gambar 6 Potensi Rabasan PLN Area untuk Co-firing PLTU

### Masalah Lingkungan Jangka Pendek

Karakteristik *biofuel* telah didokumentasikan dengan cukup baik. Karakteristik ini termasuk kandungan sulfur yang sangat rendah, biasanya memiliki kandungan nitrogen yang rendah, dan umumnya memiliki kandungan abu yang rendah. Lebih lanjut, karakteristik banyak *biofuel* termasuk memiliki konsentrasi yang lebih rendah dari beberapa jejak logam jika dibandingkan dengan berbagai batubara yang dibakar oleh perusahaan utilitas.

Fakta bahwa *biofuel* memiliki kandungan sulfur, nitrogen, dan abu yang rendah mengarah pada kemampuan untuk menggunakan bahan bakar ini untuk membantu mengelola SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, dan opasitas. Selanjutnya, karena *biofuel* telah terbukti efektif sebagai bahan bakar reburn, mereka dapat digunakan dalam aplikasi khusus untuk meningkatkan manajemen NO<sub>x</sub> di mana teknologinya dapat diterapkan.

### Masalah Lingkungan Jangka Panjang

Masalah lingkungan jangka panjang yang ditangani dengan co-firing termasuk emisi gas rumah kaca yang disebabkan oleh firing bahan bakar fosil seperti batu bara. Secara bersamaan, emisi ini disebabkan oleh peluruhan anaerobik biomassa di tempat pembuangan akhir. Co-firing menyediakan sarana langsung untuk mengurangi konsumsi batubara dalam boiler utilitas. Pada saat yang sama, co-firing mengalihkan bahan biomassa seperti kayu sisa yang bisa berakhir di tempat pembuangan sampah di mana ia membusuk dan membentuk gas metana (CH<sub>4</sub>) dan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>).

CO<sub>2</sub> berbasis bahan bakar fosil dianggap sebagai gas rumah kaca yang penting. Sejauh mana *biofuel* diganti dengan bahan bakar fosil mengurangi

pembentukan emisi ini. Karena *biofuel* dianggap sebagai bagian dari biosfer sedangkan bahan bakar fosil dianggap menambah karbon ke biosfer, substitusi biomassa dengan batu bara dianggap sebagai cara untuk mengurangi emisi gas rumah kaca CO<sub>2</sub>. Perusahaan utilitas yang berpartisipasi dalam program tantangan iklim global secara sukarela mungkin menganggap bahwa co-firing sebagai metode yang hemat biaya untuk memenuhi target dan sasaran, tergantung pada ketersediaan dan biaya bahan bakar nabati yang dipasok secara lokal.

### 1.2.3 Beragam Segi Kemanfaatan Co-Firing

- Dibandingkan dengan opsi energi terbarukan lainnya, co-firing biomassa menghadirkan risiko investasi yang rendah. Pengeluaran modal awal bisa sebanyak 20 kali lebih sedikit daripada teknologi terbarukan lainnya untuk jumlah energi yang sama dari co-firing biomassa. Lebih lanjut, proyek co-firing biomassa dapat dengan cepat dipasang dan diintegrasikan ke dalam portofolio
- Proses Co-firing dilakukan tanpa menambah biaya (capex) ataupun membangun pembangkit EBT (biomassa) baru, sehingga sangat Competitive. Benefit yang diharapkan dengan program co-firing pada PLTU Batubara adalah Reduksi Emisi, Penghematan BPP dan meningkatkan Fuel Alternate Competitiveness bagi PLN
- Jika harga biomassa naik ke titik yang tidak ekonomis, boiler masih dapat menghasilkan listrik dari batu bara.
- Semua proyek co-firing biomassa umumnya mewujudkan peningkatan kinerja emisi relatif terhadap 100 persen pembangkit listrik berbahan bakar batu bara. Misalnya, pembakaran bahan bakar biomassa yang bersih biasanya mengurangi emisi sulfur, karbon dioksida non-biogenik, nitrogen oksida, dan logam, seperti merkuri.
- Bahan bakar biomassa alternatif dapat memberikan perlindungan terhadap volatilitas harga bahan bakar fosil dan memberikan pengaruh dalam negosiasi kontrak batubara.
- Dalam beberapa kasus, pihak utilitas mungkin dapat memulihkan kapasitas boiler yang hilang selama modifikasi boiler sebelumnya, khususnya peralihan ke batubara dengan kualitas lebih rendah (misalnya penurunan daya mill). Dalam kasus unit terbatas mill, metode injeksi atau gasifikasi terpisah dari co-firing akan digunakan. Metode co-milling bersama tidak akan mengurangi pengurangan kapasitas dalam unit terbatas mill.
- Utilitas dapat mewujudkan hubungan masyarakat yang positif dengan memberikan solusi pembuangan limbah lingkungan yang saling menguntungkan. Misalnya, dengan menambahkan co-firing pelet lumpur limbah ke boiler yang ada, perusahaan utilitas dapat membantu masyarakat lokal dengan membakar limbah yang mungkin ditimbun dan menimbulkan biaya. Semua pihak akan jadi merasakan penghematan biaya dan keuntungan.

Manfaat co-firing bagi pihak utilitas, pelanggannya, dan wilayah layanannya terletak pada bidang-bidang berikut:

- Menyelesaikan pembuangan limbah kayu yang nyaman atau berbiaya rendah dari industri pelanggan, dengan demikian merangsang ekonomi lokal dan mengurangi masalah masyarakat;
- Membangun pasar awal untuk biomassa, dengan demikian mendorong industri dan pertanian lokal untuk menghasilkan pasokan baru bahan bakar terbarukan ini;
- Mengurangi merkuri, SO<sub>2</sub> dan potensi emisi NO<sub>x</sub>;
- Dianggap sebagai CO<sub>2</sub> netral;
- Membutuhkan investasi modal rendah relatif untuk membangun pembangkit listrik baru; dan
- Mengonversi kayu (atau bahan bakar biomassa lainnya) menjadi listrik pada efisiensi termal yang lebih tinggi dibandingkan dengan pembangkit listrik tenaga kayu yang ada.

*Intangible Benefit* yang diperoleh PJB dengan melaksanakan *co-firing* adalah sebagai berikut:

1. Mendukung isu strategis global dan nasional, komitmen Indonesia dalam memberikan kontribusi terhadap solusi perubahan iklim global pada *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC).
2. Mendukung isu strategis global dan nasional, dan menjalankan amanat Undang-Undang RI nomor 16 tahun 2016 tentang *Paris Agreement*.
3. Mendukung isu strategis nasional dan PLN, yakni salah satu ide/inovasi untuk mencapai target bauran EBT 23% sesuai dengan RUPTL 2019-2028.
4. Memanfaatkan potensi EBT yang pemanfaatannya masih rendah yakni 1,9% (8.215,5 MW) dari potensi yang ada 443.208 MW.
5. Mendukung harapan konsumen PLN, dimana listrik andal, murah, dan bersumber dari *renewable energy*.
6. Mendukung produk baru PLN yakni *Premium Renewable Energy*.
7. Diversifikasi sumber energi primer, tidak tergantung pada batubara.
8. *Image* PJB di mata masyarakat meningkat, karena melakukan inovasi dan menjadi pionir di bidang Energi Baru dan Terbarukan,
9. *Image* PJB di mata *stakeholder* meningkat, karena melakukan inovasi untuk mendukung isu strategis *stakeholder*,
10. Harapan konsumen PLN listrik andal, murah dan ramah lingkungan produk *Premium Renewable Energy*.

Teknologi pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) berbasis biomassa dapat membuka lapangan kerja dan peluang bisnis baru karena sampah dapat menjadi bahan bakar untuk menghasilkan energi.

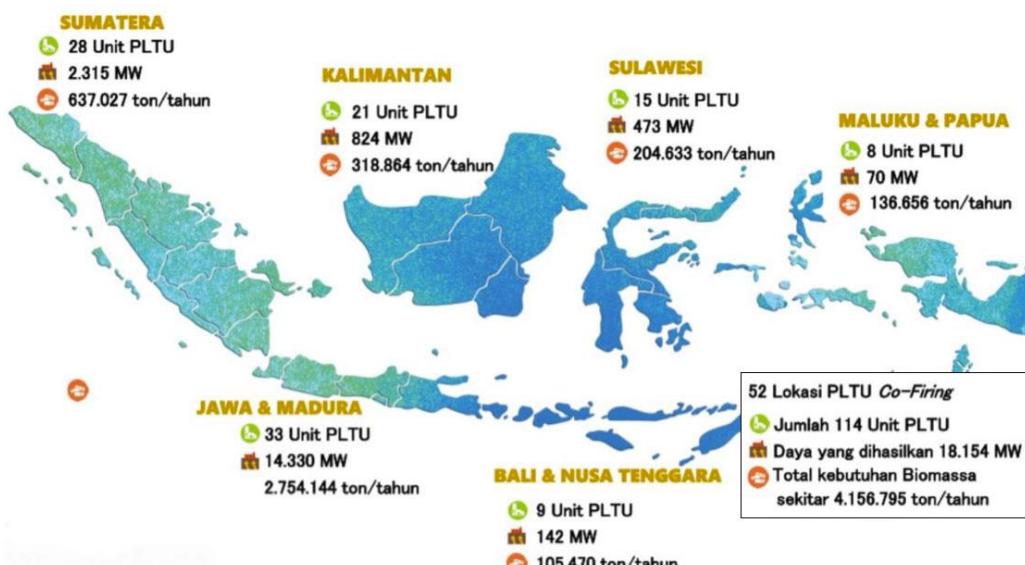
Biomassa untuk co-firing bisa diambil dari limbah pertanian, industri pengolahan kayu, rumah tangga serta tanaman energi yang dibudidayakan sehingga bisa memberikan nilai ekonomi bagi masyarakat.

Co-firing berdampak positif kepada pengembangan ekonomi kerakyatan karena dapat membuka lapangan kerja dan peluang bisnis di sektor biomassa khususnya yang berbasis sampah dan limbah

Suplai sampah yang stabil penting agar harga listrik tetap terjangkau dan tidak melebihi biaya pokok penyediaan.

### 1.2.4 Potensi Co-firing di Indonesia

Saat ini banyak beroperasi PLTU batubara skala kecil-menengah dengan teknologi *Circulating Fluidized Bed* (CFB). PLN Puslitbang sebagai lembaga riset dari PLN sedang melakukan kegiatan penelitian dalam rangka upaya untuk menggunakan bahan bakar alternatif yaitu cangkang sawit yang tersedia di sekitar lokasi PLTU untuk digunakan sebagai substitusi bahan bakar batubara. Terkait dengan kegiatan tersebut PLN Puslitbang bekerja sama dengan Balai Besar Teknologi Konversi Energi (B2TKE) BPPT dalam melakukan kajian karakterisasi pembakaran skala laboratorium yang diperlukan sebelum dilakukan uji coba pembakaran dalam skala penuh di PLTU tipe CFB.



Gambar 7 Sebaran PLTU batubara di Indonesia yang Berpotensi Dilakukan Co-Firing di Biomassa

Untuk memenuhi kebutuhan co-firing di PLTU di Indonesia maka dibutuhkan pellet biomassa sebanyak 4,16 juta ton per tahun (untuk persentase pellet biomassa 5%&30%) atau pellet sampah sebanyak 749 ribu ton per tahun (persentase pellet sampah 1%).

Tabel 1 Kebutuhan co-firing di PLTU di Indonesia

PLN	Tipe PLTU	Unit	MW	Ton/Jam	Percentase Biomass	Biomass Ton/Hari	Biomass Wood Pellet Ton/Tahun	Biomass Pellet Sampah (1%) Ton/Hari	Biomass Pellet Sampah (1%) Ton/Tahun
	PC	45	15.490	8.646,00	5%	10.375,20	3.029.558,40	2075,04	605.911,68
CFB	39	2.435	1.813,00	5%	2.175,60	635.275,20	435,12	127.055,04	
STOKER	30	229	234,00	30%	1.684,80	491.961,60	56,16	16.398,72	
Total	114	18.154,00	10.693,00		14.235,60	4.156.795,20	2566,32	749.365,44	

Tabel 2 Potensi Co-firing Biomassa di PLTU milik PT PLN untuk Meningkatkan Bauran EBT

URAIAN %	1% Biomassa	3% Biomassa	5% Biomassa	10% Biomassa
Kapasitas (MW)	18.154	18.154	18.154	18.154
Produksi/tahun (kWh)	127,223,232,000	127,223,232,000	127,223,232,000	127,223,232,000
Prod. listrik dari biomasa/tahun (kWh)	1,272,232,320	3,816,696,960	6,361,161,600	12,722,323,200
Peningkatan Bauran Energi (%)	0,18	0,54	0,90	1,79

- Kapasitas PLTU merupakan bauran energi total kapasitas PLTU milik PLN dan anak perusahaan PLN (Sumber data: PLN)
- Peningkatan terhadap Bauran Energi Primer EBT tahun 2019 sebesar 9,15% (Sumber data: Pusdatin)
- Boiler PLTU sangat sensitif terhadap sampah anorganik, sehingga RDF direkomendasikan untuk boiler jenis CFB dan stoker, untuk jenis PC perlu kajian lebih lanjut. dari total PLTU CFB dan stoker dengan kapasitas 2.650 MW, dibutuhkan pellet sampah 490 ton per hari atau 151.900 ton per tahun.

PJB mengawali penerapan co-firing di PLTU Paiton dengan menggunakan saw dust. Pengujian co-firing 1 persen biomassa dilakukan tanggal 2-5 September 2019. Hasil monitoring pada *coal mill* untuk *critical point* seperti arus *coal mill*, bowl pressure, *mill outlet temperature* menunjukkan masih dalam batas aman. Begitu juga pada pengujian tahap dua dengan komposisi biomassa 3 persen dan 5 persen. Hasil monitoring pada *coal mill* untuk *critical point* seperti arus *coal mill*, bowl pressure, *mill outlet temperature* menunjukkan masih dalam batas aman. Co-firing di PLTU Paiton bukan saja menghemat biaya bahan bakar, tetapi juga menurunkan kadar emisi SO<sub>2</sub> dari 523 mg/Nm<sup>3</sup> menjadi 456 mg/Nm<sup>3</sup>. Juga terjadi perbaikan pada gas buang NO<sub>x</sub> sebelumnya 344 mg/Nm<sup>3</sup> menjadi 330 mg/Nm<sup>3</sup>.

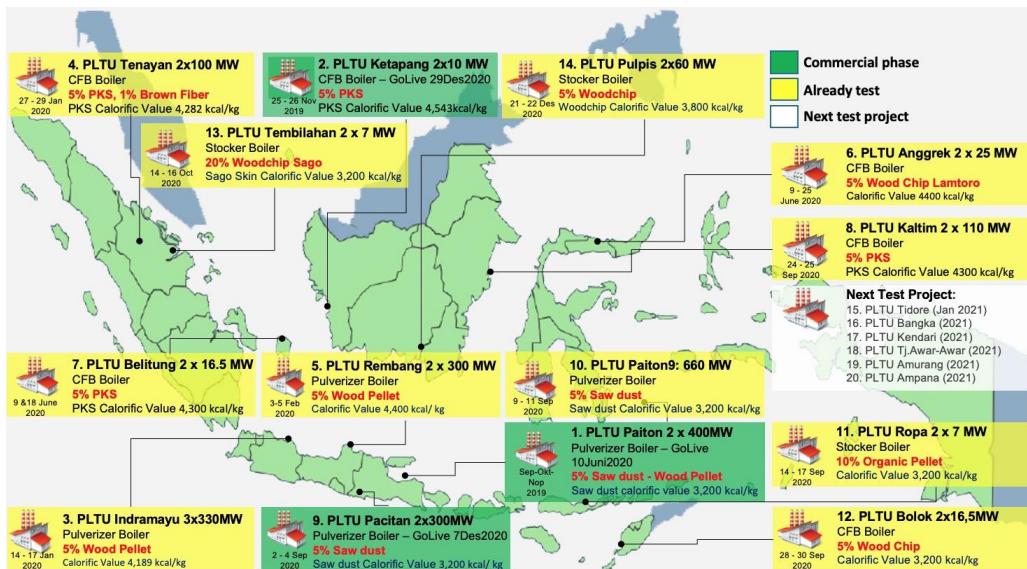
Keberhasilan co-firing di PLTU Paiton dikembangkan ke unit-unit lain, yaitu;

- PLTU Paiton-Jawa Timur (2 x 400 MW)
- PLTU Indramayu-Jawa Barat (3 x 330 MW)
- PLTU Rembang-Jawa Tengah (2 x 300 MW)
- PLTU Pacitan-Jawa Timur (2 x 315 MW)

## Bab I Pertimbangan untuk Melakukan Co-Firing

- PLTU Paiton 9 – Jawa Timur ( 1 x 660 MW)
- PLTU Tenayan-Riau (2 x 100 MW)
- PLTU Anggrek-Gorontalo (2 x 25 MW)
- PLTU Belitung (2 x 16,5 MW)
- PLTU Teluk Kaltim (2 x 110 MW)
- PLTU Ketapang-Kalimantan Barat (2 x 10 MW)
- PLTU Tenayan-Riau (2 x 100 MW)
- PLTU Anggrek-Gorontalo (2 x 25 MW).
- PLTU Anggrek-Gorontalo (2 x 25 MW).
- PLTU Ropa-Ende (2 x 7 MW)
- PLTU Bolok-Kupang (2 x 16,5 MW)
- PLTU Tembilahan-Riau (2 x 7 MW)
- PLTU Pulang Pisau-Kalimantan Tengah (2 x 60 MW)
- PLTU Bangka (2 x 30 MW).

Tahapan program Co-firing PLTU Batubara adalah: Design Review, Survey feedstock & Uji Laboratorium, Simulasi Numerik, Uji bakar di Unit, dan Persiapan Kontrak untuk GoLive Komersial. Saat ini, PJB sudah mengujicoba co-firing di 3 Boiler berbeda (PC, CFB, Stoker) dengan 10 jenis biomassa berbeda dlm skala lab/uji di unit (Pellet Kayu, Cangkang sawit, Sawdust, Pellet Organik, Woodchip Kayu Lamtoro, Woodchip Kayu Sagu, Woodchip Rabasan, Woodchip Kayu Gamal, Sekam padi, Pellet EFB).

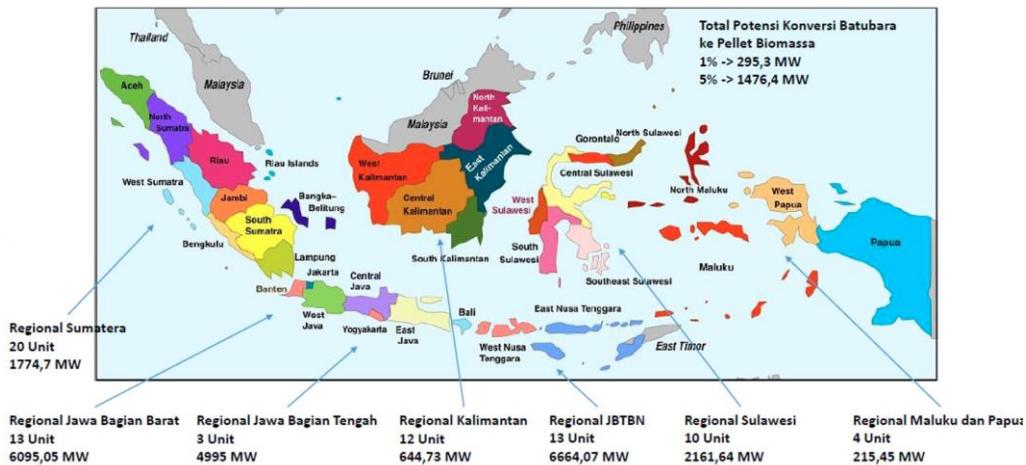


Gambar 8 Co-firing Project - 3 Commercial / 14 Tests / 20 Power Plants

- Realokasi anggaran batubara menjadi anggaran untuk pembelian biomassa.
- Penetapan lingkup/format dan kriteria untuk rekomendasi teknis yang akan dikeluarkan PLN Puslitbang mengacu Perdir 01/2020.
- Menetapkan Alur Proses persetujuan Kantor Pusat untuk PLTU yang sudah ujicoba, sudah mendapat rekomendasi dari PLN Puslitbang

## Bab I Pertimbangan untuk Melakukan Co-Firing

dan sudah mengamankan pasokan biomasnya, untuk masuk ke tahap implementasi.



Gambar 9 Peta sebaran PLTU di Indonesia per Regional

- Penugasan kepada PJB untuk menyusun standar Kontrak Penyediaan Bahan Bakar Biomassa Hutan Tanaman Energi (HTE) dan penugasan kepada IP untuk menyusun standar Kontrak Penyediaan Bahan Bakar Biomassa Sampah.
- Koordinasi dengan Kementerian ESDM untuk penerbitan Kepmen Penugasan dari Menteri ESDM kepada PLN dan untuk upaya pengalokasian biomassa untuk keperluan co-firing PLTU dengan harga khusus PLN.
- Beberapa pihak sudah menyatakan kesediaan sebagai pemasok biomassa namun dengan harga mengacu kepada harga pasar (ekspor) yang lebih tinggi dari harga batubara. Perlu koordinasi untuk memulai pertemuan dan pembahasan dengan stakeholder terkait.
- Koordinasi dengan Kementerian ESDM untuk penerbitan Surat Keputusan bahwa kWh yang dihasilkan dari co-firing PLTU diakui sebagai bauran energi dari EBT. Ide penyusunan regulasi dan penyesuaian kebijakan Pemerintah untuk mendukung co-firing sebagai bauran energi EBT misal "Green Certificate".
- Pengaturan jenis biomassa Sampah yang aman untuk Boiler PLTU

### 1.2.5 Program Co-Firing oleh PJB

Hingga saat ini PJB telah memiliki pengalaman, analysis, maupun kompetensi yang diperlukan sebagai **Co-firing Engineering Services Provider**

- Plant design review
- Eq. capacity review
- Numerical simulation
- CFD engineering
- Biomass laboratorium
- Biomass database

## Bab I Pertimbangan untuk Melakukan Co-Firing

- Biomass provider
- Combustion test
- Feed stock potensial
- Engineering services
- Commercial & industrial analysis

PJB sejak tahun 2018, telah aktif melakukan kerjasama dengan Lembaga riset nasional, Lembaga riset PLN, Komtek Bioenergi ESDM, Institusi Perguruan Tinggi dan OEM Manufacture terkait pemanfaatan biomassa dalam co-firing di pembangkit *thermal*.

PJB Riset co-firing, telah dilakukan di 12 PLTU Batubara dengan 5 jenis biomassa yang paling mudah dijumpai di berbagai wilayah Indonesia dan merupakan motor penggerak program Green Booster PLN Persero

PJB menjadi pioneer dalam komersialisasi Co-firing untuk PLTU Batubara skala besar > 300MW dengan Go Livenya Co-firing PLTU Paiton 2x400MW pada 10 Juni 2020



Gambar 10 Co-firing di PLTU Tembilahan



Gambar 11 Co-firing di PLTU Anggrek, Gorontalo



Gambar 12 Co-firing di PLTU Tenayan, Pekanbaru



Gambar 13 Penghargaan PROPER EMAS PJB Terkait Pencapaian di Bidang Co-Firing

Melalui Co-Firing, inovasi terdepan Energi Baru Terbarukan (EBT) pada Unit Pembangkit batubara yang sudah ada, PT PJB meraih medali perunggu untuk kategori "*Biomass Power Project of the Year*" pada Asian Power Award 2020.

Melalui Co-Firing PJB berkomitmen untuk berperan aktif dalam meningkatkan pencapaian target bauran energi nasional dan pencegahan penambahan CO<sub>2</sub> di atmosfer dengan melakukan pembangunan pembangkit

## Bab I Pertimbangan untuk Melakukan Co-Firing

EBT serta pemanfaatan EBT pada pembangkit yang sudah ada yaitu dengan melakukan co-firing.

Pada Asian Power Award, melalui seleksi yang ketat, serta diawasi langsung oleh 5 juri dari berbagai perusahaan multinasional dari berbagai negara, PJB berhasil menggaet piala perunggu pada kategori *Biomass Power Project of the Year* setelah bersaing dengan ratusan paper berkualitas lainnya. Hal ini menjadikan bukti nyata diakui Co-Firing; upaya untuk meng-EBT-kan unit pembangkit batubara; pada kancah internasional.

Asian Power Award adalah awarding yang dikelola oleh majalah Asian Power, sebuah majalah dengan cakupan Asia Pasifik yang mendedikasikan dirinya untuk berkiprah pada bidang energi listrik.

Penghargaan ini merupakan salah satu penghargaan tertinggi bagi industri ketenagalistrikan di Asia dan PJB secara konsisten mendapatkan gelar dari penghargaan ini sejak keikutsertaannya di tahun 2017.

*Roadmap* Implementasi Co-firing Biomassa PJB adalah sebagai berikut:

### Tahun 2020

- Uji Coba Co-firing Lanjutan
- Penyusunan Regulasi dan Standar;
- Identifikasi teknologi dan ketersediaan *feedstock*;
- Penyusunan dokumen teknis: KKP, KKO, DED, Kajian Risiko, Rekomendasi teknis, dll;
- Manajemen *feedstock* dan kontinyuitas pasokan
- Pengoperasian Pilot Project

### Tahun 2021

- Operasi co-firing secara kontinyu;
- Konversi PLTU Co-firing Tahap 1 (prioritas kapasitas PLTU besar serta memiliki *feedstock* yang besar dalam range 50 km dari PLTU);
- Peningkatan *feedstock* Tahap 1 (peningkatan *feedstock* pada daerah yang memiliki PLTU kapasitas besar)

### Tahun 2022

- Konversi PLTU Co-firing Tahap 2 (prioritas kapasitas PLTU besar, *feedstock* sudah cukup hasil dari peningkatan *feedstock* tahap 1);
- Peningkatan *feedstock* Tahap 2 (peningkatan *feedstock* pada daerah yang memiliki PLTU kapasitas kecil);

### Tahun 2024

Konversi PLTU Co-firing Tahap 3 (prioritas ke kapasitas PLTU kecil yang memiliki *feedstock* sudah cukup hasil dari peningkatan *feedstock* tahap 2)

PJB mengimplementasikan co-firing secara komersial, 10 Juni 2020, dan mencatatkan diri sebagai pelopor co-firing di Indonesia.

### 1.2.6 Sinergi Program Co-firing di Indonesia

- PLN telah melakukan pengujian tahap I di 9 lokasi (1 sudah selesai pengujian, 8 masih berlangsung). Selanjutnya akan dilakukan pengujian tahap II di 8 PLTU;
- PLN membuat kajian penyediaan bahan baku yang bekerja sama dengan UGM dan BPPTn dimana UGM berfokus kepada penyediaan bahan baku dari masyarakat di sekitar PLTU dan pelatihan kepada masyarakat, sementara BPPT berfokus kepada identifikasi industri teknologinya;
- PT. Indonesia Power berfokus kepada implementasi co-firing dengan pellet sampah, sementara PJB dengan pellet biomassa;
- DJEBTKE saat ini sedang melakukan penyusunan RSNI pellet biomassa (kayu) dan sampah untuk bahan bakar co-firing.
- DJEBTKE berkoordinasi dengan KLHK terkait pengaturan harga bahan baku. PLN membuat tim kecil untuk menyatukan semua hasil pengujian PJB dan IP sehingga PLN dapat mengeluarkan template terkait pengelolaan sampah dari sisi teknis dan logistik.

#### University

1. Menyiapkan data potensi bioenergi di sekitar PLTU Batubara.
2. Menyiapkan usulan konsep bisnis dan materi pelatihan untuk rencana penyediaan pasokan biomassa yang melibatkan masyarakat/Pemerintah lokal dengan konsep ekosistem listrik kerakyatan

#### DIVEBT, DIVRPS, DITREG

1. Penyusunan Regulasi Pendukung untuk Pokok-Pokok Strategi Pengembangan EBT khususnya Implementasi Program Co-firing dan Nomenklatur Akuntansi PT PLN
2. Koordinasi dengan stake holder terkait seperti EBTKE, BKF, KLHK dan lain-lain.
3. Proses persetujuan Direksi untuk PLTU sebagai Quick Win Co-firing

#### KEMEN ESDM — EBTKE / GATRIK

1. Penugasan kepada PLN untuk co-firing PLTU dengan biomass
2. Penyusunan regulasi terkait alokasi Biomassa untuk PLN dengan harga yang ditetapkan
3. Penyusunan regulasi dan penyesuaian kebijakan untuk pengakuan Co-firing PLTU sebagai bauran energi EBT misal "*Green Certificate* untuk kWh energi Listrik"

# Bab I Pertimbangan untuk Melakukan Co-Firing

## Technology Research

Identifikasi Ketersediaan Industri Teknologi untuk Penyediaan *Feedstock* biomassa di sekitar PLTU Co-firing.

## Aset Owner/O&M PLTU

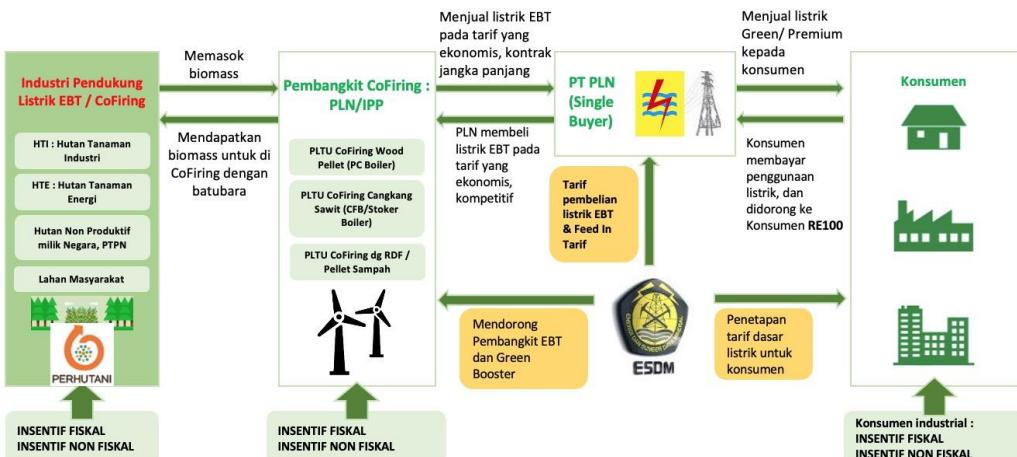
1. Pelaksanaan uji coba co-firing
2. Fokus pada implementasi co-firing dengan Pelet HTE
3. Fokus pada implementasi co-firing dengan Pelet Sampah.
4. Fokus pada implementasi co-firing Pelaksana Quick Win
5. Pelaksana Quick Win
6. Pembuatan standar kontrak pengadaan biomassa PLTU

## Research Institute PLN

1. Pendampingan uji coba co-firing PLTU
2. Rekomendasi besaran nilai persentase biomassa untuk co-firing PLTU.
3. Kajian Kelayakan Teknis implementasi co-firing PLTU
4. Memberikan rekomendasi teknis per PLTU yang melakukan implementasi co-firing PLTU

## Koordinator Program Co-firing PLN

1. Koordinator Program Green Booster diantaranya Co-firing PLTU Batubara dengan biomassa
2. Penyusunan 3 dokumen KKP Co-firing PLTU: CFB, PC, dan Stoker.
3. Penyusunan dokumen Engineering Design (ED) Standarisasi Implementasi Co Firing PLTU Batubara
4. Menyusun Kajian Risiko Co-firing PLTU Batubara dengan biomassa



Gambar 14 Skema Pengembangan Industri Biomass & Dukungan Kementerian/Lembaga

Dukungan dari kementerian/ lembaga terkait

- Usulan pengakuan KWH Green dari PLTU Co-firing dari Kementerian ESDM
- Arah kebijakan Insentif / feed in tarif untuk Pemasok dari Kementerian ESDM/ Keuangan yang mendukung implementasi Komersial Co-firing lebih luas hingga 5 %

### Joint Study & Roll Out Uji Co-firing di PLTU FTP1 Jaw



- PLN Litbang dan Pusenlis: kerjasama evaluasi hasil uji Co-firing PLTU; uji bakar cangkang, batubara dan fluidized sand di laboratorium
- IPB: kerjasama terkait Energi Primer dan plantation Kaliandra yang memiliki potensi Nilai Kalor menyamai batubara medium rank (4400-4500) dan low sulfur 0,09% (typical batubara 0,4:0,7%)
- MHPS & Sumitomo FW: kerjasama terkait experience di pemanfaatan biomass dalam Co Firing di pembangkit *thermal*
- BPPT: kerjasama uji bakar karakteristik bahan bakar sebelum uji bakar di boiler eksisting
- ITS: kajian pemodelan Co Firing Batubara dengan Biomass Paiton #1-2 terkait dengan: performa boiler, karakter pembakaran, pengaruh di emisi gas buang, dampak co firing dan *cost benefit analysis*
- Lemtek UI: Penelitian dan pengembangan mobile *gasifier*, pemetaan potensi PLTBm di Indonesia disertai dengan potensi biomassa-nya, teknologi PLTBm.



Gambar 15 Sinergi seputar Wood Pellet di PLTU Indramayu

### 1.3 POTENSI BIOMASSA DI INDONESIA



Penggunaan biomassa sebagai substitusi bahan bakar Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) sejalan dengan upaya Indonesia menuju *net zero emission* di masa depan. Selain turut meningkatkan kontribusi energi terbarukan pada bauran energi nasional, *co-firing* juga berdampak positif kepada pengembangan ekonomi kerakyatan (*circular economy*) karena dapat membuka lapangan kerja dan peluang bisnis di sektor biomassa khususnya yang berbasis sampah dan limbah.

Tantangan terbesar dalam implementasi co-firing biomassa diyakini adalah upaya untuk menjaga keberlanjutan pasokan bahan baku biomassa, yang tentunya dengan tetap mempertimbangkan aspek keekonomian untuk tetap menjaga dalam operasinya tidak melebihi Biaya Pokok Pembangkitan (BPP).

#### 1.3.1 Tuntutan Kebutuhan Listrik Nasional dan Potensi EBT

Kebutuhan listrik secara nasional terus bertumbuh dan PT PLN selaku penanggung jawab sampai saat ini belum bisa memenuhi target ideal yang diharapkan, dimana rasio elektrifikasi untuk Jawa Bali sampai dengan tahun 2018 adalah 96.33%. Untuk itu pemerintah membuat program pembangunan ketenagalistrikan 35.000 MW, yang diharapkan semua proses pengadaannya sudah tuntas pada tahun 2019. Sebagian besar pembangkit baru berbahan bakar batubara dengan jenis *low rank coal*. Kebijakan ini diambil karena sebagian besar cadangan batubara nasional adalah jenis *low*

*rank* yaitu sekitar 86.59% dari deposit batubara nasional. Cadangan batubara nasional terbesar adalah *low rank* yaitu subbituminous dan lignite dengan karakteristik nilai kalor rendah dan sulfur yang tinggi.

Disisi yang lain, menurut Kementerian ESDM cadangan biomassa di Indonesia memiliki potensi total 32.6 Gigawatt (GW). Biomassa mengandung sulfur yang jauh lebih sedikit dari kebanyakan batubara. Pemanfaatan biomassa dalam skala besar dengan investasi yang besar untuk pembangkit memang belum ada di Indonesia. Ada beberapa pembangkit biomassa dengan skala kecil yang dikelola swasta. Kendala utama pembangkit biomassa untuk pembangkit skala besar adalah masalah ketersediaan suplai *raw material* biomassa. Pemanfaatan biomassa dalam skala besar bisa juga dilakukan dengan metode co-firing dengan pembangkit batubara eksisting. Keuntungan yang diperoleh adalah: tidak perlu investasi besar, pemakaian biomassa bisa *intermittent* (menyesuaikan suplai biomassa), menurunkan emisi dan mengurangi ketergantungan pada *fossil fuel*.

Indonesia adalah negara kepulauan terbesar di Asia Tenggara yang terdiri dari 17.504 pulau menyebar di kedua sisi khatulistiwa. Hingga Januari 2017, cadangan terbukti minyak mentah Indonesia adalah 3,17 miliar barel sementara cadangan terbukti gas alam adalah 100,4 triliun kaki kubik (TCF) atau 2,8 triliun meter kubik (TCM). Indonesia juga merupakan eksportir batubara dengan cadangan batubara terbukti sekitar 29,9 miliar ton. Selain sumber daya energi fosil, sumber daya energi non-fosil Indonesia meliputi hidro, panas bumi, biomassa, dan energi terbarukan lainnya seperti matahari dan angin. Untuk pembangkit listrik tenaga air, estimasi potensi sekitar 75 gigawatt (GW) sedangkan potensi panas bumi diperkirakan lebih dari 28 GW. Secara total, potensi energi terbarukan di Indonesia adalah sekitar 441,7 GW. dari semua potensi *renewable energy* tersebut, saat ini hanya 2%, atau sekitar 9 GW, sudah dimanfaatkan.

Potensi Total <b>417,8 GW</b>		Pemanfaatan Total <b>10,4 GW (2,5%)</b>	
<b>17,9 GW</b>	 OCEAN	<b>0 MW (0%)</b>	
<b>23,9 GW</b>	 GEOTHERMAL	<b>2.130,7 MW (8,9%)</b>	
<b>32,6 GW</b>	 BIOENERGY	<b>1.895,7 MW (5,8%)</b>	
<b>60,6 GW</b>	 WIND	<b>154,3 MW (0,25%)</b>	
<b>75 GW</b>	 HYDRO	<b>6.078,4 MW (8,1%)</b>	
<b>207,8 GW</b>	 SOLAR	<b>150,2 MWp (0,07%)</b>	

Gambar 16 Potensi Total Sumber Energi Terbarukan di Indonesia

Menurut Rencana Energi Nasional (RUEN), energi terbarukan harus terdiri 33% dari total kapasitas pembangkit pada tahun 2025 (sekitar 45,2 GW). Namun, RUPTL 2018-2027 hanya merencanakan 14,3 GW energi terbarukan dari 51,8 GW yang direncanakan hingga 2025, jauh lebih rendah dari target RUEN [3]. Dalam realisasinya, sebaran energi terbarukan telah “terkunci” antara 11-13 % sejak 2007 tanpa ada peningkatan. RUPTL tahun 2019 - 2028 memproyeksikan 23 % bagian energi terbarukan dalam pembangkit listrik di Indonesia 2025, meningkat dari 14% di tahun 2024 [3]. Pemanfaatan cangkang sawit pada sektor pembangkit listrik dengan program co-firing bahan bakar batubara dengan cangkang sawit merupakan salah satu program yang dilakukan PLN untuk mendukung peningkatan bauran energi terbarukan Indonesia.

### 1.3.2 Potensi Biomassa

Biomassa merupakan salah satu potensi energi terbesar didunia yang berkelanjutan. Setidaknya potensi biomassa yang ada di dunia sejumlah 4500 exajoules (EJ). Potensi biomassa dalam tahunan berjumlah sekitar 2900 EJ (1700 EJ dari hutan, 850 EJ dari padang rumput dan 350 EJ dari pertanian). Secara teori, dari sisi pertanian setidaknya dapat memberi kontribusi sebesar 800 EJ tanpa mengganggu kesediaan pangan.

Potensial ini bervariasi dari 40 hingga 1100 EJ (dengan asumsi bahwa tidak ada lahan yang tersedia untuk perkebunan dengan itu bioenergi hanya diperoleh dari residu), dan 200 hingga 700 EJ (dengan asumsi sektor pertanian hanya menggunakan tanah dengan kualitas yang baik, dan kualitas tanah yang rendah akan digunakan untuk tanaman yang menghasilkan bioenergi).

Menurut Kementerian ESDM potensi energi biomassa Indonesia, secara teori diperkirakan mencapai sekitar 32 Gigawatt (GW). Menurut kementerian ESDM potensi energi biomassa terbesar yang ada di Indonesia adalah kelapa sawit, yaitu sebesar 12,6 GW. Hal ini tidak terlepas dari dukungan oleh sekitar 700 pabrik kelapa sawit yang tersebar di Indonesia. Sementara itu potensi energi biomassa di pulau Jawa yaitu sebesar 9.2 GW yang terdiri dari hasil pertanian (sekam padi, jagung, tebu, ubi kayu) perkebunan (kelapa sawit, kelapa, kayu), peternakan dan sampah kota. Potensi energi biomassa yang tersebar di pulau Jawa, Madura dan Bali adalah padi yaitu sekam dan jerami yaitu sebesar 5.3 GW.

Biomassa dimanfaatkan dalam sektor energi dengan teknologi co-firing. Co-firing biomassa dengan batubara menjadi perhatian khusus pada beberapa negara seperti Denmark, Belanda, dan Amerika Serikat. di Amerika sendiri sudah terdapat 40 pembangkit yang telah mendemonstrasikan penggunaan biomassa dengan teknologi co-firing. Penggunaan co-firing diharapkan mencapai kapasitas sebesar 26 GW pada tahun 2020, dan dapat mereduksi emisi karbon sebesar 16 hingga 24 MtC (Millions tonnes Carbon). Karena boiler pada umumnya memiliki kapasitas sebesar 100MW hingga 1.3 GW, potensi biomassa digunakan pada boiler sebesar 15 hingga 150 MW.

Biomassa dapat dicampur dengan batu bara dengan berbagai proporsi, dari 1 hingga 25% atau lebih. Studi lebih lanjut menunjukkan energi biomassa dapat menyediakan sebesar 15% dari total energi input dengan sedikit modifikasi pada sistem *feed intake*.

Dengan demikian, pemanfaatan biomassa mendatangkan keuntungan dalam hal:

1. Investasi yang relatif lebih rendah dibandingkan investasi pembangkit yang didedikasikan untuk biomassa
2. Dampak lingkungan yang lebih baik jika dibandingkan dengan pembangkit yang hanya menggunakan batu bara
3. Potensi biomassa cukup banyak dan pemanfaatan masih sedikit

### 1.3.3 Kiprah Pemerintah Penuhi Suplai Bahan Bakar Co-firing

PT PLN (Persero) tercatat telah melakukan kerja sama dan komitmen dengan pemasok biomassa besar seperti Perhutani, PTPN, dan Shang Hyang Seri, serta mendorong berkembangnya pasar biomassa skala menengah dan kecil.

Tantangan terbesar dalam implementasi co-firing biomassa diyakini adalah upaya untuk menjaga keberlanjutan pasokan bahan baku biomassa, yang tentunya dengan tetap mempertimbangkan aspek keekonomian untuk tetap menjaga dalam operasinya tidak melebihi Biaya Pokok Pembangkitan (BPP). PT PLN (Persero) tercatat telah melakukan kerja sama dan komitmen dengan pemasok biomassa besar seperti Perhutani, PTPN, dan Shang Hyang Seri, serta mendorong berkembangnya pasar biomassa skala menengah dan kecil.

Kementerian ESDM melalui Ditjen EBTKE akan terus mengawal dan terus memfasilitasi upaya-upaya penyediaan bahan baku biomassa di sisi hulu serta menjaga pada implementasinya tidak terkendala pada sisi teknis. Pada sisi teknis, saat ini telah ditetapkan SNI Pelet Biomassa untuk pembangkit listrik, dan menyusul akan ditetapkan juga SNI Bahan Bakar Jumputan Padat. Pada 2021, juga akan dimulai pembahasan RSNI *sawdust*, woodchip, dan cangkang sawit untuk pembangkit listrik.

Selain itu, dari sisi regulasi, sedang disusun Rancangan Permen ESDM tentang Implementasi Co-firing Biomassa pada PLTU. Dalam aturan tersebut nantinya akan didefinisikan klasifikasi bahan bakar biomassa, bagaimana acuan dalam formulasi harga, pengaturan standar, pembinaan pengawasan, serta penahapan pelaksanaan co-firing.

Pasca penandatanganan nota kesepahaman (*memorandum of understanding/ MoU*) antara Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi (Ditjen EBTKE) Kementerian ESDM dengan Direktorat Jenderal Bina Usaha Kehutanan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (LHK) pada 2014 mengenai Program Pengembangan Bioenergi Berbasis Hutan Energi, hingga saat ini tercatat 13 unit usaha yang telah mengalokasikan penanaman untuk Hutan Tanaman Energi (HTE) dan 18 unit usaha kehutanan yang berkomitmen untuk mengembangkan bioenergi, dengan luas potensi total mencapai 1,29 juta hektare.

Sejalan dengan Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN), pemerintah berkomitmen pengembangan energi baru terbarukan (EBT) menjadi prioritas nasional, termasuk pengembangan bioenergi berbasis hutan energi. Program pengembangan bioenergi berbasis hutan energi merupakan upaya pencadangan kawasan hutan produksi yang khusus diperuntukkan bagi pembangunan hutan energi sebagai sumber bahan baku bioenergi.

Di sisi hilir, Kementerian ESDM mendukung pemanfaatan Hutan Energi melalui program PLTBm dan co-firing biomassa pada PLTU, dimana untuk saat ini diprioritaskan bagi PLTU milik PT PLN (Persero).

Berdasarkan perhitungan potensi biomassa atas Hutan Tanaman Industri (HTI) yang berada di sekitar lokasi PLTU seluas 17,94 juta hektare, jumlah biomassa yang dihasilkan jauh lebih besar dari jumlah biomassa yang dibutuhkan untuk program co-firing.

Dengan mendedikasikan sekitan luasan HTI untuk hutan energi, maka kelangsungan pasokan biomassa untuk program co-firing dapat terpenuhi, tentu dengan didukung oleh rantai pasok yang efisien dan keekonomian yang adil.

Di sisi hulu Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (LHK) mendukung pengembangan HTE dengan menerbitkan diantaranya Peraturan Menteri (Permen) LHK Nomor P.62/2019, Permen LHK, Nomor P.11/2020, dan Permen LHK Nomor P.1/2019 dengan pokok-pokok dukungan di antaranya, pertama Hutan Tanaman Industri (HTI) diarahkan untuk mendukung bahan baku industri yang dikelompokkan menjadi serat kertas dan rayon; pertukangan; bioenergi.

Lebih lanjut, HTI yang mengusahakan bioenergi berbasis kayu tanaman dengan daur pendek kurang dari lima tahun dan dari tanaman budidaya tahunan berkayu dapat diberikan izin usaha industri hasil hutan kayu pada areal kerjanya berupa industri serpih kayu , *wood pellet*, arang kayu , *biofuel*, dan biogas. Untuk menjadi HTE, HTI tidak memerlukan izin baru, melainkan hanya perlu mengubah RKU.

Selain itu dukungan KLHK dari sisi hulu, adalah dengan mendorong integrasi antara HTI dan HTR yang dapat diarahkan untuk pemenuhan bahan baku bioenergi.

Pada 2020 telah dilaksanakan uji coba co-firing biomassa di 29 lokasi PLTU. Untuk 2021 direncanakan uji coba pada 17 lokasi PLTU, sehingga total PLTU yang telah masuk tahap uji coba sejak 2020 hingga April 2021 sebanyak 35 lokasi dari total 52 lokasi. PLTU ini telah melakukan uji coba co-firing dengan berbagai sumber biomassa seperti *wood pellet*, *sawdust*, SRF, cangkang sawit, eceng gondok, batok kelapa, dan sekam sawit.

Dengan asumsi persentase co-firing biomassa sebesar 5% dan seluruh PLTU telah melakukan co-firing, maka volume batu bara yang dapat dikurangi mencapai 4 juta ton per tahun dan dihasilkan peningkatan kontribusi EBT

sebesar 0,9 % pada bauran energi nasional. Jika co-firing biomassa dilakukan hingga 10%, maka bauran EBT yang dapat dihasilkan mencapai 1,79%. Keuntungan lain yang diharapkan dengan program co-firing pada PLTU Batubara adalah penghematan BPP dan reduksi emisi lingkungan. Hasil evaluasi BPP untuk co-firing *sawdust* PLTU Paiton 1-2, pada Juni 2020 turun sebesar Rp 21,26/kWh dengan kWh Green sebesar 727.425 kWh. Sedangkan potensi *saving* pada PLTU Ketapang sebesar Rp 5,09/kWh, PLTU Belitung sebesar Rp 8,56/kWh dan PLTU Kaltim Teluk sebesar Rp 10,7/kWh.

### 1.3.4 Rencana Strategis Pengembangan Percepatan Biomassa

Rencana strategis oleh Pemerintah terkait dengan pengembangan percepatan biomassa sebagai sumber energi berkelanjutan antara lain:

1. Memperbaiki tata kelola pengusahaan bioenergi termasuk revisi Peraturan terkait Pembelian Tenaga Listrik dari Energi Terbarukan.
2. Mendorong peningkatan kapasitas PLT Biomassa (*project pipeline*) dengan memastikan komitmen pihak-pihak terkait dalam pengembangan PLT Biomassa sesuai RUPTL.
3. Mendorong pembangkit *Captive Power* untuk menjual kelebihan listrik pada PT PLN (Persero) dengan skema *Excess Power*.
4. Melakukan co-firing pelet Biomassa pada eksisting PLTU.
5. Pengembangan PLT Biomassa skala kecil untuk Wilayah Indonesia bagian timur dan 3T secara masif.
6. Pengembangan hutan tanaman energi dan pemanfaatan lahan-lahan sub optimal untuk biomassa melalui kerja sama dengan KLHK, K/L terkait dan Pemda.
7. Mendorong penggunaan limbah agro industri termasuk re-planting perkebunan sawit untuk pembangkit listrik.
8. Mendorong produksi dan pengembangan pellet biomassa dan RDF yang bersumber dari sampah dan limbah biomassa untuk energi.

Adapun langkah implementasi biomassa di era ‘normal baru’ ini yaitu:

- Optimalisasi pengembangan biomassa domestik dan menunda pemanfaatan biomassa untuk ekspor.
- Pengembangan penelitian dan pengembangan untuk peningkatan produktivitas tanaman penghasil biomassa domestik.
- Memaksimalkan kontribusi ahli-ahli biomassa dan akademisi dalam negeri dalam menciptakan inovasi pengembangan biomassa.
- Pengembangan biomassa berdasarkan potensi lokal.
- Memanfaatkan lahan marginal dan lahan yang terdegradasi untuk mengembangkan *energy crops* dengan spesies unggulan.
- Pengembangan pola kerjasama dan kelembagaan dengan memanfaatkan sistem digital untuk mengurangi interaksi secara langsung.

Hasil hutan jenis kayu jika diekuivalensikan dengan besaran listrik yang dihasilkan, total potensi kayu untuk dijadikan jadi *wood pellet* sebesar 1.335 Mega Watt electrical (MWe). Potensi tersebut tersebar di Sumatera (1.212 MWe), Kalimantan (44 MWe), Jawa, Madura dan Bali (14 MWe), Nusa Tenggara Barat dan Nusa Tenggara Timur (19 MWe), Sulawesi (21 MWe), Maluku (4 MWe) dan Papua (21 MWe) dengan nilai kalori sebesar 3.300 - 4.400 Cal/gr.

Perusahaan Listrik Negara (PLN) yang menginisiasi aksi korporasi melalui metode co-firing menjelaskan, untuk memenuhi kebutuhan 1% co-firing di PLTU di Indonesia, maka dibutuhkan biomassa sebanyak 17.470 ton per hari atau 5 juta ton *wood pellet* ton per tahun, ekuivalen dengan 738 ribu ton per tahun pellet sampah.

Saat ini terdapat tiga tipe PLTU yakni, 43 tipe PC (*Pulverized coal*) dengan total kapasitas 15.620 MW membutuhkan campuran 5% biomassa atau setara 10.207,20 ton per hari, 38 tipe CFB (*Circulating Fluidized Bed*) total kapasitas 2.435 MW membutuhkan 5% biomassa atau setara 2.175,60 ton per hari. Sedangkan 23 tipe STOKER dengan kapasitas 220 MW menggunakan 100% biomassa atau setara 5.088 ton per hari.

Saat ini terdapat 114 unit PLTU milik PT PLN (Persero) yang berpotensi dapat dilakukan co-firing biomassa. Pembangkit tersebut tersebar di 52 lokasi dengan total kapasitas 18.154 megawatt (MW). dengan campuran biomassa sebesar 1 persen pada PLTU berpotensi meningkatkan bauran EBT sebesar 0,18 persen. Jika penambahan biomassa dilakukan sebesar 3 persen atau 5 persen, potensi peningkatan bauran EBT bisa mencapai 0,54 persen hingga 0,9 persen.

Bila komposisi campuran biomassa mencapai 10 persen, peningkatan baurannya bisa mencapai 1,79 persen.

### 1.3.5 Kerja Sama Terkait Penyediaan Biomassa

Kerja Sama Penyediaan Biomassa pada PLTU Batubara milik PLN dilakukan melalui pemanfaatan aset Perum Perhutani dan PT PN 3 (Persero) untuk mengembangkan hutan tanaman energi sebagai sumber pasokan biomassa ke PLN. Nota Kesepahaman berlaku sejak 22 Januari 2021 sampai dengan 21 Januari 2022 dan dapat diperpanjang atas kesepakatan para pihak. Nota Kesepahaman akan ditindaklanjuti dengan penandatanganan perjanjian pelaksanaan setelah memperhatikan hasil Kajian Bersama dan persetujuan korporasi internal para pihak serta ketentuan yang berlaku.

Adapun ruang lingkup kerja sama 3 BUMN tersebut dalam penyediaan biomassa untuk PLTU batubara yaitu:

1. Melakukan Kajian Bersama terkait dengan ketersediaan bahan baku, analisis rantai pasok yang efisien dan *sustain*, bentuk kerja sama penyediaan biomassa, analisis finansial dan keekonomian termasuk harga biomassa, analisis risiko dan mitigasi usaha serta rencana

- implementasi kerjasama pengadaan pasokan bahan bakar biomassa untuk PLTU batubara.
2. Pembentukan Tim Kerja antara Perum Perhutani, PT PN 3 (Persero) dan PT PLN (Persero) untuk melakukan Kajian Bersama dan dapat melibatkan anak perusahaan.
  3. Tim Kerja dapat menggunakan konsultan independen di dalam melakukan Kajian Bersama.

Pemanfaatan biomassa untuk substitusi batubara pada PLTU merupakan upaya yang mudah, cepat dan murah dibandingkan dengan membangun PLT biomass. Apalagi di masa pandemi covid ini, di mana *demand* penggunaan energi turun dan ketersediaan dana untuk investasi juga terbatas, maka upaya substitusi energi untuk jangka pendek dan menengah menjadi pilihan yang tepat untuk mendorong pemanfaatan EBT tanpa membebani PLN dan juga pemerintah dengan subsidi.



Gambar 17 Sumber Bahan Baku Biomassa

PLN dan anak perusahaannya yang telah menginisiasi program co-firing sejak tahun 2018 dan memulai uji coba pada PLTU eksisting pada tahun 2019 dengan menggunakan biomassa baik yang berbasis sampah, limbah maupun biomassa yang berasal dari tanaman energi.

Berdasarkan hasil pengujian di 29 PLTU dan implementasi komersial yang dilaksanakan oleh 6 PLTU milik PLN dan anak perusahaannya, jenis biomassa

yang dapat digunakan cukup variatif dengan mengutamakan potensi setempat. dari 6 PLTU yang telah melakukan Go Live Komersial, PLTU Paiton 9, PLTU Pacitan, dan PLTU Suralaya berhasil Go Live Komersial dengan *sawdust*, PLTU Jeranjang melakukan co-firing dengan SRF dan sekam padi, dan PLTU Ketapang dan PLTU Sanggau memanfaatkan cangkang sawit.

Hingga saat ini, rata-rata co-firing yang dilakukan di PLTU yang telah Go Live Komersial berkisar antara 1-3% dengan kontrak pengadaan biomassa jangka pendek. Persentase tersebut masih lebih rendah dibandingkan target yang diharapkan. Ketersediaan bahan baku yang berkelanjutan, kesiapan industri pengolahan biomassa, harga keekonomian biomassa masih menjadi tantangan besar dalam pelaksanaan co-firing secara umum.

Ditjen EBTKE menyambut baik dan mendukung sepenuhnya sinergi 3 BUMN untuk menjawab tantangan tersebut melalui MoU Penyediaan Biomassa untuk PLTU dimana peran masing-masing BUMN, yaitu:

1. Perhutani memiliki sumber daya kawasan hutan di Jawa (2,4 juta Ha) dan luar Jawa (1,3 juta Ha) yang dapat dikembangkan menjadi HTE dan potensi produksi biomassa (*wood pellet*, *wood chip*).
2. PT PN III (Persero) akan menyiapkan lahan tidak produktif untuk dimanfaatkan bagi pembangunan HTE, yang selanjutnya dapat mendukung industri biomassa (*wood pellet*, *wood chip*) untuk co-firing yang akan dibangun oleh Perhutani.
3. PT. PLN (Persero) sebagai pemilik PLTU yang melaksanakan co-firing akan memanfaatkan potensi biomassa berbasis hutan tanaman energi dan sumber lainnya yang bersumber dari limbah tebangan, limbah industri dan limbah replanting di kawasan milik Perhutani dan PT PN III (Persero).

# Kajian Operasi Co-Firing



2



## Bab II

# Kajian Operasi Co-Firing

### 2.1 KAJIAN BIOMASSA

Biomassa didefinisikan sebagai bahan organik yang baru lahir yang diproduksi secara langsung atau tidak langsung oleh organisme hidup. Biomassa dalam materi tumbuhan dihasilkan melalui proses fotosintesis di mana karbon dioksida dan air dari lingkungan diubah, menggunakan energi dari sinar matahari, menjadi karbohidrat (gula, pati, selulosa, dan lignin) yang menyusun tumbuhan. Hewan yang memakan tumbuhan dan / atau hewan lain juga merupakan salah satu bentuk biomassa, seperti halnya sampah organik yang dihasilkan oleh hewan tersebut.

Energi dalam sinar matahari disimpan sebagai energi kimia dalam berbagai bentuk biomassa. Biomassa kemudian dapat dianggap sebagai sumber energi yang dapat digunakan untuk menyediakan panas, listrik, dan bahan bakar transportasi. Biomassa meliputi kayu dari hutan tanaman; residu dari produksi hutan dan industri kayu; residu dari produksi pertanian; minyak sayur; lemak hewani; dan limbah organik dari industri, peternakan, dan pemukiman manusia. Untuk digunakan dalam industri tenaga listrik, sumber daya biomassa utama meliputi:

- Residu hutan dan kehutanan
- Kayu dan limbah kayu
- Sisa tanaman pertanian
- Tanaman energi

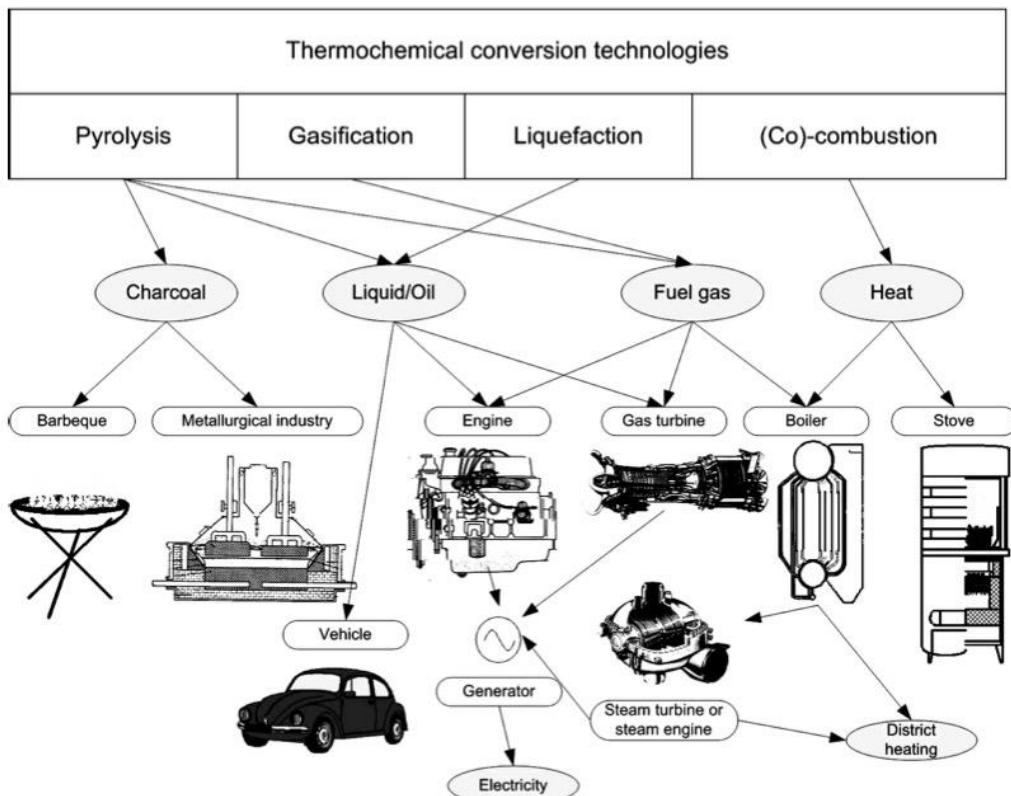
Bahan bakar biomassa ini adalah fokus dari buku ini; Namun perlu diperhatikan bahwa bahan bakar biomassa lainnya seperti kotoran unggas, limbah padat perkotaan, bahan bakar turunan, lumpur limbah, dan gas saluran pembuangan merupakan bentuk biomassa yang dapat dan telah berhasil digunakan dalam aplikasi boiler terbatas.

Menurut Badan Informasi Energi (EIA), biomassa dibagi menjadi tiga kategori: bahan bakar alkohol, bahan bakar limbah, dan bahan bakar kayu (EIA, 2008).

Bahan bakar alkohol terdiri dari etanol (jagung dan selulosa), biodiesel, solar terbarukan, dan biomassa-ke-cairan. Penggunaan komersial bahan bakar alkohol adalah fenomena baru-baru ini dalam sepuluh tahun terakhir, dan bertepatan dengan inisiatif beberapa negara yang mempromosikan produksi etanol dan integrasi ke dalam sektor transportasi.

Biomassa dapat diubah menjadi energi yang berguna (panas atau listrik) atau pembawa energi (arang, minyak atau gas) dengan teknologi konversi termokimia dan biokimia. Teknologi konversi biokimia termasuk fermentasi

untuk produksi alkohol dan pencernaan anaerobik untuk produksi gas yang diperkaya metana. Namun, kita akan berkonsentrasi pada teknologi konversi termokimia. Teknologi ini berada dalam berbagai tahap perkembangan, di mana pembakaran paling berkembang dan paling sering diterapkan. Gasifikasi dan pirolisis menjadi semakin penting. Gambaran umum dari teknologi konversi termokimia, produk dan potensi penggunaan akhir ditunjukkan pada Gambar 18.



Gambar 18 Teknologi Konversi Termokimia, Produk Dan Potensi Penggunaan Akhir

Ada empat teknologi konversi biomassa termokimia untuk keperluan energi: pirolisis, gasifikasi, pembakaran langsung, dan pencairan. Produk utama dari teknologi konversi ini dapat berupa pembawa energi seperti arang, minyak atau gas, atau sebagai panas. Terdapat berbagai teknik untuk pemanfaatan produk ini. Produk sekunder dapat diperoleh melalui pemrosesan tambahan. Pada prinsipnya, sebagian besar bahan kimia yang berasal dari minyak bumi yang saat ini digunakan dapat diproduksi dari biomassa, tetapi beberapa akan membutuhkan rute sintesis yang agak berputar.

Untuk biomassa yang memiliki CV mendekati batubara, beberapa pengujian menunjukkan perbaikan kesempurnaan pembakaran dan penurunan emisi akibat dari karakteristik VM (*volatile matter*) yang lebih tinggi. VM ini adalah zat aktif yang terdapat pada biomassa yang akan menghasilkan energi atau panas apabila bahan tersebut dibakar, zat terbang ini merupakan zat aktif yang mempercepat proses pembakaran. Definisi VM adalah banyaknya zat yang hilang bila sampel batubara dipanaskan pada suhu dan waktu yang

telah ditentukan (setelah dikoreksi oleh kadar *moisture*). Suhunya adalah 900°C, dengan waktu pemanasan tujuh menit tepat.

### 2.1.1 Penerapan Biomassa

Biomassa adalah material yang berasal dari organisme hidup yang meliputi tumbuh-tumbuhan, hewan dan produk sampingnya seperti sampah kebun, hasil panen dan sebagainya. Istilah biomassa pertama kali muncul pada *Journal of Marine Biology Association* pada tahun 1934 oleh ilmuwan Rusia bernama Bogorov.

Energi biomassa telah ada sejak lama sebelum orang berbicara tentang energi terbarukan atau sumber energi alternatif. Ada suatu masa ketika kayu adalah bahan bakar utama untuk pemanasan dan memasak di seluruh dunia. Hal tersebut sampai saat ini masih berlaku di beberapa negara seperti Indonesia, meskipun sudah mulai sedikit lagi penggunanya.

Ketika kita berbicara tentang biomassa saat ini, kita pada dasarnya berbicara tentang beberapa aplikasi/penerapan yang berbeda, yaitu:

1. Pembakaran langsung untuk panas domestik; Ini adalah metode tradisional pembakaran kayu, gambut, kotoran, dan lain-lain, untuk kegunaan memasak dan panas. Hal ini masih banyak digunakan, terutama di negara-negara berkembang yang umumnya bertanggung jawab dalam banyak penyakit pernapasan dan kematian.
2. Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa; Biomassa digunakan untuk bahan bakar dalam pemanasan boiler yang kemudian memberikan uap ke turbin yang terhubung ke generator. Bahan baku terutama residu kayu hutan, dan limbah kayu perkotaan/industri. EIA (*Energy Information Administration*) memprediksi bahwa pada tahun 2020, biomassa akan menghasilkan 0,3 persen dari proyeksi 5476 miliar Kilowatt/jam total generasi. Sekitar 19.786.000 MW/jam listrik diciptakan dari biomassa tahun lalu.
3. Co-generator; Pada dasarnya sama dengan nomor 2 di atas, namun dengan adanya penambahan panas yang berguna tersebut ke dalam proses generator sehingga meningkatkan efisiensi dalam pengaturan gabungan panas dan daya (*Combined Heat and Power*).
4. Gasifikasi; Biomassa dipanaskan dalam lingkungan di mana ia terurai menjadi gas yang mudah terbakar. Setelah gas dibersihkan dan disaring, kemudian dapat digunakan sebagai gas alam, biasanya dalam turbin siklus gabungan. Bahan baku yang digunakan terutama meliputi hasil hutan kayu dan residu pertanian.
5. *Anaerobic Digestion*; Proses biomaterial melalui proses fermentasi yang mengubah bahan organik menjadi biogas, yang sebagian besar metana (60%) dan karbon dioksida (40%) menjadi biogas. Mengonversi metana menjadi CO<sub>2</sub> dan air dengan proses pembakar dinilai bersih dari perspektif gas rumah kaca (GRK), karena metana merupakan penghasil gas rumah kaca yang jauh lebih kuat dari CO<sub>2</sub>. Pencernaan enzimatik dan katalis lain digunakan untuk

meningkatkan konversi. Bahan bakar yang cocok adalah bahan organik dengan kadar air tinggi seperti pupuk kandang atau limbah pengolahan makanan. Gas yang tersedot dari tempat pembuangan sampah aktif juga dapat dianggap sebagai bagian dari kategori ini, meskipun dalam hal ini, ada kekhawatiran tentang racun yang terlepas. Kekhawatiran tersebut dapat teratas karena beberapa teknologi mengklaim dapat menghilangkan sebagian besar efek tersebut.

6. *Biofuels*; Kategori ini termasuk jenis biomassa yang dikonversi menjadi bahan bakar cair, terutama untuk transportasi. yang paling umum adalah ethanol dan biodiesel. Etanol dapat diproduksi dari tanaman pangan seperti jagung di negara ini, tebu di Brazil dan gula bit di Eropa. "Selulosa" etanol juga bisa dibuat dari kayu atau limbah kertas serta rumput yang tumbuh khusus seperti *switchgrass* atau dari residu pertanian. Biodiesel umumnya terbuat dari lemak hewan atau minyak nabati. Banyak "*homegrown*" biodiesel dibuat dari minyak restoran daur ulang. Secara komersial, minyak kedelai digunakan di AS, rapeseed dan minyak bunga matahari di Eropa, serta minyak sawit di Malaysia. Sementara nyaman untuk transportasi, dibutuhkan jauh lebih banyak energi untuk menghasilkan *biofuels* daripada biomassa. Biomassa sering diiklankan sebagai karbon netral atau karbon hampir netral, tetapi ini bisa menyesatkan. Memang benar bahwa pada awalnya (secara relatif) karbon yang dirilis tersebut langsung ditarik keluar dari atmosfer, sehingga dapat dinetralkan kembali oleh tanaman yang sudah ada. Tetapi setiap karbon tambahan dipancarkan dalam budidaya, pemanenan dan pengangkutan bahan bakar. Hal tersebut dapat menjadi tambahan produksi karbon yang cukup besar. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin sedikit karbon yang dihasilkan dalam tahap produksi, maka semakin dekat dengan klasifikasi bahan bakar berkarbon rendah bahkan netral.

### 2.1.2 Jenis, Ukuran, dan Karakteristik Biomassa untuk Co-firing

Biomassa adalah bahan bakar yang dapat diperbaharui dan secara umum berasal dari makhluk hidup (non-fosil) yang di dalamnya tersimpan energi atau dalam definisi lain, biomassa merupakan keseluruhan materi yang berasal dari makhluk hidup, termasuk bahan organik yang hidup maupun yang mati, baik di atas permukaan tanah maupun yang ada di bawah permukaan tanah.

Biomassa umumnya mempunyai kadar volatil relatif tinggi, dengan kadar karbon tetap yang rendah dan kadar abu lebih rendah dibandingkan batubara. Biomassa juga memiliki kadar volatil yang tinggi (sekitar 60-80%) dibanding kadar volatil batubara, sehingga biomassa lebih reaktif dibandingkan batubara.

Selanjutnya biomassa yang digunakan untuk melakukan co-firing antara lain adalah biomassa Hutan Tanaman Energi (HTE) dan biomassa sampah yang berikutnya diolah menjadi *Solid Recovered Fuels* (SRF)

### Karakteristik Bahan Bakar yang Mempengaruhi Co-firing

Co-firing pada dasarnya adalah proses pengelolaan bahan bakar. Dampak teknis, ekonomi, dan lingkungan akibat co-firing merupakan konsekuensi dari sifat teknis bahan bakar itu sendiri. yang paling penting adalah tiga masalah: 1) sifat-sifat *biofuel*, 2) sifat-sifat batubara yang dibakar sebagai bahan bakar dasar, dan 3) interaksi antara bahan bakar nabati dan bahan bakar dasar.

Bahan bakar nabati mencakup beragam koleksi bahan yang dulunya merupakan materi hidup. Sifat fisik, kimia, dan termal dapat digunakan untuk mengkarakterisasi bahan yang mudah terbakar ini. Sifat fisik meliputi berat jenis dan massa jenis, porositas, dan kadar air. Karakteristik kimiawi meliputi analisis proksimat dan akhir, analisis sumatif dan karakterisasi lain dari struktur kimia, ukuran volatilitas, analisis unsur abu, karakterisasi alkalinitas *biofuel*, dan analisis konstituen jejak. Sifat termal meliputi nilai kalor, kapasitas panas, konduktivitas termal, dan pertimbangan terkait. Semua sifat bahan bakar ini saling terkait.

Karakteristik spesifik *biofuel* dan batubara mengarah pada kesimpulan bahwa, meskipun mereka mengikuti jalur pembakaran global yang sama dari pengeringan-pirolisis-oksidasi volatil dan oksidasi arang, perbedaan dramatis dalam komposisi bahan bakar menciptakan perbedaan yang signifikan antara kedua kelas bahan yang mudah terbakar ini. *Biofuel* lebih sederhana dalam kandungan panas dan kepadatan curah yang rendah. Mereka jauh lebih reaktif, dengan reaksi pembakaran dimulai pada suhu yang lebih rendah daripada batu bara. Selanjutnya, reaktivitasnya sedemikian rupa sehingga sebagian besar pembakaran terjadi dalam fasa gas. Kandungan volatil yang tinggi dari *biofuel* menyebabkan reaktivitasnya yang tinggi. Fakta bahwa *biofuel* sangat mudah menguap, dan memiliki rasio atom H / C yang tinggi, merupakan salah satu dasar potensi mereka untuk berguna dalam mengurangi emisi NO<sub>x</sub> di luar pengurangan sederhana dalam kandungan nitrogen bahan bakar.

Abu yang melekat pada bahan biomassa secara substansial lebih basa daripada abu di berbagai tingkatan batubara, termasuk batubara barat. Selanjutnya, logam alkali dalam abu biomassa sangat tersedia seperti yang ditunjukkan oleh uji pelindian.

Hasil karakterisasi bahan bakar termasuk kebutuhan untuk menentukan kapan co-firing menciptakan sinergi antara *biofuel* dan batubara. Selanjutnya, karakterisasi bahan bakar menyoroti masalah terkait kapan kedua bahan bakar tersebut bekerja secara independen dan kapan massa bahan bakar yang ditembakkan di boiler berperilaku sebagai satu bahan.

Karakteristik abu *biofuel* bergantung pada *biofuel*, sumber bahannya misalnya, sisa penebangan, penggergajian kayu, limbah kayu perkotaan, sisa tanaman, atau tanaman yang ditanam untuk bahan bakar. Konstituen abu termasuk abu yang melekat atau materi mineral dalam *biofuel*; dan unsur-unsur ini juga dapat mencakup abu yang tertahan, kotoran yang diperoleh

dari kegiatan pemanenan di lapangan, pengolahan limbah kayu perkotaan, atau kegiatan serupa lainnya.

### Biomassa Hutan Tanaman Energi

Biomassa Hutan Tanaman Energi (HTE) merupakan bahan organik terbarukan, seperti kayu, tanaman pertanian, tanaman sisa pengolahan ataupun sisa hasil panen secara langsung maupun limbah hasil pertanian dan perkebunan seperti dahan, ranting, daun kering, cabang mati, dan lainnya. dari bahan-bahan tersebut di atas, bisa dibuat beberapa jenis energi biomassa.

Sampai tahun 2019 Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) telah bekerja sama dengan beberapa perusahaan untuk mengembangkan Hutan Tanaman Energi (HTE) guna menyuplai kebutuhan energi baru dan

terbarukan di Indonesia. Hutan Tanaman Energi yang telah memiliki izin pengelolaan dan pemanfaatan hasil hutan kayu pada hutan produksi di seluruh Indonesia adalah seluas 156.608 Ha. dari total luasan tersebut yang memiliki karakteristik baik untuk dijadikan bahan bakar PLTU adalah seluas 90.799 Ha. Jenis tanaman energi ini antara lain adalah pohon Sengon, Kaliandra, Gamal, Akasia, Jabon, Samama, Gmelina, Ekaliptus, Lamtoro dan Pohon Kelapa Sawit yang limbahnya berupa cangkang sawit dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar biomassa.

Pemanfaatan hutan produksi ini digunakan untuk memenuhi keperluan masyarakat umumnya, khususnya untuk pembangunan, industri, dan ekspor. Jenis biomassa HTE antara lain ada sebagai berikut:

1. Limbah pertanian (*agricultural waste*) adalah sumber biomassa yang berpotensi besar
2. Limbah hasil kehutanan (*forestry residues*) termasuk bahan biomassa yang dihasilkan dari pengelolaan hutan atau pemanfaatan hasil hutan. Seperti serpihan kayu (*woodchip*), ranting dan gelondongan kayu bekas tebangan

Dari jenis-jenis biomassa tersebut dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku *wood pellet*.

Sebelum dijadikan bahan untuk bahan bakar boiler atau dicampurkan dengan batubara, maka kualitas biomassa terlebih dahulu dilakukan uji laboratorium antara lain:

1. Proximate analysis: fixed carbon (FC), *volatile matter* (VM), ash yield (A), and *moisture Content* (MC)
2. Ultimate analysis (C, O, H, S, N)
3. Ash analysis (Si, Al, Fe, Ca, S, Mg, K, Ti, Na, P, plus occasionally Mn, Cl and trace elements)
4. Nilai kalori.

### Biomassa Sampah

Salah satu cara pengolahan sampah yang dipandang cukup prospektif adalah dengan mengolahnya menjadi Solid Recovered Fuel (SRF). SRF adalah produk olahan dari *municipal waste* yang distandardisasi untuk memenuhi prasyarat penggunaan sesuai jenis peralatan dan lingkungan penggunanya, dimana dilakukan proses pemilahan dan persentase antara anorganik dan organik ditentukan. SRF memiliki kadar kontaminasi relatif rendah, memiliki nilai kalori tinggi dan dapat di upgrade sampai dengan kualitas tertentu yang dibutuhkan. SRF dibuat dengan menggunakan metode Mechanical treatment (MT) atau Mechanical Biological Treatment (MBT). Pada teknologi MT atau MBT, proses pembuatan SRF limbah padat disortir/diklasifikasikan ke dalam beberapa output seperti fraksi halus, logam mengandung besi, logam nonbesi, fraksi kasar, reject material dan SRF. Contoh proses pembuatan SRF pada MT plant dapat dilihat pada gambar 2.1. Standar Internasional yang mengatur kualitas SRF salah satunya adalah EN 15359.

#### 2.1.3 Feed Stock: Variasi & Kontinuitas Biomassa

##### Konsumen

1. Biomassa diharapkan memenuhi PFI standard, ENPlus standard maupun RSNI sebagai *base reference*, meskipun bisa dilakukan treatment di sisi PLTU untuk memenuhi kriteria pembangkit.
2. Biomassa yang bisa digunakan untuk Co-firing di PLTU Batubara akan diuji skala lab sebelum uji bakar, secara umum biomassa berbasis organik/ wood dalam kondisi kering bisa digunakan untuk Co-firing
3. Saat ini baru limbah biomassa yang bisa kontinyu operasi di PLTU

##### Pemasok

1. Feedstok limbah kayu serbuk secara jumlah aman dan kontinyu untuk kapasitas terbatas, rata – rata hanya 1000-2000 ton/bulan
2. Potensi *feedstock* selain limbah, seperti HTI/ HTE dan sinergi Perhutani dari jenis kayu gamal, kaliandra, bisa menambah pasokan untuk co-firing, namun diperlukan studi keekonomian dan harga yang mendukung

##### Regulator

1. Mendukung melalui Inisiasi FGD Nasional, dan RSNI Biomassa dan RDF
2. Mendukung melalui penyusunan Road map yang lebih terukur dalam regulasi maupun **RUPTL PLN** ke depan
3. Isue terkait: *roadmap*, penugasan co-firing, pengakuan sebagai KWH Green, pembinaan, standard hingga kelayakan teknis akan dibahas dalam **Permen ESDM**

### 2.1.4 Harga (Ekonomis) Biomassa

#### Konsumen

1. Keekonomian Biomassa dari limbah kayu telah proven kontinyu operasi selama 7 bulan di PLTU Paiton dengan kapasitas tertentu dan 1 bulan PLTU Pacitan dan PLTU lainnya yang akan memasuki tahap komersial dengan kapasitas terbatas
2. Dukungan Co-firing sampai dengan aspek keekonomian telah diatur dalam Perdir PLN

#### Pemasok

1. Mengharapkan penyesuaian harga untuk mendukung investasi peralatan (woodchipper, hammer mill, biomass dryer) untuk biomassa yang berasal dari HTI/ HTE, hasil hutan/ perkebunan menuju pemanfaatan yang lebih luas di PLTU Batubara, mendukung energi bersih, dan berkembangnya hasil hutan/ perkebunan.
2. Pemanfaatan biomassa yang lebih luas di luar PLTU Batubara, bisa menggantikan operasional kompor bbm/ kompor gas, PLTD di remote area dengan *gasifier* biomassa.

#### Regulator

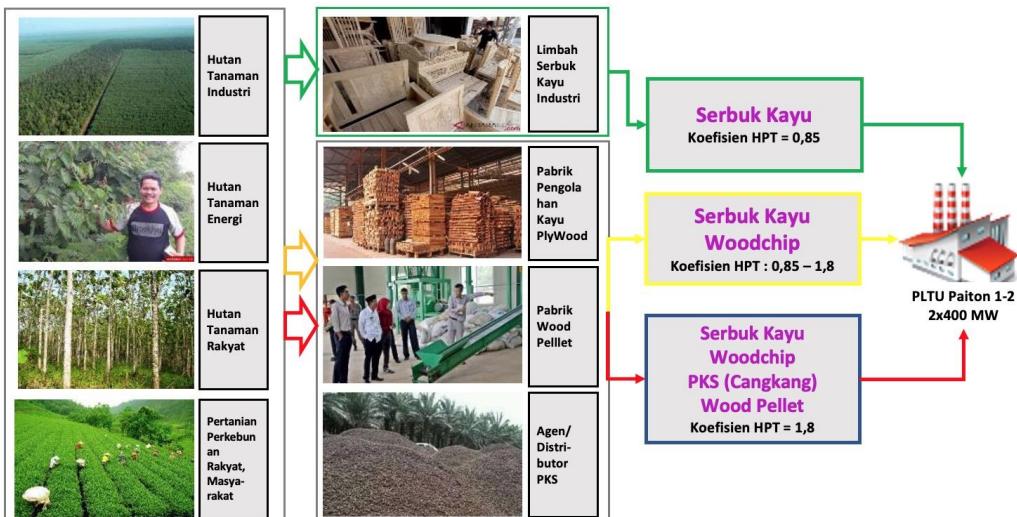
1. Mendukung Co-firing di PLTU, termasuk arahan pemerintah dalam NDC, namun terkait harga masih menggunakan mekanisme pasar.
2. Issue terkait: formulasi harga, hingga insentif untuk pelaku usaha akan dibahas dalam Permen ESDM

Faktor pembentukan harga biomassa untuk co-firing dapat dilihat dari sisi *supply* (produsen bahan bakar biomassa) dan *demand side* (PLN)

Tabel 3 Faktor Pembentukan Harga Biomassa Co-Firing

Supply Side	Demand Side
<p><b>A. Komponen biaya produsen biomassa</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>1. Berasal dari limbah (<i>sawdust</i>, woodchip)<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Biaya produksi (pengumpulan)</li><li>▪ Transportasi</li></ul></li><li>2. Berasal dari hutan tanaman energi<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Biaya produksi</li><li>- Budidaya (pembibitan, penanaman, dll)</li><li>- Pengolahan</li><li>▪ Transportasi</li></ul></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Harga batubara (substitusi)</li><li>▪ Tidak menaikkan BPP pembangkitan</li><li>▪ Kontinuitas pasokan batubara</li><li>▪ Kesesuaian bahan bakar dengan kebutuhan PLTU (Jenis Boiler)</li><li>▪ Jangka waktu kontrak</li><li>▪ Standar kualitas produk<ul style="list-style-type: none"><li>1. Kalori</li><li>2. Kandungan air</li><li>3. Bentuk bahan bakar</li></ul></li></ul>

Supply Side	Demand Side
<p><b>B. Komponen biaya produsen BBJP/SRF</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Biaya produksi</li> <li>- Pemilahan</li> <li>- Pengolahan</li> <li>▪ Transportasi</li> </ul>	



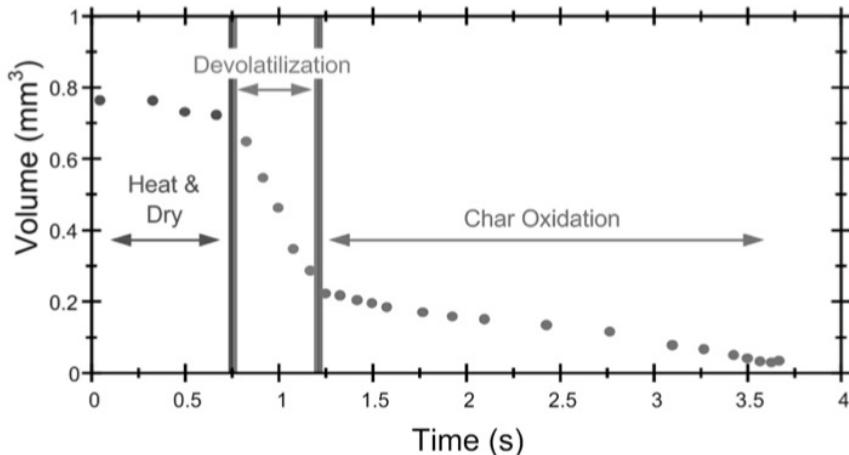
Gambar 19 Sensitifitas Koefisien HPT Mendukung Harga Biomass yang Feasible - Simulasi Data UP Paiton

### 2.1.5 Proses Pembakaran Biomassa

Proses pembakaran biomassa melibatkan sejumlah aspek fisik / kimia dengan kompleksitas tinggi. Sifat proses pembakaran bergantung pada sifat bahan bakar dan aplikasi pembakaran. Proses pembakaran dibedakan menjadi beberapa proses umum: pengeringan, pirolisis, gasifikasi dan pembakaran. Proses pembakaran secara keseluruhan dapat berupa proses pembakaran berkelanjutan atau proses pembakaran *batch*, dan penambahan udara dapat dilakukan baik dengan *forced* atau *natural draft*. Pembakaran *batch* digunakan pada beberapa unit pembakaran skala kecil, beberapa diantaranya juga menggunakan natural draft. Ini adalah tipikal untuk, misalnya, furnace kayu tradisional. Unit pembakaran skala menengah hingga besar selalu merupakan aplikasi pembakaran kontinu, dengan *forced draught*.

Pengeringan dan pirolisis / gasifikasi akan selalu menjadi langkah awal dalam proses pembakaran bahan bakar padat. Tingkat kepentingan relatif dari langkah-langkah ini akan bervariasi, tergantung pada teknologi pembakaran yang diterapkan, sifat bahan bakar, dan kondisi proses pembakarnya. Pemisahan pengeringan / pirolisis / gasifikasi dan pembakaran gas dan arang, seperti dalam pembakaran bertahap udara, dapat digunakan. Dalam aplikasi pembakaran biomassa skala besar dengan pengumpanan bahan bakar terus menerus, seperti gerigi yang bergerak, proses ini akan terjadi di berbagai

bagian jeruji. Namun, dalam aplikasi pembakaran batch akan ada pemisahan yang berbeda antara fase pembakaran volatil dan arang, baik dalam posisi maupun waktu. Gambar 20 menunjukkan secara kualitatif proses pembakaran untuk partikel biomassa kecil. Untuk partikel yang lebih besar, akan ada tingkat tumpang tindih tertentu di antara fase-fase tersebut, sedangkan dalam proses pembakaran batch, seperti pada pembakaran kayu di furnace kayu dan perapian, akan ada tingkat tumpang tindih yang besar di antara fase-fase tersebut.



Gambar 20 Pembakaran Partikel Biomassa Kecil Berlangsung Dalam Tahapan yang Berbeda

**Pengeringan:** Kelembaban akan menguap pada suhu rendah ( $<100^\circ\text{C}$ ). Karena penguapan menggunakan energi yang dilepaskan dari proses pembakaran, hal ini menurunkan suhu di ruang bakar, yang memperlambat proses pembakaran. Pada boiler berbahan bakar kayu misalnya, ditemukan bahwa proses pembakaran tidak dapat dipertahankan jika kadar air kayu melebihi 60 persen pada kondisi basah (wb). Kayu basah membutuhkan begitu banyak energi untuk menguapkan uap air yang terkandung, dan selanjutnya memanaskan uap air, sehingga suhu diturunkan di bawah suhu minimum yang diperlukan untuk mempertahankan pembakaran. Akibatnya, kadar air merupakan variabel bahan bakar yang sangat penting.

**Pirolysis** dapat didefinisikan sebagai degradasi termal (devolatilisasi) jika tidak ada zat pengoksidasi yang disuplai dari luar. Produk pirolysis utamanya adalah tar dan arang karbon, serta gas dengan berat molekul rendah. Selain itu, CO dan  $\text{CO}_2$  dapat terbentuk dalam jumlah yang cukup banyak, terutama dari bahan bakar yang kaya oksigen, seperti biomassa. Jenis bahan bakar, suhu, tekanan, laju pemanasan dan waktu reaksi adalah semua variabel yang mempengaruhi jumlah dan sifat produk yang terbentuk.

Pada Gambar 21, ditunjukkan percobaan TGA (analisis termogravimetri) dengan empat spesies kayu. Keempat spesies kayu menunjukkan kecenderungan yang sama untuk berat dan berat turunan sebagai fungsi suhu. Namun, kurvanya berbeda dalam detail tertentu. Saat suhu dinaikkan, sampel akan mengering. Pada 473K, devolatilisasi dimulai dan laju devolatilisasi meningkat saat suhu dinaikkan. Ada dua area penurunan berat badan yang menghasilkan satu puncak dengan dataran tinggi atau bahu yang terletak di wilayah bersuhu lebih rendah. Bahu suhu yang lebih rendah mewakili dekomposisi hemiselulosa dan puncak suhu yang lebih tinggi mewakili dekomposisi selulosa.<sup>1</sup>. Kayu keras (birch, beech white dan akasia) mengandung lebih banyak hemiselulosa daripada kayu lunak (spruce), menyebabkan 'bahu hemiselulosa' lebih terlihat.

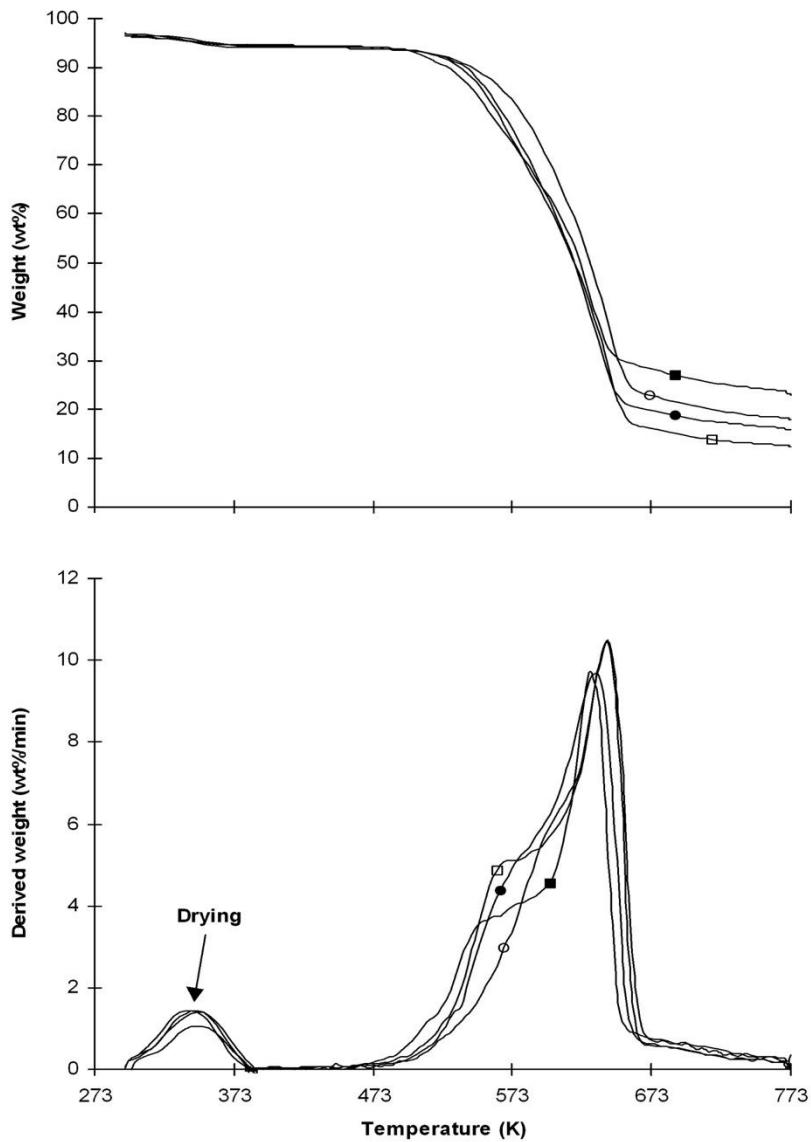
Pada 673K, sebagian besar volatil hilang dan laju devolatilisasi menurun dengan cepat. Namun, laju devolatilisasi yang rendah dapat diamati pada kisaran suhu 673-773K. Ini disebabkan oleh lignin<sup>2</sup> + dekomposisi, yang terjadi di seluruh rentang suhu, tetapi area utama penurunan berat badan terjadi pada suhu yang lebih tinggi. Ini berarti bahwa lignin terutama bertanggung jawab atas bagian tailing datar yang dapat diamati untuk semua spesies kayu pada suhu yang lebih tinggi. Selain itu, birch, memiliki kandungan hemiselulosa tertinggi dan lignin terendah, menghasilkan residu arang terendah.

Produk pirolisis dapat digunakan dengan berbagai cara. Arang dapat ditingkatkan menjadi karbon aktif, digunakan dalam industri metalurgi, sebagai bahan bakar memasak rumah tangga atau untuk memanggang. Gas pirolisis dapat digunakan untuk produksi panas atau pembangkit listrik, atau disintesis untuk menghasilkan metanol atau amonia. Cairan lengket, minyak pirolisis, atau minyak nabati dapat ditingkatkan menjadi bahan bakar cair hidrokarbon bermutu tinggi untuk mesin pembakaran (mis. transportasi), atau digunakan langsung untuk produksi listrik atau keperluan pemanas.

---

<sup>1</sup>Hemiselulosa terdiri dari berbagai gula selain glukosa yang membungkus serat selulosa dan mewakili 20–35% dari berat kering kayu. Selulosa ( $C_6 H_{10} O_5$ ) adalah polimer glukosa terkondensasi ( $C_6 H_{10} O_6$ ). Dinding serat sebagian besar terdiri dari selulosa dan mewakili 40–45% dari berat kering kayu.

<sup>2</sup>Lignin (misalnya  $C_{40} H_{44} O_{14}$ ) adalah polimer non-gula kompleks bermassa molekul tinggi yang memberikan kekuatan pada serat kayu, terhitung 15–30% dari berat kering.



Gambar 21 Analisis Termografis dari Empat Sampel Kayu

Catatan: O = cemara, [] = birch, Q = beech putih, ■ = akasia. Sampel 5mg dipanaskan dengan kecepatan  $10^{\circ}\text{C}/\text{menit}$ .

Gasifikasi dapat didefinisikan sebagai degradasi termal (devolutilisasi) dengan adanya zat pengoksidasi yang disuplai dari luar. Namun, istilah gasifikasi juga digunakan untuk reaksi oksidasi arang dengan, misalnya,  $\text{CO}_2$  atau  $\text{H}_2\text{O}$ . Sementara pirolisis biasanya dioptimalkan sehubungan dengan hasil arang atau tar maksimum, gasifikasi dioptimalkan sehubungan dengan hasil gas maksimum. Digunakan suhu  $1073\text{--}1373\text{K}$ . Gas tersebut terutama mengandung  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$  dan hidrokarbon lainnya. Gasifikasi dapat dilakukan dengan udara, oksigen, uap atau  $\text{CO}_2$  sebagai oksidator.

Gasifikasi udara menghasilkan gas dengan nilai kalori rendah (nilai kalor bruto (GCV) 4–7 megajoule per meter kubik normal (MJ / Nm<sup>3</sup> kering), sedangkan gasifikasi oksigen menghasilkan gas dengan nilai kalori sedang (GCV 10–18MJ / Nm<sup>3</sup> kering). Melalui sintesis, bahan bakar gas dapat ditingkatkan menjadi metanol, dibakar secara eksternal di boiler untuk menghasilkan air panas atau uap, di turbin gas untuk produksi listrik atau di mesin pembakaran internal, seperti diesel dan mesin pengapian percikan. Sebelum bahan bakar gas dapat digunakan dalam turbin gas atau mesin pembakaran internal, kontaminan (tar, partikel arang, abu dan senyawa alkali) harus dihilangkan. Gas panas dari turbin gas dapat digunakan untuk menaikkan uap untuk digunakan dalam turbin uap (siklus gabungan gasifikasi terintegrasi IGCC).

**Pembakaran** idealnya dapat didefinisikan sebagai oksidasi lengkap bahan bakar. Gas panas hasil pembakaran dapat digunakan untuk keperluan pemanasan langsung di unit pembakaran kecil, untuk pemanas air di boiler pemanas sentral kecil, untuk memanaskan air di boiler untuk pembangkit listrik di unit yang lebih besar, sebagai sumber panas proses, atau untuk air pemanasan dalam sistem pemanas sentral yang lebih besar. Pengeringan dan pirolisis / gasifikasi akan selalu menjadi langkah awal dalam proses pembakaran bahan bakar padat.

**Pencairan** dapat didefinisikan sebagai konversi termokimia dalam fase cair pada suhu rendah (523–623K) dan tekanan tinggi (100–200 bar), biasanya dengan tekanan parsial hidrogen tinggi dan katalis untuk meningkatkan laju reaksi dan / atau meningkatkan selektivitas proses. Dibandingkan dengan pirolisis, pencairan memiliki hasil cairan yang lebih tinggi, dan menghasilkan cairan dengan nilai kalor yang lebih tinggi dan kandungan oksigen yang lebih rendah.

### 2.2 KARAKTERISTIK SEPUTAR BIOMASSA

#### 2.2.1 *Carbon Neutral* Biomass

Sebagaimana yang telah diulas di Bab I terkait Netral Karbon, inisiatif Co-Firing merupakan suatu upaya yang mendukung tercapainya netral karbon. Ini mengingat seluruh bahan yang digunakan dalam uji coba adalah biomassa dari sumber alami, yakni dari limbah industri kayu, sehingga bersifat adalah *carbon neutral*, alias tidak menambah jumlah karbon di udara.

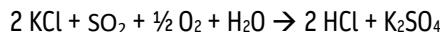
Biomassa, termasuk pohon diantaranya, pada masa hidupnya telah menyerap banyak karbon, dan di akhir hidupnya pohon tersebut akan melepaskan karbon ke atmosfer. dengan dibakarnya biomassa tersebut di PLTU, mengubah sisa karbon di pohon yang akan menguap begitu saja tanpa dimanfaatkan menjadi energi yang dapat dimanfaatkan untuk menggantikan batubara. Unit pembangkit yang mengimplementasikan *co-firing* biomass juga termasuk kategori *carbon netral* yang lebih ramah lingkungan dibandingkan PLTU eksisting yang termasuk *carbon positive*.

### 2.2.2 Cl-induced Active Oxidation

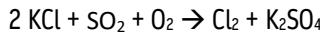
Bahan bakar biomassa pada umumnya mengandung bahan kimia antara lain K, Na, S dan Cl. Khusus pada limbah kayu juga terkandung Pb dan Zn. Elemen-elemen ini sebagian dilepaskan ke fase gas selama pembakaran dan membentuk alkali dan logam berat klorida dan sulfat sebagai deposit pada permukaan *heat exchanger*.

Logam alkali dan logam berat yang terbentuk pada saat proses pembakaran berbentuk gas dan terkondensasi ketika suhu gas buang di bawah titik lebur garam atau ketika garam gas bersentuhan dengan permukaan *heat exchanger* yang didinginkan. Oleh karena itu, endapan pada permukaan *heat exchanger* terbentuk sebagai akibat proses kondensasi langsung uap abu serta pengendapan partikel padat.

Logam dan Cl yang dilepaskan selama pembakaran membentuk gas klorida secara cepat, sedangkan S yang dilepaskan pada umumnya akan membentuk SO<sub>2</sub> dan SO<sub>3</sub> jika O tersedia. SO<sub>2</sub> dan SO<sub>3</sub> selanjutnya dapat bereaksi dengan logam alkali klorida dan melepaskan gas HCl. Contoh reaksi KCl dapat dilihat sebagai berikut:



Reaksi yang dijelaskan dalam Persamaan di atas dipengaruhi oleh ketersediaan air dalam gas buang. Jika tidak ada air yang tersedia, reaksi mungkin terjadi, tetapi menghasilkan pembentukan gas Cl<sub>2</sub>:



HCl dalam gas buang dapat meningkatkan terjadinya korosi suhu tinggi, tetapi penelitian saat ini hanya dilakukan dengan konsentrasi HCl di atas 250 ppmv, yang merupakan konsentrasi khas yang umum pada insinerator limbah padat kota. Dalam pabrik pembakaran biomassa, konsentrasi HCl biasanya lebih rendah. Terutama dengan bahan bakar kayu yang tidak diolah secara kimia, konsentrasi HCl sekitar 10 ppmv. dengan konsentrasi yang cukup rendah, maka diasumsikan bahwa gas HCl dalam gas buang tidak dapat menyebabkan korosi suhu tinggi.

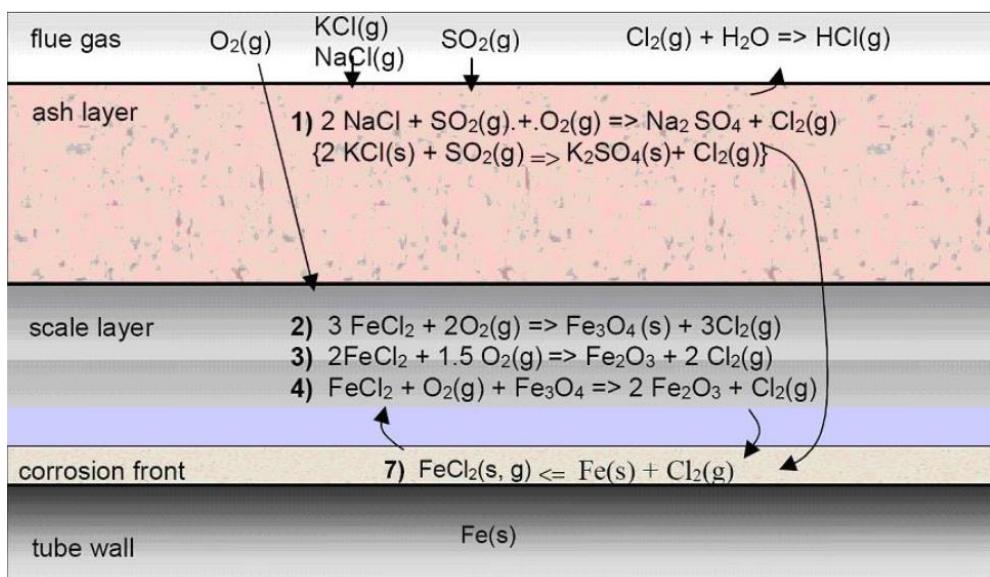
Namun, meskipun konsentrasi gas klorin yang rendah tetap dapat menyebabkan korosi yang cukup parah, jika klorin dilepaskan dalam bentuk deposit / endapan pada permukaan *tube superheater*. Jadi, risiko terjadinya oksidasi aktif yang diinduksi Cl tidak hanya tergantung pada pelepasan klorin itu sendiri tetapi juga pada lokasi di mana reaksi terjadi. Proses sulfidasi dapat terjadi di area *superheater* awal (dengan gas atau klorida padat) dan melepaskan klorin pada jarak yang aman dari tabung *superheater*. Karenanya, klor yang dilepaskan diasumsikan melewati tabung *superheater* dengan aliran gas buang dan tidak menyebabkan korosi parah. Sulfat yang terbentuk hampir *inert* bila diendapkan pada *superheater*. Namun, ketika fraksi abu cair yang mengandung sulfat terbentuk pada permukaan

*superheater*, deposit tersebut dapat menyebabkan korosi yang cukup parah, seperti *hot corrosion type II*.

Karena pelepasan S dan Cl ke dalam fasa gas selama pembakaran biomassa agak konstan (80-90% untuk S dan > 90% untuk Cl, dimungkinkan untuk mengevaluasi risiko dari endapan alkali chlorides pada *superheater* dan risiko oksidasi aktif *Cl-induced* berdasarkan komposisi bahan bakar. Untuk tujuan tersebut, dikembangkan fuel index 2S/Cl, yang dihitung berdasarkan molar dan mengevaluasi kemungkinan sulfasi chlorides sebelum terdeposi:

- Nilai rasio 2S/ Cl > 8 akan memiliki risiko *Cl-induced active oxidation minor* karena lapisan sulfat pelindung terbentuk pada permukaan pipa.
- Nilai rasio 2S/Cl < 4 akan memiliki risiko *Cl-induced active oxidation major* karena klorida cenderung diendapkan pada pipa *superheater*.

Jika alkali klorida mengendap pada permukaan *tube superheater* dan sulfidasi terjadi, maka klor yang dilepaskan dapat diasumsikan menyebabkan korosi yang cukup parah yang dikenal sebagai oksidasi aktif yang diinduksi Cl seperti digambarkan pada skema Gambar 22.



Gambar 22 Schematic Mechanism of Cl-induced Active Oxidation

Untuk menganalisa risiko *Cl-induced active oxidation* seperti di atas, perlu dilakukan analisa komposisi biomassa seperti yang dapat dilihat pada Tabel 1. dari analisa komposisi bahan bakar dapat diperoleh nilai kandungan S dan Cl, kemudian dihitung rasio 2S/Cl dalam basis molar sehingga diperoleh nilai rasinya. Jika dilihat dari rasio molar 2S/Cl, rasio biomassa jenis *waste wood* (1,7 – 2,2) lebih rendah dibandingkan biomassa jenis *wood chips* (6,0 – 8,8) dan biomassa *waste wood* memiliki risiko terjadinya *Cl-induced active oxidation* lebih tinggi.

Salah satu cara untuk mengatasi korosi yang menyerang *boiler* adalah dengan diaplikasikan *coating* pada lapisan permukaan pipa *boiler* yang bersinggungan dengan zat korosif. Julien Phother dan Simon melakukan evaluasi terhadap tiga *nickel based coatings* yang disemprotkan dengan metode *High Velocity Air Fuel* (HVAF) pada *low alloyed steel* dan dikondisikan pada lingkungan korosif ( $5\% \text{ O}_2 + 20\% \text{ H}_2\text{O} + 1,0 \text{ mg/cm}^2 \text{ KCl}$  pada  $600^\circ\text{C}$ ) dengan hasil *coating* NiCr mengalami korosi tingkat tinggi sedangkan *coating* NiAl dan *coating* NiCrAlY menunjukkan resistansi terhadap korosi tanpa penetrasi *chlorine*.

### 2.2.3 Molten Salt Corrosion

Garam meleleh pada pipa *superheater* akan meningkatkan laju korosi. *Molten sulphates* (alkali *sulphates*) merupakan penyebab terbanyak terjadinya *molten salt corrosion* dengan titik lebur sekitar  $800^\circ\text{C}$ . Dua jenis korosi yang terjadi karena *molten salt* yaitu:

- a. *Hot corrosion type I*, terjadi saat *single molten alkali sulphates* terbentuk pada temperatur  $800 - 1.000^\circ\text{C}$ .
- b. *Hot corrosion type II*, terjadi di bawah titik lebur *sulphates*. Peleburan terjadi karena adanya sedikit  $\text{SO}_3$  dan adanya logam berat *chloride*. Komponen ini menyebabkan terbentuknya *eutectic mixture* yang memiliki titik lebur lebih rendah dari titik lebur *sulphates* murni, sekitar di bawah  $500^\circ\text{C}$ . dengan adanya kandungan logam berat (Zn, Pb) pada deposit akan menyebabkan titik lebur menjadi rendah.

*Molten sulphates* dapat meningkatkan laju korosi karena dapat melarutkan lapisan pelindung yang sudah ada. *Molten sulphates* dapat menyerang *iron oxides*, *nickel oxides* dan *chromium oxides*. Selain itu, *high alloyed steels* dapat memiliki risiko *high temperature corrosion* yang tinggi jika bersinggungan dengan garam yang mengandung *sulphates*. Proses korosi tersebut disebabkan oleh terbentuknya *pyrosulphates* dan *alkali metal trisulphates*. Kedua senyawa tersebut dapat melarutkan lapisan *oxide*.

Biomassa jenis *waste wood* memiliki kandungan logam berat yang tinggi, sehingga memiliki kemungkinan terjadinya *hot corrosion type II*. Deposit pada pembangkit biomassa biasanya memiliki kandungan *alkali sulphates* ( $\text{K}_2\text{SO}_4$  dan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ). Secara umum, titik lebur *sulphates* ini lebih tinggi, tetapi karena adanya logam berat pada deposit dapat menurunkan titik lebur deposit sebagai akibat terbentuknya *eutectic mixtures* hingga di bawah  $500^\circ\text{C}$ .

### 2.2.4 Slagging

*Co-firing* antara batubara dengan biomassa memiliki dampak menghasilkan *slagging*, *fouling* dan korosi. Bahan bakar dengan konsentrasi biomassa tinggi dapat menyebabkan korosi *chlorine* di *boiler*. Selama proses pembakaran, alkali *chloride* dapat diubah menjadi silika dan sulfat sehingga dapat mengurangi kerusakan akibat korosi. Selain itu, *co-firing* biomassa skala

besar menghasilkan *slagging* yang sangat bergantung pada komposisi abu yang dihasilkan dari pembakaran. Risiko *slagging* dapat digambarkan oleh karakteristik *ash fusion temperature of sintering, softening, melting and flowing*. Abu di atas *softening temperature* dapat bersifat sangat *adhesive*. Untuk memprediksi dengan tepat *ash fusibility*, dibuat beberapa korelasi antara *fusion temperature* dan komposisi kimia abu dalam bentuk oksida. Parameter yang sering digunakan untuk menentukan potensi terbentuknya *slagging* seperti berikut:

- *Base to acid ratio*

Komposisi abu merupakan indikator yang baik dalam permasalahan sifat biomassa. Oksida dalam abu dapat dikategorikan menjadi asam ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ) dan basa ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ). Potensi pengendapan abu dapat dievaluasi dengan menggunakan rasio *base to acid* (B/A). Rasio ini merupakan indikasi *fusion characteristic* dan potensi *slagging* abu dan logam yang mengandung abu yang bergabung di dalam proses pembakaran dan membentuk garam bertitik leleh rendah.

- *Slagging index*

*Slagging* merupakan terbentuknya deposit dari partikel abu lengket, meleleh atau melunak yang menempel pada permukaan *heat transfer* yang terkena radiasi panas. *Slagging index* dari bahan bakar padat digunakan sebagai alat ukur dari kecenderungan terbentuknya *slagging*.

- *Fouling Index*

*Fouling* merupakan endapan kering dari partikel abu atau hasil kondensasi komponen anorganik yang mudah menguap pada permukaan *heat transfer*. *Fouling index* dari bahan bakar padat merupakan alat ukur dari kecenderungan terbentuknya *fouling*.

- *Agglomeration Index*

Karena proses *sintering*, partikel yang memiliki ikatan renggang dapat menjadi partikel lebih padat dan keras. *Bed sintering / agglomeration index* memberikan indikasi terbentuknya *sintering ash* dan *agglomeration* selama proses konversi panas.

- *Ash Fusibility Index*

*Ash fusibility* dapat mengindikasikan terjadinya *agglomeration* dan *clinkering* selama proses konversi panas bertemperatur tinggi.

- *Slag Viscosity Index*

*Slag viscosity* merupakan salah satu cara memperkirakan kemungkinan terbentuknya *slagging* dengan lebih memahami struktur *slagging*.

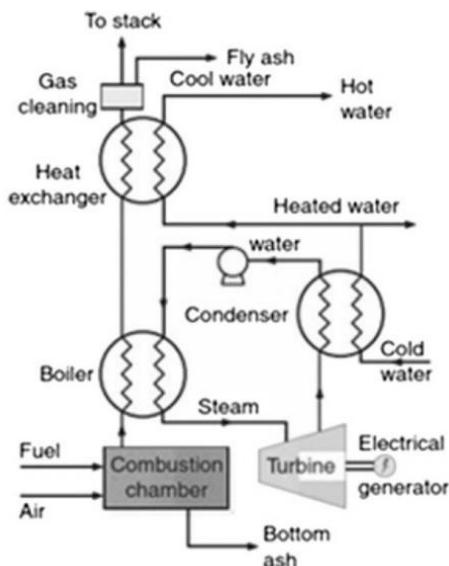
Dengan mengetahui nilai *slagging index* suatu bahan bakar dapat diketahui potensi terbentuknya *slagging*, *fouling*, *agglomeration* dan *clinkering*.

## 2.3 METODE CO-FIRING

Metode co-firing untuk pembakaran batubara yang dipergunakan antara lain:

### 2.3.1 Direct Co-firing

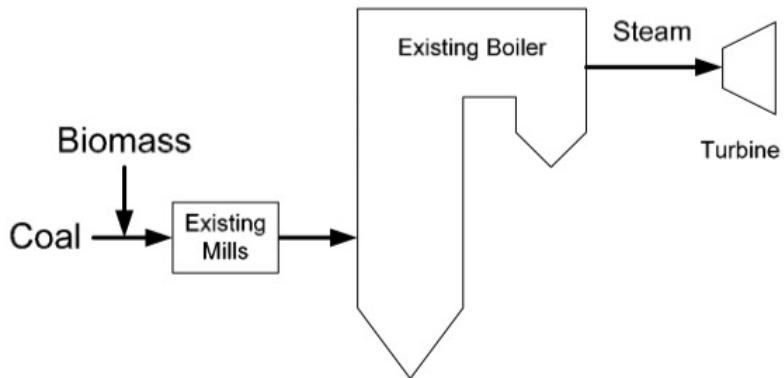
Opsi yang paling sederhana, termurah dan paling umum dipergunakan. *Wood pellet* dicampur melalui peralatan penggiling/*grinding* dan pengumpan/*feeder* yang sama atau terpisah kemudian *dimixing* dengan batubara ke dalam boiler yang sama untuk dibakar, maupun menggunakan boiler terpisah. Umumnya tidak ada investasi biaya peralatan khusus dengan metode ini, dan merupakan cara pembakaran bersama secara langsung dan hemat biaya. Metode ini merupakan cara pembakaran bersama yang paling banyak diadopsi oleh *pulverized coal boiler*. Umumnya untuk Co-firing 5%. (*simplest, cheapest and most common option*).



Gambar 23 Direct Co-firing

### Co-milling Biomassa dan Batubara

Metode paling sederhana dari co-firing biomassa langsung melibatkan pencampuran secara fisik dan pencampuran biomassa dengan aliran bahan bakar yang ada sebelum injeksi di boiler. Untuk pembangkit PC, co-milling dapat diterapkan dengan menambahkan biomassa ke batubara saat direklamasikan dan diumparkan melalui penghancur batubara yang ada. Gambar 24 memberikan skema tingkat tinggi co-milling biomassa dan batubara.



Gambar 24 Co-milling Biomassa dan Batubara

Meskipun co-milling adalah metode paling sederhana dari co-firing, peralatan tambahan akan dibutuhkan untuk menerima pengiriman biomassa, yang kemungkinan akan datang melalui truk. Bergantung pada bentuk dan dimensi biomassa yang dikirim, peralatan pengukur ukuran juga diperlukan untuk mengurangi bahan bakar biomassa ke ukuran atas yang sesuai untuk diproses di penghancur batu bara yang ada.

Setelah pengukuran, biomassa dapat dicampur dengan batu bara di tempat bahan bakar, menggunakan peralatan bergerak untuk mencampur biomassa dan batu bara saat didorong ke dalam bunker reklamasi (yaitu, *pile mixing*). Alternatifnya, konveyor dapat digunakan untuk menambahkan biomassa di atas batubara reklamasi pada sabuk reklamasi batubara yang ada (yaitu, *belt mixing*). Metode pencampuran yang disukai untuk lokasi tertentu bergantung pada ruang yang tersedia di lapangan batubara yang ada, kedekatan proses pengukuran biomassa dengan sistem sabuk reklamasi batubara yang ada, dan tingkat otomatisasi yang diinginkan dalam sistem penanganan biomassa.

Seperti sistem penanganan untuk *repowering*, peralatan khusus yang diperlukan dan strategi penanganan material yang digunakan bergantung pada tingkat otomatisasi yang diinginkan dalam sistem penerimaan / persediaan biomassa dan sistem reklamasi biomassa.

Untuk mengurangi kekhawatiran terkait dampak pengoperasian pada penghancur batu bara dengan co-milling, masukan panas biomassa biasanya dibatasi hingga dua hingga tiga persen dari masukan panas ke boiler untuk unit PC saat co-milling. Namun, perlu dicatat bahwa ketika co-milling biomassa torrefied dengan batubara diharapkan tidak terlalu bermasalah dibandingkan dengan biomassa yang diterima atau dikeringkan dengan batubara. dengan cara ini, biomassa torrefied dapat menyediakan hingga 10 persen dari masukan panas ke boiler.

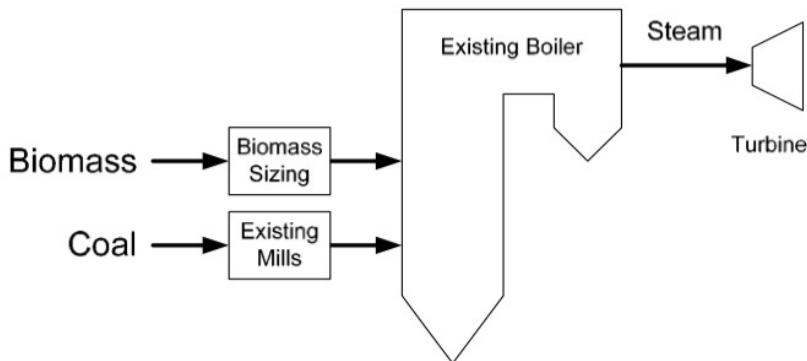
Dampak efisiensi boiler kecil ketika co-milling bahan bakar biomassa dibatasi kurang dari tiga persen dari total masukan panas ke boiler. Dampak kehilangan panas latent dan sensibel cenderung kurang dari sepersejuta persen. Selain itu, karbon yang tidak terbakar dan tingkat udara berlebih

tidak mungkin berubah secara signifikan untuk jumlah masukan panas bahan bakar biomassa yang rendah ini.

### Co-firing Langsung dengan Penanganan dan Injeksi Bahan Bakar Terpisah

Gambar 25 mengilustrasikan metode kedua dari co-firing biomassa yang menggunakan penanganan terpisah dan sistem injeksi untuk mengirimkan bahan bakar biomassa ke boiler yang ada. Sistem terpisah ini tidak memiliki perawatan negatif atau efek operasional pada sistem persiapan bahan bakar yang ada.

Metode injeksi terpisah digunakan dalam boiler PC untuk meningkatkan jumlah biomassa yang dapat di co-fired. Sistem injeksi terpisah juga lebih dapat dikontrol daripada sistem co-milling di mana biomassa dan batu bara dicampur di bagian hulu sistem boiler. Injeksi terpisah dari biomassa berbahan bakar bersama telah terbukti mampu memasok 10 persen masukan panas yang dibutuhkan untuk banyak boiler PC berbahan bakar dinding dan berbahan bakar tangensial. Ada juga laporan pemasangan yang berhasil hingga 20 persen di Eropa. Tingkat co-firing ini secara signifikan lebih tinggi daripada yang direkomendasikan untuk pendekatan co-milling.



Gambar 25 Co-firing Bersama Langsung dengan Injeksi Terpisah

Untuk unit PC berbahan bakar tangensial, lokasi ideal untuk port injeksi biomassa khusus adalah di setiap sudut furnace, dengan setidaknya satu burner batubara di atas dan satu burner batubara di bawah port injeksi biomassa. Untuk unit dengan *wall-fired*, lokasi ideal untuk port injeksi biomassa khusus adalah di sepanjang dinding samping pada ketinggian dekat tengah tingkat burner. Biomassa harus digiling hingga ukuran puncaknya kurang dari 1/4 inci sebelum injeksi. Untuk memastikan operasi yang memuaskan dari sistem ini, biomassa tidak akan diinjeksikan di bawah beban boiler minimum yang ditentukan.

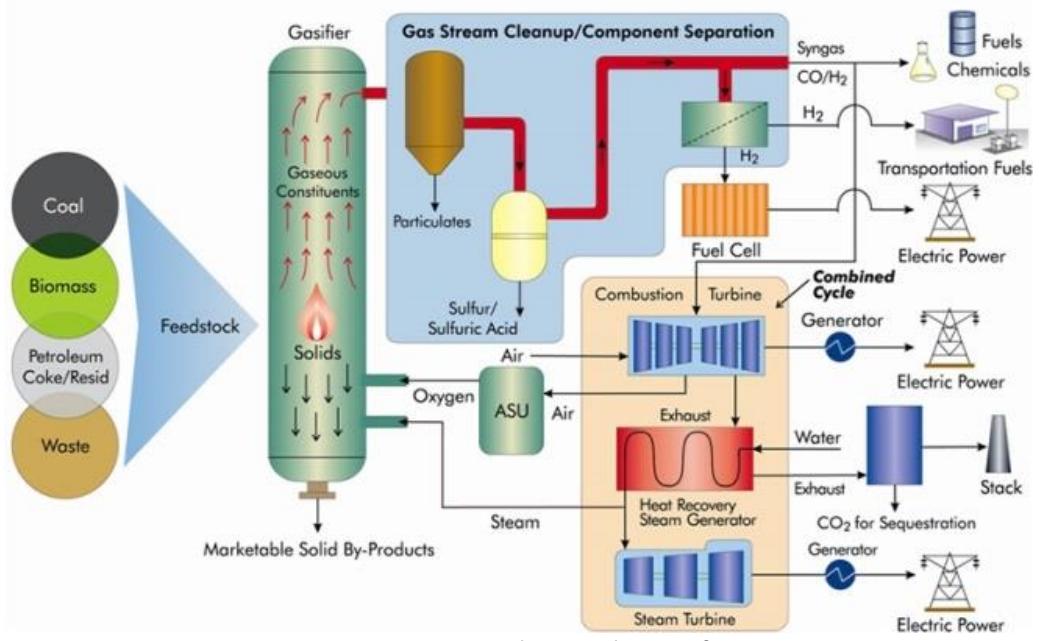
Co-firing 10 persen biomassa dapat mengurangi efisiensi boiler, meskipun pengurangan ini diharapkan kurang dari satu poin persentase efisiensi boiler saat pembakaran 100 persen batubara. Penurunan efisiensi ini terutama disebabkan oleh peningkatan kehilangan panas latent karena kadar air dan hidrogen yang lebih tinggi dari campuran bahan bakar secara keseluruhan.

Sementara proyek co-firing injeksi terpisah dapat ditempatkan di fasilitas yang ada, peralatan penanganan material baru akan diperlukan. Area penerimaan / penyimpanan baru yang didedikasikan untuk biomassa kemungkinan akan dibutuhkan. Area penanganan material biomassa ini akan mencakup peralatan untuk bongkar muat, penyimpanan, reklamasi, dan pengangkutan bahan bakar. Untuk memungkinkan spesifikasi bahan bakar yang tidak terlalu ketat dan untuk meningkatkan jumlah biomassa yang tersedia, beberapa pemrosesan bahan bakar akan menguntungkan (yaitu, skrining dan pengukuran).

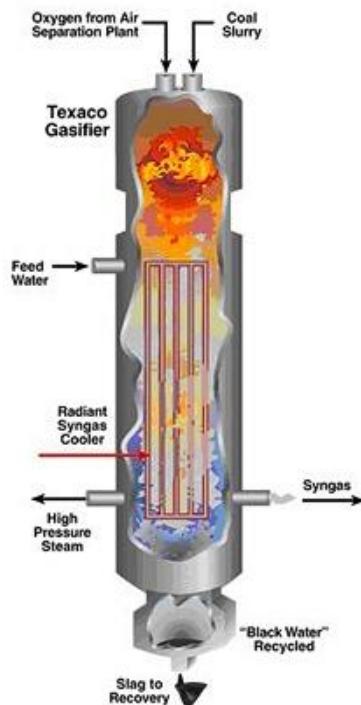
Mirip dengan aplikasi co-milling, peralatan khusus yang diperlukan dan strategi penanganan material yang digunakan bergantung pada tingkat otomasi yang diinginkan dalam sistem penerimaan / penyimpanan biomassa dan sistem reklamasi biomassa.

### 2.3.2 Indirect Co-firing

Pada metode ini memerlukan peralatan tambahan seperti *gasifier* bio-pellet. Bio-pellet terlebih dahulu digasifikasi menjadi syngas dalam mesin *gasifier* sebelum akhirnya masuk ke boiler batubara untuk pembakaran. Kelebihan dari metode ini adalah proses pemurnian syngas dengan metode gasifikasi ini meminimalkan dampak pencemaran dari pembakaran langsung. Metode ini memerlukan investasi peralatan tambahan (*gasifier*) dan dipergunakan co-firing dengan persentase biomass lebih tinggi.



Gambar 26 Indirect Co-firing



Gambar 27 Contoh Peralatan Gassifier

### 2.3.3 Parallel Co-firing

Pada metode ini memerlukan investasi pembangunan boiler berbahan bakar bio-pellet yang terpisah, kemudian uap yang dihasilkan dari boiler bio-pellet diumpulkan ke dalam sistem uap boiler berbahan bakar batubara eksisting. Uap (steam) hasil dari pembakaran pada boiler biomassa dan dari boiler batubara digabung (dicampur) kemudian dipergunakan untuk memutar turbine dan generator untuk menghasilkan energi listrik. Metode ini memerlukan investasi tambahan antara lain: mulai dari *belt conveyor*, *coal bunker*, *coal feeder*, *coal mill (pulverizer)* sampai boiler tersendiri untuk biomassa. Namun bisa dipergunakan untuk kandungan/persen biomassa yang lebih tinggi dan pemanfaatan bio-pelet lebih maksimal.

Dari ketiga tipe metode co-firing tersebut di atas dapat dipergunakan untuk ketiga tipe boiler (PC, CFB dan Stoker). Namun metode direct co-firing yang direkomendasikan karena tidak membutuhkan biaya investasi.

## 2.4 PARAMETER OPERASI CO-FIRING

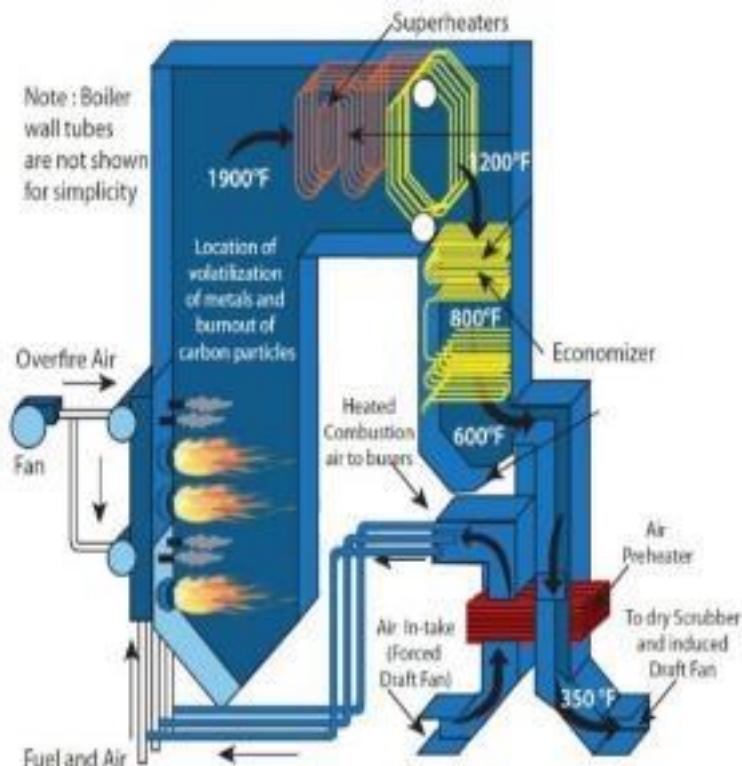
Dasar operasi PLTU menggunakan siklus rankine. Siklus ini menunjukkan proses kerja dimana energi yang didapat dari bahan bakar yang masuk ke dalam boiler dan digunakan untuk menghasilkan uap yang digunakan untuk memutar turbin generator dan menghasilkan energi listrik. Dalam siklus rankine sangat dipengaruhi oleh temperatur dan tekanan. Oleh karena pengamatan temperatur dan tekanan menjadi sangat penting dalam operasi PLTU. Dalam proses co-firing mungkin dapat berdampak terutama pada boiler. Dampak tersebut dapat diamati dengan melihat perubahan pada parameter utama yaitu temperatur dan tekanan uap sebagai produk yang dihasilkan boiler.

Kedua parameter tersebut (temperatur dan tekanan) menentukan nilai energi dalam bentuk enthalpy yang masuk ke dalam turbin. Perubahan pada kedua parameter ini akan mempengaruhi kinerja dari khususnya boiler dan pembangkit secara keseluruhan. Sebagai contoh tube boiler bisa pecah akibat tidak bisa menahan tekanan dan penurunan kuat Tarik (*yield strength*) material akibat terlalu panas.

Selain kedua parameter di atas, dalam proses operasi juga terdapat beberapa parameter yang bersifat spesifik terdampak karena co-firing, berikut uraian untuk masing-masing tipe boiler.

### 2.4.1 Pulverized Coal Boiler

PC (*pulverized coal*) boiler adalah boiler yang memiliki temperatur ruang bakar (furnace) yang relatif lebih tinggi dibanding jenis boiler yang lain pada kapasitas yang sama. Boiler ini juga mensyaratkan secara spesifik kondisi batubara saat masuk ke dalam ruang bakar sehingga diperlukan perlakuan secara khusus pada batubara sebelum dibakar. Proses persiapan batubara hingga menjadi serbuk (*pulverized*) sangat mempengaruhi kinerja dari boiler yang pada akhirnya akan berpengaruh pada kinerja pembangkit. Parameter dari *pulverizer* atau mill dan kondisi dalam ruang bakar harus selalu termonitor dalam setiap operasi. Untuk menjaga performa operasi pembangkit dan mengetahui batas aman operasi setelah dilakukan co-firing maka sangat penting terhadap parameter kondisi operasi.



Gambar 28 Pulverized Coal boiler

Untuk boiler tipe PC hal-hal yang perlu diperhatikan dalam melakukan co-firing adalah sebagai berikut:

#### Furnace Exit Gas Temperature

*Furnace Exit Gas Temperature* (FEGT) diamati untuk mengetahui kenaikan maupun penurunan temperatur gas buang pada saat operasi batubara ataupun saat dilakukan co-firing. Kenaikan dan penurunan memiliki konsekuensi masing-masing.

Kenaikan temperatur gas buang dari furnace menuju *second pass (convection area)* membawa risiko terjadinya potensi *slagging* dan *fouling*. Potensi ini timbul apabila temperatur gas buang melewati titik AFT (*Ash Fusion Temperature*). Desain dari *convection pass* dengan rangkaian bank *superheater* membuat *flue gas* secara langsung bersentuhan dengan tube *superheater*. Apabila temperatur *flue gas* melebihi AFT, abu akan meleleh dan menempel pada tube *superheater* yang berakibat terjadinya *slagging* dan *fouling*.

Penurunan temperatur gas buang membawa risiko pembentukan uap *superheater* tidak seperti desain. Parameter uap super heater apabila berada di bawah desain akan berakibat pada penurunan MW output.

Dalam pelaksanaan co-firing terjadi penurunan nilai FEGT. Penurunan ini lebih disebabkan karena nilai kalor campuran biomassa dan batubara lebih rendah dari pada nilai kalor batubara. dengan volume campuran co-firing yang hampir sama dengan volume batubara saat operasi normal, maka energi yang masuk dalam boiler lebih sedikit sehingga terjadi penurunan temperatur ruang bakar dan FEGT.

Kondisi ini masih dalam batas normal karena parameter uap pada main steam masih terjaga.

Secara teori batas aman penurunan FEGT akan berbeda beda setiap boiler PC. Hal ini tergantung dari desain setiap boiler. Perubahan hasil pengujian co-firing pada beberapa boiler PC dapat dikatakan aman apabila masih dalam kisaran batasan normal operasinya.

### Mill Current

Mill atau *pulverizer* adalah alat yang digunakan untuk mengubah ukuran batubara hingga menjadi serbuk sesuai kebutuhan boiler. *Performance* dari mill dapat dilihat dari produk serbuk batubara yang keluar. Hal ini sangat dipengaruhi oleh kondisi batubara yang akan diproses.

Batubara memiliki tingkat kekerasan yang diukur dengan satuan HGI (*Hardgrove Grindability Index*). Semakin kecil nilai HGI memiliki arti bahwa batubara tersebut semakin sulit untuk digerus. Semakin tinggi nilai HGI batubara bisa diartikan sebagai batubara yang lebih mudah untuk digerus. Kedua kondisi ini akan mempengaruhi kinerja mill.

Kinerja mill secara mudah dapat dipantau dari motor penggerak roda mill. Kenaikan ampere atau *current* pada motor penggerak mill menunjukkan kerja mill semakin berat.

Dengan nilai HGI biomassa yang relatif lebih rendah dari pada batubara maka campuran biomassa dan batubara akan menurunkan nilai HGI campuran yang masuk pada mill sehingga pada proses pembuatan serbuk dari campuran batubara dan biomassa kemungkinan akan terjadi kenaikan *mill current*. Hal ini diakibatkan karena penurunan HGI dari campuran batubara dan biomassa dibandingkan HGI sebelum dilakukan pencampuran (100% Batubara).

Kenaikan *mill current* masih diizinkan apabila nilainya dalam kisaran batas normal. Selain itu desain motor penggerak pada mill memiliki *safety factor* yang nilainya bervariasi untuk setiap pabrikan dan motor juga dipasang pengaman apabila *ampere current* melebihi batas aman.

### Mill Outlet Temperature

Pembakaran pada PLTU hanya terjadi di dalam ruang bakar. Namun ada risiko terjadinya campuran batubara dan biomassa terbakar sebelum masuk ruang bakar yaitu selama proses milling. Sehingga dapat mengakibatkan mill/*pulverizer* meledak.

Proses drying pada *pulverizer* dilakukan dengan mengalirkan udara forced draf panas dari air preheater ke mill. Udara panas ini akan mengeringkan batubara dan mengalirkan campuran udara panas dan serbuk batubara ke dalam ruang bakar. Oleh karena itu *Mill Outlet Temperature* (MOT) harus selalu dimonitor untuk mengetahui adanya indikasi pembakaran di mill.

Pada proses Co-firing, parameter MOT juga harus dimonitor. Hal ini untuk mengetahui ada tidaknya *earlier combustion* atau terjadinya proses pembakaran pada mill terutama terbakarnya biomass di dalam mill. Perubahan parameter MOT masih dikatakan aman apabila masih dalam kisaran batas normal operasi.

### Gas Inlet temperature

Gas *inlet temperature* pada sisi inlet *air heater* juga menjadi salah satu parameter penting dalam operasi. Kondisi penyerapan panas oleh *superheater* bank dan *economizer* bank dapat terlihat dari *temperature flue gas* saat akan memasuki *air heater*. Kenaikan gas *inlet temperature* mengindikasikan adanya penyerapan panas yang tidak optimal.

Dalam proses co-firing, pengamatan pada kondisi ini juga penting dilakukan. Apabila nilai kondisi AFT (*Ash Fusion Temperature*) dari biomassa lebih rendah dari batubara sehingga dikhawatirkan akan memicu *slagging* di sisi *superheater* dan *economizer*.

Parameter lain yang juga menjadi penting adalah *air heater current*. Penggunaan biomassa membawa potensi abu yang lebih banyak yang akan terkumpul di *air heater* sehingga menambah masa dari *air heater* yang berakibat pada beratnya kinerja motor penggerak *air heater*. Perubahan parameter gas *inlet temperature* masih dikatakan aman apabila masih dalam kisaran batas normal operasi.

### Sampling Pyrite

Proses batubara di *mill pulverizer* mengalami beberapa tahapan dari pengeringan, *grinding*, filter atau *screening classifier* (static dan atau dinamik) dan *delivery outlet*. Pada proses *grinding* dan *screening* di *classifier* terdapat proses pemisahan batubara dan bahan lainnya sehingga proses *pulverizer* memiliki *product* sesuai dengan karakter di boiler. Proses pemisahan ini dilakukan juga untuk pengaman dari *grinding* dan *classifier* dari kerusakan. Material yang tidak bisa di proses dipisahkan dan dikirim keluar dari *pulverizer* dengan nama *pyrite*.

Kondisi *pyrite* saat proses co-firing harus selalu diamati untuk mengetahui apakah campuran batubara dan biomassa dapat diproses di mill secara efektif atau tidak. Jika banyak *pyrite* yang terjadi maka dapat dikatakan proses milling tidak bisa dilakukan pada biomassa.

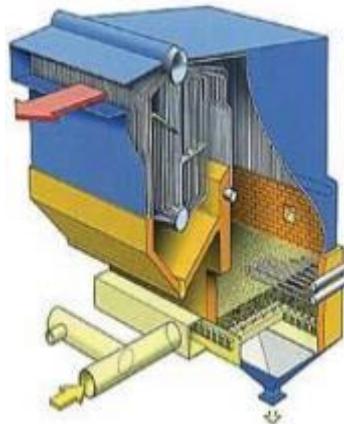
Perubahan parameter sampling *pyrite* masih dikatakan aman apabila masih dalam kisaran batas normal yang direkomendasikan.

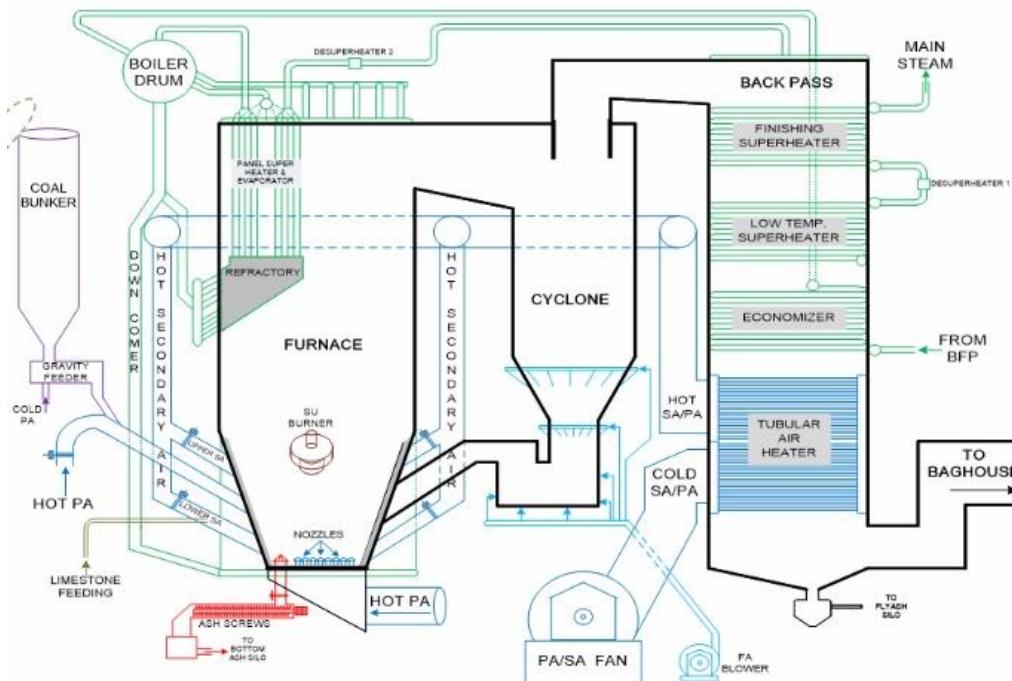
Seluruh parameter di atas selanjutnya dibandingkan dengan batasan normal operasi yang ada pada setiap pembangkit untuk mengetahui pengaruh co-firing pada parameter operasi pembangkit dan perubahan parameter-parameter tersebut dikatakan aman apabila masih dalam kisaran batas normal.

Batasan Normal operasi atau range operasi dapat mengacu pada desain pembangkit tersebut, manual operasi atau SOP terbaru jika unit telah mengalami modifikasi dari desain awal.

### 2.4.2 *Circulating Fluidized Bed*

Boiler CFB (*Circulating Fluidized Bed*) merupakan salah satu jenis boiler yang memiliki keunggulan dari segi emisi gas buang jika dibandingkan dengan boiler lainnya. Temperatur operasi dijaga sehingga pembentukan NOx dapat diminimalisir. Penggunaan limestone sebagai insitu desulfurization memberikan keunggulan dalam control SOx tanpa adanya peralatan tambahan.





Gambar 29 Circulating Fluidizing Bed Boiler

Boiler CFB menggunakan bed material sebagai bahan pembantu heat transfer di dalam ruang bakar. Ukuran batubara yang bisa dimasukkan ke dalam boiler secara langsung jauh lebih besar jika dibandingkan dengan boiler PC. Ukuran batubara bisa mencapai 30 mm atau lebih pada desain tertentu.

Boiler CFB memiliki kemampuan penggunaan bahan bakar dengan range batubara yan sangat lebar, penggunaan biomassa secara 100% atau campuran batubara dengan berbagai bahan seperti biomassa, RDF, SRF dan lain lain.

Dibalik semua keunggulan boiler CFB saat ini masih memiliki kelemahan yaitu batasan besar unit dan potensi aglomerasi. Dalam menjaga *performance* operasi boiler CFB, beberapa parameter harus selalu diperhatikan. Parameter-parameter operasi yang perlu diperhatikan dalam melakukan co-firing adalah sebagai berikut:

#### Furnace Exit Gas temperature

Sebagaimana dalam boiler PC, temperatur gas buang dari ruang bakar menuju *second pass* juga penting. Akan tetapi karena temperatur ruang bakar boiler CFB jauh di bawah boiler PC dan jauh di bawah AFT, maka *Furnace Exit Gas temperature* (FEGT) di dalam boiler CFB tidak menjadi prioritas untuk pengamatan.

Di dalam boiler CFB, gas buang terlebih dahulu memasuki cyclone dimana terjadi pertukaran panas dari gas buang dengan pipa-pipa sehingga temperatur gas buang cenderung lebih rendah.

Pada tipe cyclone yang menggunakan *uncooled system*. Gas buang tidak mengalami pertukaran panas dengan tube, akan tetapi temperatur gas buang masih jauh dari AFT sehingga tidak perlu dikhawatirkan.

Pada operasi co-firing, komposisi kimia dari biomassa dengan kandungan volatile yang lebih tinggi, memberikan potensi kenaikan suhu dan kecenderungan terjadi pada bagian atas boiler. Akan tetapi kenaikan ini masih di bawah AFT dari batubara.

Perubahan nilai FEGT dikatakan aman apabila masih berada dalam kisaran nilai batas normal operasi CFB boiler.

Furnace temperature boiler CFB berada pada range 850-920 °C. Kondisi ini memiliki keuntungan antara lain untuk menekan pembentukan NOx selama proses pembakaran. Kenaikan dari suhu furnace saat operasi membawa risiko potensi aglomerasi.

Kondisi batubara pada CFB boiler memiliki ukuran hingga 30 mm saat dimasukkan ke dalam furnace. Batubara akan terbakar di dalam ruang bakar dan terjadi proses fluidisasi. Panas yang ditimbulkan akan ditransfer ke dinding boiler secara langsung atau melalui media pasir yang ikut terfluidisasi. dengan suhu furnace yang cukup tinggi dan batubara yang cukup besar, maka kandungan alkali batubara akan menjadi aktif dan saling mengikatkan batubara satu dengan lainnya.

Ukuran batubara yang saling terikat menjadi lebih besar dan udara *primary air* menjadi tidak mampu lagi mengangkat batubara ini dan batubara terjatuh dan terkumpul di bagian bawah ruang bakar. Akumulasi batubara yang membesar di bagian bawah furnace apabila berlangsung terus menerus akan menutup jalur udara fluidisasi sehingga boiler tidak dapat beroperasi.

Pada saat pengoperasian Co-firing, parameter ini menjadi semakin penting karena desain furnace dan *arrangement fluidized bed* batubara dengan biomassa sangat berbeda. Kandungan alkali dari biomassa lebih tinggi dari batubara sehingga memberikan potensi aglomerasi. Massa jenis dari biomassa jauh lebih kecil daripada batubara. Proses fluidisasi akan bergeser dan titik panas akan bergeser ke atas. Pada beberapa simulasi, kandungan volatile dari biomassa yang lebih tinggi juga memberikan peningkatan suhu pada titik tertentu dari ruang bakar.

Perubahan temperatur ruang bakar dikatakan aman apabila masih berada dalam kisaran batas normal temperatur operasi CFB boiler.

### Furnace Bed Pressure

*Furnace bed pressure* atau tekanan ruang bakar terutama pada bagian bawah menjadi indikator utama kinerja boiler CFB. Tekanan ini mengindikasikan pola dan sebaran fluidisasi dari batubara, bed material dan limestone (jika dioperasikan) di dalam ruang bakar.

Dalam boiler CFB, fluidisasi harus terbentuk dan pola circulating dari cyclone harus mengalir. Apabila pola aliran ini tidak terbentuk maka operasi akan menjadi BFB (*Bubbling Fluidized Bed*). Hal ini juga bisa terbentuk akibat rendahnya tekanan ruang bakar.

Kenaikan tekanan ruang bakar akan membawa *impact* terjadinya fast bed material dimana akan mempercepat laju erosi pada dinding boiler.

Dalam pelaksanaan co-firing dimana *density* biomassa lebih kecil dari batubara, tekanan ruang bakar harus menjadi perhatian agar pola aliran tetap terjaga.

Tekanan ruang bakar ini sering juga disebut sebagai *differential pressure* yaitu beda tekanan antara ruang bakar dengan *wind box* di bawah *bed plate* ruang bakar. Hal ini untuk mengindikasikan adanya kebutuhan dari fluidisasi cap.

Perubahan tekanan di ruang bakar dikatakan aman apabila masih berada dalam kisaran batas normal operasi CFB boiler.

### Sealpot Pressure

*Sealpot* atau *loop seal* atau U loop hanya dimiliki oleh CFB boiler. Peralatan ini berfungsi sebagai penghubung antara dipleg dengan furnace. Perbedaan tekanan antara dipleg cyclone dengan furnace dimana tekanan furnace lebih tinggi sedangkan pola aliran harus mengarah dari cyclone kembali menuju furnace, maka diperlukan *sealpot*.

Untuk mendapatkan tekanan dan arah aliran sesuai desain maka ditambahkan sumber udara baru pada *loop seal*. Sumber udara ini pada desain beberapa boiler digunakan untuk membuat fluidisasi kecil di dalam *loop seal*. Penambahan tekanan bisa menggunakan kipas motor atau mengambil udara sebelum masuk ke ruang bakar.

Tekanan yang terlalu rendah di *loop seal* akan berakibat pada arah aliran dari furnace sebagian akan masuk ke *loop seal* dan naik ke cyclone, tekanan udara masuk yang terlalu tinggi dapat berakibat penurunan temperatur dan efisiensi karena terganggunya aliran udara menuju cyclone.

Dalam Pelaksanaan co-firing dengan biomassa, kondisi *sealpot* juga harus menjadi perhatian hal ini dikarenakan perbedaan massa jenis dari biomassa dan batubara. Perbedaan ini dapat mengubah pola fluidisasi yang

menyebabkan perbedaan tekanan ruang bakar dan potensi mengarah kembali ke *sealpot*.

Adjust udara baru di *sealpot* perlu dilakukan untuk menjaga pola operasi aliran dalam *sealpot* atau *loop seal*.

Perubahan nilai *sealpot pressure* dikatakan aman apabila masih berada dalam kisaran nilai batas normal operasi CFB boiler.

### Drain Bottom Ash Cooler

*Bottom ash* pada boiler CFB dapat mengindikasikan kondisi pembakaran di dalam ruang bakar. Desain bagian bawah ruang bakar boiler CFB berbeda dengan boiler PC dan Stoker. Bagian bawah dari ruang bakar CFB terdapat *fluidized cap* sehingga sistem pembuangan *bottom ash* hanya melalui lubang pembuangan yang langsung berhubungan dengan *ash cooler*.

Salah satu kondisi yang dihindari dalam pembakaran batubara pada CFB boiler adalah aglomerasi. Indikasi aglomerasi dapat dilihat dari butiran *bottom ash*. Apabila ada indikasi terjadi aglomerasi, maka butiran *bottom ash* akan saling mengumpal. Fenomena aglomerasi lebih banyak disebabkan oleh kandungan batubara terutama kandungan alkali.

Pada proses Co-firing, potensi aglomerasi menjadi parameter yang semakin penting harus diawasi. Kandungan alkali dari biomassa lebih tinggi sehingga dikhawatirkan pembentukan aglomerasi akan timbul.

Sampling dari *bottom ash* saat proses Co-firing harus lebih sering dilakukan. Kendala pengambilan sampling menjadi permasalahan karena kondisi *bottom ash* yang panas. Pengambilan sampling dapat dilakukan pada:

- *outlet drum cooler*
- *bottom ash conveyor*

Keadaan *bottom ash* pada kedua lokasi sudah lebih dingin daripada drain langsung dari *emergency discard* atau inlet drum cooler. Untuk unit yang tidak memiliki drum cooler, pengambilan sample bisa di stripper cooler.

Perubahan nilai *drain bottom ash cooler* dikatakan aman apabila masih berada dalam kisaran nilai batas normal operasi CFB boiler.

Seluruh parameter di atas selanjutnya dibandingkan dengan batasan normal operasi yang ada pada setiap pembangkit untuk mengetahui pengaruh co-firing pada parameter operasi pembangkit dan perubahan parameter-parameter tersebut dikatakan aman apabila masih dalam kisaran batas normal.

Batasan Normal operasi atau range operasi dapat mengacu pada desain pembangkit tersebut, manual operasi atau SOP terbaru jika unit telah mengalami modifikasi dari desain awal.

### 2.4.3 Stoker

Boiler stoker adalah jenis boiler paling sederhana dan paling lama dibandingkan dengan kedua jenis boiler lainnya. Teknologi pembakaran yang digunakan juga sangat sederhana dimana panas yang diperoleh dari pembakaran bahan bakar melalui *direct combustion* dengan posisi bahan bakar berada di bagian bawah dari ruang bakar terbakar secara natural pada *grate* hingga habis. Pada beberapa desain yang lebih maju, pembakaran digabungkan antara konvensional dan *suspension firing*.

Bahan bakar dari boiler stoker dapat berupa apa saja baik batubara, sampah yang belum diolah (*untreated waste*) sekalipun bisa dibakar dan digunakan sebagai bahan bakar. Pada beberapa WTE (*Waste To Energy*) boiler ini menggunakan sampah 100%.

Bahan bakar dimasukkan ke dalam boiler, untuk batubara di boiler stoker milik PLN rata-rata menggunakan *spreader system* dimana batubara dilemparkan hingga ujung *grate*. *Grate* akan bergerak dengan arah kebalikan dari arah lemparan *spreader*. Udara dihembuskan dari bagian bawah *grate*. Batubara yang terbakar akan menjadi abu dan akan terjatuh pada ujung *grate*.

Dibalik mudahnya operasi dari boiler stoker terapat batasan parameter yang harus dijaga selama operasi. Hal ini untuk memastikan operasi dari boiler selalu terjaga.



Gambar 30 Stoker Boiler

Dalam menjaga *performance* operasi boiler stoker, beberapa parameter harus selalu diperhatikan dalam melakukan co-firing. Parameter – Parameter operasi yang perlu diperhatikan dalam melakukan co-firing adalah sebagai berikut:

#### Temperature Furnace

Temperatur furnace atau temperatur ruang bakar menjadi salah satu parameter penting dari semua jenis boiler. Boiler stoker memiliki temperatur ruang bakar yang cenderung lebih rendah dari dua boiler yang lain. Hal ini

disebabkan kondisi pembakaran dari boiler stoker menggunakan metode pembakaran konvensional. Pada beberapa boiler stoker, telah didesain penggabungan pembakaran konvensional dan *suspension firing*. Dimana batubara yang besar akan terbakar di *grate* sedangkan serbuk batubara diharapkan terbakar saat melayang di ruang bakar atau *suspension firing*.

Selain temperatur ruang bakar, distribusi panas juga harus diperhatikan di dalam ruang bakar boiler stoker. Sistem distribusi panas pada boiler CFB dibantu oleh bed material, pada boiler PC dibantu oleh pengaturan posisi burner. Pada boiler stoker tidak terdapat mekanisme khusus untuk pemerataan panas. Pemerataan panas ini mengandalkan distribusi batubara pada *grate* stoker boiler.

Kenaikan temperatur ruang bakar pada boiler stoker akan mempengaruhi kinerja dari *grate*. Sebagaimana dijelaskan di atas, bahwa batubara terbakar secara konvensional pada *grate* stoker boiler. Apabila adanya panas berlebih akan memberikan efek secara langsung pada *grate* material. Material *grate* yang terlalu panas dapat mengakibatkan melelehnya material atau putusnya link atau rangkaian *grate* sehingga *grate* tidak bisa difungsikan. Oleh karena itu temperatur ruang bakar stoker boiler harus selalu dimonitor.

Pada pelaksanaan Co-firing, kondisi ini juga harus dimonitor. Hal ini dilakukan untuk menjaga distribusi pemerataan panas pada *grate*. Massa jenis biomassa yang lebih kecil dari batubara memiliki kecenderungan akan menjadi *suspension firing* atau terlempar pada jarak yang lebih dekat dari *spreader* sehingga timbul penumpukan pada ujung *grate*. Hal ini harus dihindari agar unit tetap beroperasi normal.

Data dari Co-firing menunjukkan tidak ada kenaikan dan distribusi panas yang masih merata pada boiler stoker.

Perubahan hasil pengujian co-firing pada beberapa dapat dikatakan aman apabila masih dalam kisaran batasan normal operasinya.

### Motor *Grate Current*

*Grate* di dalam boiler stoker menjadi salah satu komponen penting. *Grate* merupakan media terbakarnya batubara. Panjang *grate* didesain secara spesifik untuk satu boiler dengan karakter batubara tertentu. Panjang *grate* dibuat tetap akan tetapi kecepatan berputar atau bergetar (bagi type *vibrating*) dibuat *adjustable* atau bisa disesuaikan. Untuk batubara yang cenderung lebih besar, maka kecepatan *grate* dibuat lebih pelan sehingga waktu terbakar bagi batubara lebih lama. Pada prinsipnya batubara harus habis ketika berada di ujung *grate* dan terjatuh pada *bottom ash*.

Kondisi ini disesuaikan dengan jumlah batubara di atas *grate*. Apabila menggunakan batubara ukuran besar semua maka berat batubara di atas *grate* akan lebih tinggi sehingga memaksa motor penggerak mengeluarkan daya lebih atau *ampere current* motor menjadi naik.

Pada pelaksanaan Co-firing, kondisi *grate* juga harus diperhatikan. Biomassa sebagai bahan tambahan dari Co-firing yang memiliki sifat alkali yang cukup tinggi. Biomassa yang menempel pada *grate* saat terbakar dapat memberikan sisa alkali dimana ini bisa bersifat lem/ lengket. Batubara bisa menempel pada *grate* dan terkumpul terus menerus sehingga brate *grate* dan batubara semakin naik.

Pada pelaksanaan Co-firing, kondisi *grate* masih dalam batas operasi. Distribusi beban pada *grate* masih dalam atas kemampuan motor penggerak *grate*.

Perubahan hasil pengujian *Motor Grate Current* dikatakan aman apabila masih berada dalam kisaran batas normal operasi boiler.

### Furnace Pressure (Tekanan Ruang Bakar)

Tekanan ruang bakar pada stoker boiler sebenarnya tidak begitu memberikan pengaruh yang signifikan. Pada beberapa boiler stoker bahkan didesain sebagai *atmospheric condition* dan didesain terbuka sehingga proses pembakaran terlihat.

Kondisi tekanan ruang bakar pada boiler stoker lebih ditekankan pada perbedaan tekanan *primary air* dan tekanan ruang bakar. Hal ini bertujuan untuk mengetahui laju udara bakar dari stoker dimana udara dihembuskan dari bawah *grate* untuk pembakaran batubara. Udara akan melewati celah-celah di antara *grate* dan terjadi proses pembakaran.

Perbedaan tekanan yang mencolok antara tekanan *primary air* fan dan tekanan ruang bakar mengindikasikan adanya rongga-rongga dari *grate* yang tertutupi oleh *bottom ash* yang menempel pada bagian *grate*. Untuk menjaga kondisi pembakaran yang berlangsung maka sirkulasi udara pada *grate* harus dimonitor.

Pada pelaksanaan Co-firing dimana kondisi biomassa memiliki massa jenis yang lebih kecil sedikit banyak akan memberikan perbedaan tekanan. Massa jenis biomassa yang ringan membuat material ini akan sedikit melayang pada saat dilemparkan oleh *spreader*. Kondisi ini akan menaikkan tekanan udara pada ruang bakar karena laju udara pembakaran tidak tertahan oleh material yang seharusnya berada di bagian *grate*. *Balance draft* dari boiler stoker bisa bergeser lebih ke atas jika kondisi ini terjadi terus dan menyebabkan panas lebih banyak di atas yang berakibat pada proses konveksi dari ruang bakar stoker menjadi dominan dimana seharusnya radiasi yang lebih dominan.

Pada pelaksanaan Co-firing tidak menunjukkan adanya deviasi tekanan ruang bakar sehingga operasi boiler tetap terjaga

Perubahan tekanan di ruang bakar dikatakan aman apabila masih berada dalam kisaran batas normal operasi boiler.

### Spreader Speed dan Current Motor

Sebagaimana dijelaskan di atas, proses distribusi batubara pada *spreader* stoker tidak melalui proses *delivery* secara *gravity* pada CFB atau udara panas bertekanan pada PC boiler. Batubara didistribusikan secara merata dengan cara dilempar oleh *mechanical spreader* atau udara tekan. Pada beberapa desain batubara dijatuhkan dengan dorongan ke *grate*.

Lemparan ataupun dorongan ini sangat mempengaruhi distribusi dari batubara. Lemparan yang terlalu kuat dapat memberikan efek batubara terlempar melebihi ujung *grate* atau bahkan menumbuk tube furnace. Sedangkan lemparan yang lemah akan berakibat batubara tidak mencapai ujung *grate* sehingga distribusi batubara pada *grate* tidak merata.

Massa dan volume dari batubara menjadi salah satu parameter desain dari bentuk dan ukuran *spreader* serta penentuan motor penggeraknya. Tumpukan batubara yang terlalu banyak pada *spreader* akan berakibat kerja *spreader* lebih berat sehingga akan membebani motor dan terjadi kenaikan arus motor.

Pada pelaksanaan Co-firing, kondisi ini juga harus diperhatikan. Karena parameter dari biomassa berbeda dengan batubara terutama massa jenisnya. Untuk mendapatkan jumlah energi input yang sama, maka diperlukan volume biomass yang lebih besar dari pada batubara. Hal ini juga semakin besar apabila *heating value* dari biomass semakin kecil. Volume yang besar ini dapat mengganggu kerja *spreader* karena volume ruang *spreader* terbatas. Dalam kondisi ini, kecepatan putar *spreader* menjadi lebih tinggi karena melemparkan bahan bakar yang jauh lebih ringan dari pada batubara.

Perubahan parameter masih dikatakan aman apabila masih dalam kisaran batas normal operasi.

...

Seluruh parameter di atas selanjutnya dibandingkan dengan batasan normal operasi yang ada pada setiap pembangkit untuk mengetahui pengaruh co-firing pada parameter operasi pembangkit dan perubahan parameter-parameter tersebut dikatakan aman apabila masih dalam kisaran batas normal.

Batasan Normal operasi atau range operasi dapat mengacu pada desain pembangkit tersebut, manual operasi atau SOP terbaru jika unit telah mengalami modifikasi dari desain awal.

## 2.5 CATATAN LESSON LEARNED

### 2.5.1 Penerapan Co-Firing Biomassa dari Luar Negeri

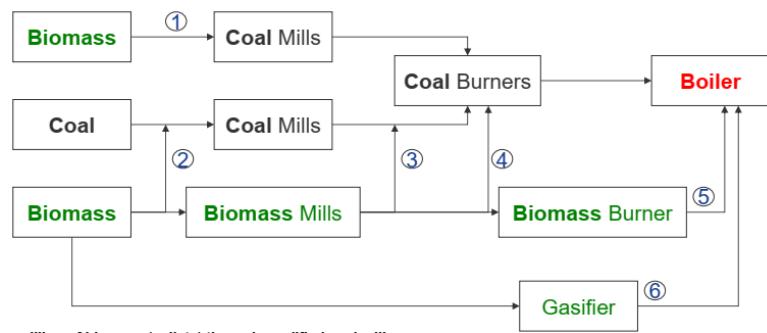
Mengacu pada beberapa *success story* studi Co-firing batubara dengan biomassa di beberapa pembangkit batubara di berbagai negara di dunia, yang dipicu oleh pengetatan aturan lingkungan sebagai bentuk respon atas perubahan iklim dunia, pengelola pembangkit listrik tenaga uap batubara secara aktif mendorong Co-firing batubara dengan biomassa pada boiler eksistingnya. Bio massa yang digunakan umumnya berbasis pada bio pellet yang juga digunakan sebagai bahan bakar padat pada mesin pemanas pada beberapa negara di Eropa dan Amerika. Dalam laporan kali ini, kita akan berfokus pada penerapan teknologi pembakaran dari bio pellet di pembangkit batubara eksisting melalui beberapa pengujian pembakaran aktual pada boiler dengan komposisi pembakaran hingga 5% biomassa.

Co-firing antara batubara dan biomassa telah mencapai *maturity* teknologi dan metodologinya, sehingga bisa menghasilkan efisiensi *thermal* pembakaran yang tinggi, nilai investasi peralatan yang rendah dan kemudahan dalam teknologi penyimpanan material/transportasi dan *handling*. Bahan bakar bio pellet pada umumnya memiliki 3 metode pembakaran yang bisa diterapkan pada boiler batubara eksisting, yakni:

1. Direct Co-firing, bio pellet dicampur melalui peralatan penggiling/*grinding* dan pengumpulan/*feeder* yang sama atau terpisah kemudian *dimixing* dengan batubara ke dalam boiler yang sama untuk dibakar, maupun menggunakan boiler terpisah. Umumnya tidak ada investasi biaya peralatan khusus dengan metode ini, dan merupakan cara pembakaran bersama secara langsung dan hemat biaya. Metode ini merupakan cara pembakaran bersama yang paling banyak diadopsi oleh *pulverized coal boiler*.
2. Indirect CoFiring, pada metode ini memerlukan peralatan tambahan seperti *gasifier* bio-pellet. Bio-pellet terlebih dahulu di gasifikasi menjadi syngas dalam mesin *gasifier* sebelum akhirnya masuk ke boiler batubara untuk pembakaran. Kelebihan dari metode ini adalah proses pemurnian syngas dengan metode gasifikasi ini meminimalkan dampak pencemaran dari pembakaran langsung.
3. Paralel Co-firing, pada metode ini memerlukan investasi pembangunan boiler berbahan bakar bio-pellet yang terpisah, kemudian uap yang dihasilkan dari boiler bio-pellet diumpulkan ke dalam sistem uap boiler berbahan bakar batubara eksisting. Pendekatan ini menggunakan boiler bio-pelet yang terpisah dari boiler batubara yang memungkinkan pemanfaatan bio-pelet lebih maksimal, namun biasanya digunakan pada produk sampingan untuk pabrik kertas (mis., kulit kayu, limbah kayu).

Gambar 31 menunjukkan skenario co-firing dari biomassa, terdapat 6 skenario yang dapat digunakan yaitu:

1. Biomassa (pellet) diproses melalui *coal mill* yang sudah dimodifikasi
2. Pre-mixing biomassa dan batubara, dan proses milling dan pembakaran campuran melalui *coal pipe* eksisting
3. Biomassa melalui proses milling yang terpisah dan diinjeksi langsung ke *coal pipe* eksisting
4. Injeksi langsung biomassa ke furnace dengan modifikasi pada coal burner
5. Injeksi langsung biomassa ke furnace dengan burner yang didedikasikan untuk biomassa
6. Gasifikasi dari biomassa, dan pembakaran dengan gas pada boiler



Gambar 31. Skenario Co-Firing Biomassa (Doosan)

### 2.5.2 Co-firing Pembangkit di Amerika Serikat dan Eropa

Tabel 4 menunjukkan beberapa pengujian biomassa pada pembangkit komersil. Mayoritas biomassa yang digunakan berupa wood waste, dengan injeksi biomassa sebesar 1% hingga 20% (basis massa). Berdasarkan pengujian di atas dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Co-firing biomassa dengan batubara merupakan opsi yang sangat baik dari sisi investasi untuk mereduksi CO<sub>2</sub> dari pembangkit batubara existing
2. Emisi NOx dan SOx pada beberapa pengujian mengalami penurunan dengan melakukan co-firing dengan biomassa, namun hal ini sangat bergantung dengan jenis bahan bakar yang digunakan dan kondisi operasinya.
3. Biaya investasi tergantung dari sistem *feeding* yang digunakan, *feeding* dapat dilakukan dengan premixing biomassa dengan batubara atau sistem terpisah sehingga tidak tercampur pada *pulverizer*. Capital cost tentunya lebih rendah pada opsi pertama, namun *feeding* yang dilakukan sebelum *pulverizer* dibatasi oleh performa *pulverizer* sendiri. Performa *pulverizer* dapat bervariasi terhadap jenis biomassa yang digunakan
4. Persentase maksimum biomassa yang dapat di co-firing dengan batubara tergantung dari jenis boiler yang digunakan

## Bab II Kajian Operasi Co-Firing

5. Efisiensi boiler mengalami sedikit penurunan dengan melakukan co-firing. Namun, kapasitas pembangkit tidak mengalami penurunan yang signifikan
6. Korosi, *slagging*, dan *fouling* pada boiler menjadi masalah dengan melakukan co-firing, terutama ketika biomassa yang digunakan memiliki kandungan alkali yang tinggi
7. Kelayakan dari sisi ekonomi bergantung kepada harga biomassa relatif terhadap batubara yang tersedia untuk pembangkit tersebut. Incentif penurunan CO<sub>2</sub> merupakan faktor penting dalam kelayakan co-firing dengan biomassa.

**Table 1 – Utility testing of cofiring biomass with coal [8,10].**

Utility	Generating station	Cofiring approach	Boiler capacity	Coal type	Biomass type
TVA	Allen (cyclone)	Blending biomass and coal; 5-20% by mass	272 MWe	Illinois basin, Utah bituminous	Wood waste
TVA	Kingston (T-fired PC)	Blending biomass and coal; 1-5% by mass	190 MWe	Eastern bituminous	Wood waste
TVA	Colbert (wall-fired PC)	Blending biomass and coal; 1-5% by mass	190 MWe	Eastern bituminous	Wood waste
GPU, Genco	Shawville (T-fired and wall-fired PC)	Blending biomass and coal; 3% by mass	190 MWe; 138 MWe	Eastern bituminous	Wood waste, hybrid poplar
GPU, Genco	Seward (wall-fired PC)	Separate injection of biomass	32 MWe	Eastern bituminous	Wood waste
NIPSCO	Michigan city (cyclone)	Blending biomass and coal; 10% by mass	469 MWe	PRB, Shoshone	Urban wood waste
MG&E	Blount St. (wall-fired PC)	Separate injection of biomass; 5-20% by mass	50 MWe	Midwest bituminous	Switchgrass
NYSEG	Greenidge station (T-fired PC)	Separate injection of biomass; 10-20% by mass	104 MWe	Eastern bituminous	Wood waste
Southern	Plant Hammond (T-fired PC)	Blending biomass and coal; 5-14% by mass	120 MWe	Eastern bituminous	Wood waste
Southern	Plant kraft (T-fired PC)	Separate injection of biomass; 20-50% by mass	55 MWe	Eastern bituminous	Wood waste
ELSAM	Studstrup (wall fired)	Separate injection of biomass; 0-20% on energy basis	150 MWe	Bituminous	Straw

Tabel 4 Pengujian Co-firing di Pembangkit Eropa dan Amerika Serikat

Lebih jauh lagi, dari tinjauan sejumlah laporan dan makalah teknis dari program co-firing DOE, kesimpulan umum yang khusus untuk unit *pulverized coal* adalah sebagai berikut:

- Dari perspektif teknis murni, sistem penyaluran dan injeksi bahan bakar biomassa yang terpisah dan independen lebih disukai daripada mem-*feeding* biomassa melalui sistem pengangkutan, penghancuran, dan injeksi batubara yang ada.
- Co-milling campuran batubara dan biomassa dapat secara signifikan mempengaruhi ampere dan kapasitas *pulverizer* tergantung pada jenis dan kuantitas biomassa. Karena alasan ini, feed campuran dapat menyebabkan penurunan nilai unit, terutama jika unit sudah mendekati kapasitas mill.
- Ketika dibakar secara terpisah, sistem co-firing biomassa dapat mengurangi penurunan boiler yang disebabkan oleh kapasitas mill yang terbatas atau beralih ke bahan bakar dengan kualitas lebih rendah.
- Batubara dengan co-firing dan bahan bakar biomassa umumnya menghasilkan SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, merkuri, dan emisi lain yang lebih rendah daripada pembakaran dengan pembakaran batubara 100%. Persen pengurangan emisi biasanya sebanding dengan persentase co-firing

(berdasarkan masukan panas), meskipun pengurangan NO<sub>x</sub> lebih sulit untuk diprediksi secara akurat.

- Bahan bakar kayu dapat diangkut secara pneumatik untuk jarak yang sangat jauh dibandingkan dengan dimensi plant pada umumnya.
- Efisiensi boiler tidak berkurang secara signifikan dan laju panas bersih plant tidak meningkat secara signifikan saat co-firing dengan biomassa (di mana bahan bakar biomassa menyediakan kurang dari 10 persen dari total masukan panas ke boiler).
- Kayu terus menerus dibakar untuk waktu yang lama dalam boiler utilitas dengan sedikit efek negatif yang cukup besar.
- Daya jual *fly ash* dapat dipengaruhi secara negatif oleh kayu campur dan *fly ash* batubara.

### 2.5.3 Lesson Learn Co-firing Biomassa di PLTU Paiton 1-2



- Proven; Co-firing Biomassa telah implematasi di di US, Europe, England, Jepang dan Korea dan bisa diterapkan di Indonesia dengan Quick Win di Paiton 1-2
- Ekosistem Biomassa, Baru serbuk kayu yang memiliki potensi *FeedStock* yang sustain. Diperlukan waktu untuk terbentuknya Ekosistem Rantai Pasok Biomassa berbasis Kerakyatan
- Potensi Rabasan/Woodchip PLN Area/ Dinas Kebersihan bisa dimanfaatkan untuk mendukung Pasokan biomassa organik
- Edukasi Pemasok diperlukan untuk menjamin quantity pasokan dan kualitas serbuk kayu yang kering & memiliki CV baik
- Biomass Alternatif, sampai dengan saat ini Co-firing Paiton 1-2 bisa dipenuhi dengan limbah serbuk kayu. Diperlukan perluasan uji biomass alternatif lain maupun dukungan regulasi dan Kebijakan lebih lanjut

## Bab II Kajian Operasi Co-Firing

---

Hasil Evaluasi Pengujian Co-firing *Wood pellet & Sawdust* di PLTU Paiton adalah sebagaimana berikut:

1. Ditinjau dari aspek Teknis Operasional, dari monitoring *visual mixing*, sample material *pyrite*, monitoring parameter operasional *coal mill*, monitoring FEGT boiler masih aman dan dalam batas normal.
2. Ditinjau dari aspek Finansial, dengan menggunakan data nilai kalor bb 4552 kcal/kg dan nilai kalor biomassa *sawdust* 3700 kcal/kg, untuk simulasi selama 1 tahun operasi (5421 GWh), 5% *Sawdust* akan mengurangi BPP dari 546,8 Rp/kWh menjadi 542,87 Rp/kWh (*saving* 3,93 Rp/kWh) dan biaya bahan bakar dari 2.368,05 Miliar menjadi 2.346,71 Miliar (*saving* 21,33 Miliar). Sehingga Co-firing dengan *sawdust* dikatakan layak secara finansial dan berpotensi menghemat BPP dan biaya bahan bakar tanpa CAPEX yang signifikan
3. Ditinjau dari aspek Lingkungan, Emisi SOx sebelumnya pada pengujian 100% batubara 536.2 mg/Nm<sup>3</sup> turun menjadi 285 mg/Nm<sup>3</sup> saat menggunakan 5% *sawdust*, sedangkan baku mutu emisi KLHK 550 mg/Nm<sup>3</sup>, sehingga memenuhi baku mutu. Emisi NOx sebelumnya pada pengujian 100% batubara 424.4 mg/Nm<sup>3</sup> turun menjadi 267.4 mg/Nm<sup>3</sup>, sedangkan baku mutu emisi KLHK 550 mg/Nm<sup>3</sup>, sehingga memenuhi baku mutu. Hasil uji kandungan sulfur biomass sangat rendah, hanya sekitar 0.05% dibandingkan batubara yang berkisar 0.1-0.7%, sehingga potensi timbulnya emisi SOx lebih rendah. Unit pembangkit yang mengimplementasikan co-firing biomass juga termasuk kategori carbon netral yang lebih ramah lingkungan dibandingkan PLTU eksisting yang termasuk carbon positif.
4. Ditinjau dari aspek Kepatuhan Terhadap Regulasi pada program implementasi co-firing di PLTU Paiton 2x400MW adalah selaras dan *comply* terhadap seluruh aspek regulasi, terukur dan terpetakan implikasinya terhadap korporasi, serta terdapat rencana aksi untuk terus menerus secara konsisten patuh terhadap ketentuan regulasi.
5. Ditinjau dari aspek Risiko, hasil kajian risiko dalam pengembangan implementasi Co-firing PLTU Paiton 1-2 ini dapat dimitigasi sampai dengan level risiko rendah atau moderat yang mana telah berada dalam *risk appetite* PJB.

# Penanganan Bahan Bakar Biomassa



3



## Bab III

# Penanganan Bahan Bakar Biomassa

### 3.1 PERIHAL KUNCI



Pemrosesan biomassa adalah salah satu area di mana kesederhanaan diterapkan semaksimal mungkin. Pengadaan bahan bakar biomassa yang tepat dapat menghilangkan kebutuhan untuk beberapa pemrosesan biomassa (misalnya, serbuk gergaji). Namun, ada biaya ekonomi yang terkait dengan biomassa yang diproses sebelumnya. Selain itu, modifikasi sistem pembakaran (co-firing vs. pembakaran terpisah), atau pengurangan level co-firing, dapat menghilangkan persyaratan untuk pengeringan bahan bakar. Keberhasilan program biomassa jangka panjang bergantung pada pemrosesan biomassa yang tepat; pembakaran bahan bakar biomassa yang belum diproses (terutama tidak tersaring) dapat mengakibatkan program gagal.

Pengelolaan biomassa di lapangan batubara membutuhkan perhatian yang signifikan. Ini adalah salah satu kunci keberhasilan co-firing dan, jika tidak diberikan perhatian yang tepat, itu dapat memberikan hambatan yang membuat co-firing sulit atau pilihan non-ekonomi. Aktivitas ini harus dilakukan dengan cara yang akan berdampak minimal pada operasi yang ada dan tidak akan berdampak negatif pada keandalan plant, pengoperasian, tingkat staf, pola lalu lintas, atau aktivitas terkait lainnya. Secara optimal, satu-satunya dampak co-firing biomassa akan menguntungkan (misalnya, meningkatkan pengelolaan debu dalam penanganan batu bara atau mengurangi emisi gas). Ada opsi untuk pengelolaan bahan bakar yang dapat menghasilkan dampak yang menguntungkan. Kunci sukses co-firing bahan bakar biomassa dengan batubara di pembangkit listrik yang ada adalah manajemen bahan bakar.

#### 3.1.1 Tantangan pada Manajemen Bahan Bakar

Tantangan pada pengelolaan bahan bakar termasuk penurunan harga bahan bakar, tergantung pada kondisi lokal, dan diversifikasi pasokan bahan bakar. Pada saat yang sama, tantangan pengelolaan bahan bakar termasuk memperkenalkan beberapa utilitas ke dalam praktik pencampuran bahan bakar atau penggabungan dengan pemberian bahan bakar nabati secara terpisah untuk mencapai sejumlah tujuan teknis dan ekonomi:

- co-firing untuk meningkatkan pembakaran melalui fenomena penyalakan awal, ketidakstabilan bahan bakar, dan karakteristik melekat lainnya dari *biofuel*
- co-firing untuk mengelola pertimbangan *slagging* dan *fouling* tertentu, tergantung pada *biofuel* yang tersedia dan batubara yang dibakar
- co-firing untuk mencapai penghematan biaya bahan bakar pada margin, tergantung pada ketersediaan bahan bakar lokal dan biaya untuk batubara dan biomassa

Masalah ini dan masalah manajemen bahan bakar lainnya dapat diatasi dengan pembakaran bahan bakar nabati. Pada saat yang sama, pelajaran yang didapat dari *biofuel* dapat diterapkan pada berbagai limbah industri dan perkotaan yang saat ini dianggap sebagai bahan bakar alternatif.

...

Evaluasi atau praktik co-firing dapat dilakukan sebagai respons terhadap berbagai tekanan: tekanan deregulasi, tekanan lingkungan, dan / atau tekanan manajemen bahan bakar. Untuk banyak pihak utilitas, potensi co-firing cukup untuk menjamin pertimbangan komersialisasi segera. Untuk pihak utilitas lain, potensi co-firing sudah cukup untuk menjamin pertimbangan yang cermat termasuk program pengujian potensial; dengan hasil akhirnya adalah teknologi yang "dipasangkan" untuk respons potensial di masa depan terhadap perubahan dalam iklim ekonomi, peraturan, lingkungan, atau bisnis / persaingan.

Untuk semua pihak utilitas dengan boiler berbahan bakar batubara, co-firing memberikan opsi yang menarik untuk penggunaan *biofuel* terbarukan untuk memenuhi persyaratan jangka pendek. Namun, teknologi co-firing, dapat membutuhkan perhatian yang jauh lebih besar daripada sekedar mendorong serbuk gergaji masuk ke hopper reklamasi dan lalu berharap yang terbaik. Mengoptimalkan teknologi ini, dan dampaknya pada stasiun pembangkit, membutuhkan perhatian yang cermat terhadap karakteristik bahan bakar nabati yang dipertimbangkan dan batu bara dasar atau campuran batu bara yang dibakar. Hal ini membutuhkan perhatian pada teknologi persiapan dan penanganan biomassa. Ini membutuhkan fokus pada hubungan antara co-firing dan teknologi pembakaran spesifik di pembangkit listrik tertentu. Terakhir, diperlukan pemahaman tentang teknologi pembakaran co-firing alternatif yang terkait dengan pembangkit listrik tertentu.

#### 3.1.2 Umum

Pembakaran biomassa dengan batu bara di pembangkit listrik yang ada adalah teknologi yang sekarang muncul sebagai sarana untuk mengatasi masalah deregulasi, masalah lingkungan, dan masalah ekonomi. Karakteristik bahan bakar untuk *biofuel* cukup dipahami dengan baik. Pengelolaan *biofuel* di lapangan batubara membutuhkan perhatian yang signifikan. Ini adalah salah satu kunci keberhasilan co-firing, dan jika tidak diberikan perhatian yang tepat dapat memberikan hambatan yang membuat co-firing sulit atau pilihan non-ekonomis. Manajemen bahan bakar mencakup pengadaan, penerimaan, pemrosesan, penyimpanan, dan pencampuran biomassa dengan batubara. Aktivitas ini harus dilakukan dengan cara yang akan berdampak minimal pada operasi yang ada dan tidak akan berdampak negatif pada keandalan plant, pengoperasian, tingkat staf, pola lalu lintas, atau aktivitas terkait lainnya. Secara optimal, satu-satunya dampak co-firing akan menguntungkan (misalnya, meningkatkan pengelolaan debu dalam penanganan batubara). Ada opsi untuk pengelolaan bahan bakar yang dapat menghasilkan dampak yang menguntungkan.

Biomassa memiliki kepadatan energi curah yang rendah, umumnya lembab dan sangat hidrofilik, serta tidak rapuh. Karena nilai kalor biomassa umumnya sekitar setengah dari batu bara, kepadatan partikel sekitar setengah dari batu bara, dan kepadatan curah sekitar seperlima dari batu bara, ini menghasilkan kepadatan bahan bakar keseluruhan kira-kira sepersepuluh dari batu bara! Akibatnya, biomassa co-firing pada tingkat masukan panas 10% menghasilkan tingkat aliran batubara volumetrik dan biomassa dengan besaran yang sebanding. Akibatnya, penggunaan biomassa menuntut pengiriman, penyimpanan, dan teknologi penanganan bahan bakar di tempat yang sangat tinggi dibandingkan dengan kontribusi panasnya. Persyaratan penyimpanan di tempat, bahkan untuk persentase co-firing sederhana, cukup besar.

Masalah mendasar dari pengelolaan, penanganan, dan persiapan bahan bakar mencakup sejumlah area yang harus ditangani sebelum proses pengambilan keputusan untuk menghasilkan operasi yang efisien. Penting untuk disadari bahwa masalah ini saling bergantung satu sama lain dan harus ditangani bersama. Mungkin keputusan pertama adalah menentukan jawaban atas beberapa pertanyaan kunci seperti mengapa co-firing diperlukan, misalnya, penghematan bahan bakar, emisi, penggantian kerugian karbon bahan bakar fosil, layanan pelanggan, atau persyaratan peraturan. Ini diikuti dengan pengetahuan tentang jenis teknologi pembakaran yang akan digunakan, ketersediaan dan bahan bakar biomassa apa yang akan digunakan, persentase co-firing yang diinginkan, dan ukuran partikel yang dibutuhkan. Setelah ini diselesaikan, masalah yang lebih signifikan seperti pengadaan, penerimaan, penyimpanan, pencampuran persiapan, dan pengangkutan dapat diatasi. Kesederhanaan dan keandalan diperlukan untuk memperoleh keuntungan ekonomi dan untuk menciptakan penerimaan yang diperlukan oleh staf instalasi jika sistem tersebut akan menjadi masalah rutinitas sehari-hari.

### 3.1.3 Quality Control

Tanggung jawab utama untuk kontrol kualitas terletak pada pengguna akhir — boiler mereka yang akan menggunakan bahan bakar. Tidak peduli seberapa hati-hati dan detail spesifikasi disusun, selalu ada contoh ketika materi di luar spesifikasi dikirim ke lokasi. Sebagai hasil dari kejadian ini, pengguna akhir harus memberikan jaminan akhir bahwa biomassa yang dikirim memenuhi kriteria yang diharapkan. Contoh material asing, material besar, dan material berkualitas buruk pernah dialami di hampir semua demonstrasi dengan durasi yang signifikan.

Metode inspeksi untuk pengendalian kualitas termasuk pengambilan sampel untuk kelembaban, nilai kalor, dan bahan asing. Pengambilan sampel harus dipertimbangkan untuk mencegah vendor menyediakan bahan bakar biomassa berkualitas buruk atau menambahkan air, pasir, dan sampah ke bahan bakar biomassa yang dikirim. Frekuensi pengambilan sampel dapat bervariasi dari sampel acak hingga beberapa sampel dari setiap beban bahan bakar biomassa. Tujuannya agar setiap vendor mengetahui bahwa kuantitas dan kualitas bahan bakar diharapkan sesuai dengan kontrak.

### 3.1.4 Pengelolaan

Proses pengadaan dan pengelolaan *biofuel* di lapangan batubara sangat penting untuk keberhasilan program co-firing apa pun. Ini melibatkan memastikan pasokan bahan bakar yang aman. Ini melibatkan pengembangan sistem untuk menerima bahan bakar, memprosesnya dengan peralatan skrining dan pengurangan ukuran, menyimpannya, dan mengukurnya dengan cara yang terorganisir ke total pasokan bahan bakar.

Metode yang disukai untuk menerima dan menyiapkan *biofuel* adalah dengan memasang sistem dan beroperasi di lokasi plant utilitas. Ini memberikan jaminan kontrol kualitas yang lebih baik. Metode yang disukai untuk persiapan mencakup skrining setiap kaki kubik *biofuel*. Ini memberikan metode terbaik untuk menghilangkan material gelandangan. Meskipun ada beberapa jenis sistem skrining, pengalaman hingga saat ini lebih menyukai saringan trommel besar (misalnya > 20 ton / jam atau kapasitas 18 ton / jam) ketika mereka tidak membuat biaya modal sistem menjadi penghalang.

Penyimpanan *biofuel* sangat penting untuk menghindari masalah pengambilan kelembaban yang tidak semestinya, limpasan lindi, dan masalah serupa lainnya tentang kualitas bahan bakar atau perlindungan lingkungan. Penyimpanan *biofuel* dapat dilakukan dengan murah di gudang, bangunan tiang, atau bangunan serupa. Silo juga merupakan opsi penyimpanan.

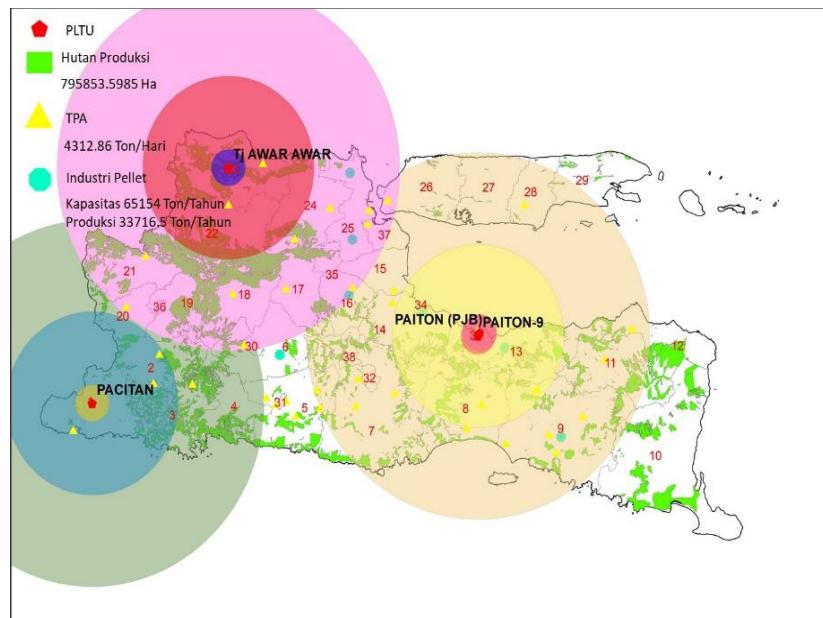
Pengangkutan bahan bakar ke bunker atau ke boiler tergantung pada jenis co-firing yang diantisipasi. Pengangkutan di sabuk batu bara, dengan batu bara, dapat dilakukan untuk co-firing batu bara siklon dan pembakaran dengan persentase rendah. Pengangkutan pneumatik diperlukan untuk firing terpisah dari *biofuel*, dan dapat dilakukan dengan menggunakan metode yang terbukti dan berhasil.

Penanganan material, kemudian, bisa merupakan aspek paling kritis dari co-firing. Namun, hal itu dapat dengan mudah dicapai, dengan mengenali opsi yang tersedia dan perhatian terhadap detail yang diperlukan.

## 3.2 SURVEI BIOMASSA

Berdasarkan hasil studi Pusenlis dan UGM terkait potensi biomassa untuk Co-firing, PLTU Paiton, PLTU Tanjung Awar Awar dan PLTU Pacitan masuk dalam satu wilayah yang cukup berdekatan.

Berdasarkan hasil studi Pusenlis dan UGM terkait potensi biomassa untuk Co-firing; PLTU Paiton 9, PLTU Tanjung Awar Awar dan PLTU Pacitan masuk dalam satu wilayah yang cukup berdekatan. Merujuk dari hasil studi UGM di 38 Kab/kota terdapat potensi *wood pellet* bervariasi di masing-masing daerah, mulai dari skala kecil (<10 ton/hari) hingga skala besar >150 ton/hari di Trenggalek, Kab Malang, Banyuwangi, Situbondo, Nganjuk, Madiun, Ngawi, Bojonegoro, dan Tuban.



Gambar 32 Pemetaan Potensi Biomassa di Area PLTU Paiton 9

### Bab III Penanganan Bahan Bakar Biomassa

Tabel 5 Ketersediaan Pasokan Biomassa di Sekitaran Area Paiton

PLTU	KETERSEDIAAN (TON/HARI)	KEBU- TUHAN	SURPLUS	SUMBER PASOKAN (KAB/KOTA)
Paiton PJB	740,8	432	308,8	Malang, Lumajang, Jember, Bondowoso, Probolinggo, Pasuruan, Mojokerto, Batu
Paiton-9	740,8	34	706,8	Malang, Lumajang, Jember, Bondowoso, Probolinggo, Pasuruan, Mojokerto, Batu
Pacitan	821,2	22	799,2	Pacitan, Ponorogo, Trenggalek, Tulungagung, Madiun, Magetan, Ngawi
Tj Awar Awar	971,7	408	563,7	Jombang, Nganjuk, Madiun, Ngawi, Bojonegoro, Tuban, Lamongan, Gresik

#### 3.2.1 Survei *Wood pellet* di PLTU Paiton

Survei biomassa *wood pellet* di sekitar unit PLTU Paiton untuk keperluan uji coba *co-firing* PLTU dilakukan selama periode Agustus 2019. dari survei telah diidentifikasi tujuh lokasi pabrik *wood pellet* mulai dari lokasi terdekat di Bhinor, Leces, Probolinggo sampai dengan Menganti, Gresik dan Pare, Kediri dengan kapasitas pasokan sekitar 15.500 ton per bulan.

Dari survei tersebut juga dilakukan pengambilan *sample* untuk uji laboratorium, sehingga didapatkan perbandingan karakteristik *wood pellet* dan *sawdust* dengan batubara, yang mana ditemukan bahwa nilai kalor *wood pellet* adalah setara dengan nilai kalor batubara tipe *high volatile bituminous*. Beberapa perbedaan antara batubara dengan *wood pellet* adalah:

1. Kandungan nilai sulfur *wood pellet* lebih rendah dibandingkan dengan batubara, sehingga menghasilkan emisi pembakaran yang lebih rendah (ramah lingkungan).
2. Kandungan *volatile matter* batubara lebih tinggi dibandingkan dengan batubara, sehingga lebih mudah untuk terbakar. Hal ini harus mendapatkan perhatian saat melakukan *co-firing* terutama pada pengontrolan temperatur *pulverizer*.
3. Nilai HGI (*Hardgrove Grindability Index*) *wood pellet* lebih rendah dibandingkan dengan batubara, sehingga *wood pellet* tidak mudah untuk digerus. Hal ini harus mendapatkan perhatian karena rata-rata desain HGI pada *pulverizer* adalah  $\geq 45$ , sehingga pasti akan mengurangi kualitas penggerusan dari *pulverizer*.

#### 3.2.2 Survei *Sawdust* di PLTU Paiton 9

Survei biomassa *sawdust* di sekitar unit PLTU Paiton 9 untuk keperluan uji coba *co-firing* PLTU Paiton 9 dilakukan pada minggu ke-3 Juli 2020.

Khusus untuk area terdekat PLTU Paiton 9 (<50km) terdapat cukup banyak potensi biomassa, yakni hingga 740.8 ton/hari. Hasil studi Pusenlis – UGM adalah sebagaimana berikut:

#### 3.2.3 Survei Serbuk Kayu di PLTU Pacitan

Survei biomassa Serbuk Kayu di sekitar unit PLTU Pacitan untuk keperluan uji coba *co-firing* PLTU Pacitan dilakukan oleh personel dari UBJOM PLTU Pacitan sebelum dilakukan uji bakar aktual di unit pembangkit.

Khusus untuk area terdekat PLTU Pacitan (<50km) terdapat cukup banyak potensi biomassa, yakni hingga 821.2 ton/hari.

Dari survei yang dilakukan di sekitar PLTU Pacitan, ditemukan cukup banyak industri skala kecil penghasil limbah kayu, namun kemampuan pasoknya rata-rata masih sangat terbatas.

### 3.3 PENYIAPAN BIOMASSA

#### 3.3.1 Pengadaan

Strategi pengadaan itu peka terhadap jenis biomassa. Dalam mode deregulasi utilitas listrik saat ini, biomassa harus menawarkan beberapa manfaat ekonomi agar dapat berhasil di co-fire kan. Sebagai alternatif, biomassa dapat menjadi energi terbarukan yang dibutuhkan dan menciptakan dampak ekonomi. Dalam kedua kasus tersebut, ini umumnya akan dianggap sebagai biaya bahan bakar yang dikirim ke boiler dan dapat mencakup beberapa *offset* layanan pelanggan atau lingkungan. Penggantian kerugian lingkungan dapat mencakup pengurangan gas rumah kaca sebagai penggantian kerugian karbon dioksida fosil, atau pengurangan pembentukan oksida nitrogen dan oksida sulfur, atau pengurangan volume material yang ditimbun sebagai limbah. Penggantian kerugian layanan pelanggan bisa termasuk membantu pembuangan limbah yang memungkinkan retensi utilitas penjualan yang akan hilang jika limbah biomassa dibakar di unit kogenerasi industri. Pelanggan dapat menurunkan biaya pembuangan sehingga memungkinkan bisnis menjadi lebih kompetitif dengan tidak berjuang akan biaya tambahan.

Biomassa bisa ada dalam bentuk komoditas seperti bahan bakar boiler atau sebagai aliran limbah yang harus dibuang. Akibatnya, strategi pengadaan dapat mencakup pembelian bahan bakar biomassa dengan biaya lebih rendah, penerimaan subsidi untuk melakukan modifikasi modal pada bahan bakar “limbah” biomassa dengan menerima biaya tip di mana opsi

pembuangan limbah biomassa untuk area tertentu itu mahal. Penetapan harga bahan bakar dapat mencakup harga tetap yang dikirim ke pembangkit listrik atau bisa termasuk penyesuaian jarak pengangkutan biomassa.

Pengadaan *biofuel* di berbagai bidang perlu melibatkan kreativitas. di daerah yang kaya dengan perusahaan hasil hutan, serbuk gergaji atau serutan mungkin sudah tersedia. di daerah perkotaan, limbah kayu perkotaan dapat berupa palet yang rusak, tali rel kereta api, puing-puing konstruksi dan pembongkaran, penghias tepi jalan, dan berbagai macam bahan lainnya. di beberapa daerah pertanian, tongkol jagung telah digunakan sebagai bahan bakar. Proses pengadaan harus mempertimbangkan semua opsi dan sumber yang memungkinkan seperti pemasok mulsa, pendaur ulang, dan organisasi terkait serta mill penggergajian, mill perencanaan, produsen furnitur dan lemari, produsen lantai kayu, dan perusahaan produk kayu lainnya.

Opsi pengadaan termasuk berurusan dengan pemasok individu atau berurusan dengan pialang. Berurusan dengan pemasok individu dapat mengakibatkan lalu lintas truk yang berlebihan dari truk yang lebih kecil dan berpotensi membuat pemasok yang lebih kecil tidak memiliki kemampuan untuk mengirimkan biomassa. Pialang menawarkan kemampuan untuk mengkonsolidasikan pengiriman dan penjadwalan serta meminimalkan jumlah transaksi atau kontrak. Pialang mungkin memiliki posisi yang lebih baik untuk menawarkan bahan bakar yang berukuran atau disaring dan dalam beberapa kasus telah dicampur sebelumnya dengan batu bara.

Kontrak pengadaan dapat menimbulkan masalah jika pembeli bahan bakar utilitas tidak dididik untuk menyadari bahwa pengadaan biomassa dan khususnya aliran limbah biomassa tidak sama dengan pengadaan batu bara. Ini adalah komoditas baru untuk utilitas listrik dan pemasoknya kemungkinan besar bukan perusahaan besar seperti perusahaan batu bara. Pemasok rata-rata umumnya akan menjadi pemilik bisnis independen. Kontrak dan dokumentasi yang serupa dengan yang digunakan untuk pembelian batu bara kemungkinan besar akan membebani pemasok tersebut dan mengakibatkan keraguan atau penolakan untuk menyediakan biomassa.

#### 3.3.2 Pengiriman dan Transportasi

Pengiriman bahan bakar biomassa bisa dengan tongkang, kereta api, atau truk. Pengiriman tongkang atau rel mungkin memerlukan modifikasi atau peralatan bongkar muat tambahan untuk menangani biomassa sebelum pemrosesan hilir. Pengendalian debu bisa diperlukan jika biomassa kering (<20% kelembaban) dan / atau berukuran kecil (<¼ inci), dan bahan bakar harus ditebar untuk kemudian dicampur atau dicampur dengan batubara saat dibongkar.

Pengiriman dengan truk adalah pendekatan yang paling umum untuk menerima pengiriman biomassa. Pengiriman truk dapat berupa truk bongkar muat sendiri atau plant dapat memasang bongkar muat truk hidrolik. Opsi pembongkaran truk hidraulik merupakan biaya tambahan untuk pihak utilitas; namun, hal ini memungkinkan lebih banyak fleksibilitas dalam jumlah

sumber pengiriman karena truk bongkar muat juga mahal dan kemungkinan besar tidak dimiliki oleh banyak pemasok biomassa. Mengukur jumlah bahan bakar biomassa yang diterima membutuhkan timbangan truk. Jika ini disediakan oleh pihak utilitas, maka beberapa jenis sistem otomatis yang tidak memerlukan petugas akan diperlukan untuk memproses volume pengiriman yang diperlukan dengan cepat dan ekonomis. Pola lalu lintas dan dampak pada operasi plant lain harus dipertimbangkan saat merencanakan operasi penerima.



Gambar 33 *Hydraulic Dump Truck* yang Dapat Digunakan Untuk Transportasi Biomassa

Sebuah truk traktor-trailer biasa (100 yds<sup>3</sup>) menampung kira-kira 20–23 ton biomassa. dengan demikian, satu unit yang menembakkan 300 ton / jam batu bara dan ingin membakar biomassa dengan laju 5% (dengan masukan panas) akan membutuhkan sekitar 30 truk biomassa per hari yang dikirim ke lokasi. Sebagai perbandingan, sebuah gerbang yang menampung sekitar 100 ton batu bara hanya akan memuat sekitar 36 ton biomassa dalam volume yang sama. Sebuah tongkang, yang biasanya menampung sekitar 1500 ton batu bara, hanya akan mengandung 550 ton biomassa. dengan demikian, karena perbedaan kepadatan yang besar antara biomassa dan batubara, peningkatan pengiriman yang signifikan akan dibutuhkan untuk biomassa co-firing. Ini mungkin mengharuskan pernyataan dampak lingkungan diselesaikan di lokasi.

Pemrosesan bahan bakar di luar lokasi adalah alternatif lain, meskipun ini meningkatkan biaya pihak utilitas sebagai fungsi penanganan ganda dan upaya ekstra untuk inspeksi bahan bakar. Pilihan untuk pemrosesan bahan bakar di luar lokasi ditentukan oleh ketersediaan ruang di dalam dan di sekitar tempat bahan bakar. Jika ada area *lay-down* yang memadai untuk mendukung pemrosesan di lokasi, pemrosesan di luar lokasi mungkin tidak hemat biaya. Untuk lapangan batubara yang memiliki ketersediaan ruang minimum, pemrosesan di luar lokasi bisa diperlukan, dan premium mungkin harus dievaluasi.

Bahan bakar juga dapat diterima sebagai campuran batubara / biomassa yang diinginkan. Dalam kasus ini, pengambilan sampel batubara atau biomassa secara individu tidak dimungkinkan karena bahannya sudah dicampur. Campuran harus diperiksa sebagai produk total dan harus diambil sampelnya dan dianalisis untuk memverifikasi bahwa campuran tersebut tercampur dengan benar. Bahan bakar pra-campuran dapat meniadakan beberapa persyaratan untuk pemrosesan, penyimpanan, dan pencampuran lebih lanjut seperti yang dijelaskan untuk biomassa tidak tercampur. Namun, operasi pencampuran harus diperiksa dengan hati-hati dan sering di lokasi persiapan. Sangat sulit untuk mengkarakterisasi bahan bakar campuran secara akurat.



Gambar 34 Ilustrasi Pengangkutan Biomassa

Dalam membuat kontrak pembelian biomassa, diusahakan transaksi pembelian biomassa tersebut sampai dengan biomassa diletakkan di posisinya. Hal ini dapat mengurangi risiko yang mungkin terjadi pada saat proses pengangkutan dari lokasi pembelian biomassa. Pengangkutan biomassa diharapkan menggunakan *hydraulic dump truck* jika biomassa yang didatangkan dalam bentuk curah. Namun jika penyedia biomassa tidak memiliki *hydraulic dump truck*, truk biasa tetap dapat digunakan.

#### 3.3.3 Penyiapan

Pengolahan adalah salah satu area di mana prinsip KIS (*Keep it Simple*) diterapkan secara maksimal. Pengadaan mungkin meniadakan kebutuhan untuk beberapa pemrosesan. Adaptasi sistem pembakaran, atau pengurangan tingkat co-firing, dapat menghilangkan kebutuhan pengeringan bahan bakar. Namun, pemrosesan sangat penting untuk keberhasilan program; co-firing bahan yang belum diproses (terutama tidak tersaring) bisa menjadi formula untuk terjadinya bencana di masa depan.

Pilihan pengolahan terkait dengan jenis biomassa, kekeringan biomassa, dan ukuran biomassa yang disuplai. Jika biomassa disuplai dalam ukuran kecil, maka bahan tersebut harus diproses melalui mesin penghancur atau penggiling yang mampu memproses volume bahan bakar yang memadai untuk mencapai ukuran partikel akhir yang diperlukan. Bahan bakar harus disaring untuk melindungi plant dan peralatan dari benda asing dan material yang terlalu besar. Skrining juga dapat mencakup skrining kasar atau magnet sebelum memproses bahan yang tidak berukuran.

Bahan bakar harus dipindahkan ke dan dari peralatan pemrosesan dan jika kapasitas pemrosesan memadai, langsung dicampur dengan batu bara. Jika kapasitas pengolahan tidak mencukupi, maka bahan bakar harus dipindahkan ke *storage*, dan terakhir dicampur dengan batubara. Ini mungkin berupa sistem yang sepenuhnya otomatis atau sistem sederhana yang membutuhkan tenaga tambahan. Sistem otomatis cenderung mahal dan mungkin memerlukan perawatan intensif yang menyebabkan potensi masalah keandalan. Sebuah sistem sederhana dapat digunakan dengan menggunakan *front-end loader* dan konveyor untuk memindahkan biomassa ke dan dari peralatan pemrosesan, operasi pengeringan, penyimpanan, dan pencampuran.

Serbuk gergaji hijau memiliki nilai dalam menekan debu dan mengurangi oksida nitrogen. Meskipun bahan yang sangat kering seperti serbuk gergaji yang dikeringkan dengan furnace mungkin memerlukan pengendalian debu, bahan yang sangat hijau atau basah mungkin perlu dikeringkan. Jika pengeringan diperlukan, maka sarana untuk mengeringkan bahan secara ekonomis dan dalam volume yang cukup untuk memasok bahan bakar dalam jumlah yang dibutuhkan harus dirancang. Pertimbangan tambahan harus diberikan pada sudut kemiringan konveyor untuk mencegah material kering meluncur kembali ke bawah konveyor. Pengendalian debu menjadi masalah di titik transfer dengan bahan kering yang belum tercampur dengan batubara.

Keandalan pasokan bahan bakar, baik dalam volume pengiriman maupun kualitas bahan bakar yang dikirim, memengaruhi operasi pemrosesan. Volume pengiriman harus relatif konstan agar dapat diproses secara efisien dan kualitas harus dijaga agar tidak menghalangi kemampuan untuk menjaga peralatan tetap beroperasi. Misalnya, bahan bakar basah dapat menyumbat saringan dan sampah dapat memperlambat proses penyaringan atau bahkan menyebabkan kerusakan mekanis.

Masalah terkait lainnya yang harus dipertimbangkan adalah bagaimana menangani materi yang terlalu besar dan yang di-reject. Landfill menjadi dimungkinkan dengan biaya yang harus ditanggung oleh plant. Jika bahan berbahaya dimasukkan ke dalam biomassa, masalah pembuangan menjadi mahal. Salah satu opsinya adalah meminta pemasok mengambil material berukuran besar dan material yang di-reject. Ini lebih mudah dikelola ketika jumlah pemasok diminimalkan atau digunakan perantara. Pilihan lainnya adalah memproses lebih lanjut material berukuran besar dengan peningkatan biaya untuk daya, peralatan, pengoperasian, dan pemeliharaan.

Masalah khusus pembangkit listrik termasuk kemampuan lapangan batubara untuk menerima operasi pemrosesan ini, ruang yang tersedia di lapangan bahan bakar, kenyamanan penanganan, pola lalu lintas, persyaratan staf, dan pada akhirnya biaya bahan bakar di burner.



Gambar 35 Gambaran Proses Produksi Wood Pellet

#### 3.3.4 Pengeringan

Bahan bakar biomassa umumnya mengandung air dalam jumlah yang relatif besar dalam strukturnya. Kelembaban dalam bahan bakar padat umumnya dapat ada dalam dua bentuk: sebagai air bebas di dalam pori-pori bahan bakar dan sebagai air terikat yang ada di struktur permukaan interior bahan bakar. Kayu hijau mengandung sekitar 45% kelembapan sesuai permintaan, yang setengahnya terikat air. Sebagai perbandingan, batubara lignit mengandung kelembaban sekitar 40%, sedangkan batubara bituminous hanya memiliki kelembaban sekitar 10%, sebagian besar terikat pada air.

Jelasnya, kadar air yang tinggi dalam bahan bakar biomassa menghasilkan beberapa kesulitan teknis terkait dengan pemrosesan dan penanganan bahan bakar, serta masalah penggunaan seperti stabilitas nyala api dan penurunan suhu nyala api selama pembakaran. Oleh karena itu, secara optimal, kadar air biomassa harus dikurangi; ini dilakukan melalui pengeringan. Ada dua teknik utama untuk mengeringkan bahan bakar biomassa: pemanasan dan pengeringan alami. Dalam pendekatan pemanasan, energi yang dibutuhkan untuk setiap 20% pengurangan kadar air adalah sekitar 1% dari nilai kalor bahan bakar. Pengering pada dasarnya bersifat padat modal dan padat karya. Ada beberapa jenis pengering:

- Pengering jenis drum kontak langsung (misalnya, pengering *single-pass* atau *triple-pass*)
- Pengering bed terfluidisasi
- Pengering flash
- Pengering tidak langsung

Dalam sistem pembangkit listrik tipikal, pemasangan pengering membutuhkan pembakaran beberapa bahan bakar untuk menyalakan pengering. Energi dalam gas buang boiler yang keluar dari *economizer* dan memasuki pemanas udara sangat penting untuk pemanasan awal udara dan tidak tersedia untuk pengeringan bahan bakar. Lebih lanjut, logistik untuk memasang pengering biomassa untuk memanfaatkan gas buang sebagai media pengeringan bisa jadi sulit. Pengering, kemudian, terbilang mahal baik dari segi modal dan bahan bakar. Akibatnya, pendekatan pemanasan ini umumnya tidak ekonomis dan saat ini teknik pengeringan utama untuk biomassa yang belum diproses, jika digunakan, adalah pengeringan alami. Untuk pellet, pengeringan digunakan sebagai bagian dari proses pelletization.

Meskipun ada beberapa studi skala percontohan tentang pengeringan alami bahan bakar biomassa, tes skala besar yang diselesaikan relatif sedikit. Salah satu pengujian tersebut (Bauer, 1995) menggunakan dua percobaan skala besar untuk menilai pengeringan alami serpihan kayu dalam kondisi luar ruangan baik di musim panas dan musim dingin. Kadar air awal untuk uji coba musim panas adalah 44% dan, setelah sekitar 14 minggu, kelembapan berkurang menjadi sekitar 25%. Untuk mencapai hal ini, tumpukan biomassa yang dipadatkan dengan tinggi 5 m dan lebar 12 m disiapkan untuk menghasilkan perbedaan suhu kondisi-tunak sebesar  $30^{\circ}\text{C}$  antara udara ambien dan di dalam tiang. Metode pengeringan alami ini, tentu saja, bergantung pada kondisi cuaca lokal, ruang yang tersedia di lokasi plant, dan persentase co-firing biomassa. Jika memungkinkan, biomassa yang dibeli untuk co-firing harus memiliki kadar air yang diinginkan di plant atau desain harus dibuat untuk menggunakan biomassa pada tingkat kelembaban yang diberikan.

#### 3.3.5 Penyaringan (*Screening*)

---

Setelah biomassa dikirim ke lokasi, tugas manajemen pertama adalah memastikan ukurannya yang tepat untuk digunakan di boiler sesuai dengan kontraknya. Jika biomassa dipasok dalam ukuran kecil, maka bahan tersebut harus diproses melalui mesin penghancur atau penggiling yang mampu memproses volume bahan bakar yang memadai untuk mencapai ukuran partikel akhir yang diperlukan. Bahan bakar harus disaring untuk melindungi plant dan peralatan dari benda asing dan material yang terlalu besar. Penyaringan juga dapat mencakup skrining kasar atau magnet sebelum memproses bahan berukuran kecil.

Tiga jenis saringan umumnya digunakan dalam co-firing: Saringan Trommel, Disc, dan Shaker. Saringan shaker umumnya memerlukan perawatan yang lebih sering karena tekanan yang ditimbulkan oleh getaran mekanis yang menyebabkannya beroperasi. Saringan shaker juga membutuhkan lebih banyak peralatan tambahan untuk menopangnya. Sebagai aturan umum, saringan Shaker menghasilkan produk yang sangat bersih. Namun, sebagian besar material yang berakhir di tiang penyortiran memenuhi persyaratan ukuran material yang diterima. Akibatnya, tumpukan sampah harus disaring ulang setidaknya sekali, jika tidak dua kali, untuk menangkap sebagian besar

bahan yang dapat diterima. Hal ini membutuhkan peralatan pengangkut tambahan untuk memindahkan timbunan sampah kembali ke area di mana bahan bakar menunggu untuk disaring.

Saringan Trommel yang lebih mahal menawarkan keuntungan dari kecepatan pemrosesan yang jauh lebih tinggi daripada saringan Shaker, seringkali dengan urutan 500%. Biasanya saringan Trommel dilengkapi dengan ukuran saringan (biasanya  $\frac{1}{4}$  hingga  $\frac{1}{2}$  inci) agar sesuai dengan kehalusan produk biomassa yang diinginkan. Saringan Trommel juga menawarkan pemisahan dan penanganan yang lebih mudah terhadap bahan tolak. Kedua jenis saringan harus mampu memproses volume bahan bakar yang dibutuhkan berdasarkan laju pembakaran dan waktu yang dialokasikan untuk pemrosesan biomassa. Peralatan yang digunakan untuk memasok dan menghilangkan biomassa dari peralatan skrining harus berukuran cukup untuk memaksimalkan kapasitas peralatan skrining.

#### 3.3.6 Penerimaan Bahan Bakar

Pengiriman bahan bakar biomassa bisa dengan tongkang, kereta api atau truk. Pengiriman tongkang atau rel bisa memerlukan modifikasi atau peralatan bongkar muat tambahan untuk menangani biomassa sebelum dicampur dengan batubara. Pengendalian debu kemungkinan besar akan diperlukan dan bahan bakar harus ditebar untuk kemudian dicampur atau dicampur dengan batu bara, saat dibongkar.

Pengiriman truk adalah pendekatan yang paling umum. Pengiriman truk dapat berupa truk bongkar muat sendiri atau plant dapat memasang bongkar muat truk hidrolik. Opsi pembongkaran truk hidraulik merupakan biaya tambahan untuk pihak utilitas; namun, hal ini memungkinkan lebih banyak fleksibilitas dalam jumlah sumber pengiriman karena truk bongkar muat juga mahal dan kemungkinan besar tidak dimiliki oleh pemasok biomassa. Pengukuran kuantitas bahan bakar biomassa yang diterima membutuhkan timbangan truk. Jika ini disediakan oleh pihak utilitas, maka beberapa jenis sistem otomatis yang tidak memerlukan petugas akan diminta untuk memproses volume pengiriman yang diperlukan dengan cepat dan ekonomis. Pola lalu lintas dan dampak pada operasi plant lain harus dipertimbangkan ketika merencanakan operasi penerima.

Metode inspeksi mencakup pengambilan sampel untuk kelembaban, nilai panas, dan bahan asing. Ini harus dipertimbangkan untuk mencegah vendor memasok biomassa yang membosuk, atau menambahkan air, pasir, dan sampah ke bahan bakar. Frekuensi dapat bervariasi dari sampel acak hingga beberapa sampel dari setiap beban biomassa.

Pemrosesan bahan bakar di luar lokasi juga merupakan alternatif untuk dipertimbangkan, meskipun hal itu meningkatkan biaya pihak utilitas sebagai fungsi penanganan ganda dan upaya ekstra untuk inspeksi bahan bakar. Kebijaksanaan pemrosesan bahan bakar di luar lokasi ditentukan oleh ketersediaan ruang di dalam dan sekitar tempat bahan bakar. Jika ada real estate yang memadai untuk mendukung pemrosesan di lokasi, pemrosesan

di luar lokasi mungkin tidak hemat biaya. Untuk lapangan batubara yang memiliki ketersediaan ruang minimum, pemrosesan di luar lokasi bisa diperlukan, dan premiumnya mungkin harus dievaluasi.

Bahan bakar juga dapat diterima sebagai campuran batubara / biomassa. Dalam hal ini pengambilan sampel batu bara atau biomassa individu tidak dimungkinkan karena bahannya dicampur. Campuran harus diperiksa sebagai produk total dan harus diperiksa untuk memverifikasi bahwa campuran tersebut tercampur dengan benar. Bahan bakar pra-campuran dapat meniadakan beberapa persyaratan untuk pemrosesan, penyimpanan, dan pencampuran lebih lanjut seperti yang dijelaskan untuk biomassa tidak tercampur. Namun, operasi pencampuran harus diperiksa dengan hati-hati dan sering di lokasi persiapan. Sangat sulit, bahkan tidak mungkin, untuk mengkarakterisasi bahan bakar campuran secara akurat.

#### 3.4 IMPLEMENTASI PENYIAPAN

##### 3.4.1 Persiapan *Wood pellet* dan *Sawdust* di PLTU Paiton

Uji coba co-firing PLTU Paiton dilakukan pada Unit 2 untuk komposisi 1% sedangkan sisanya pengujian dilakukan pada unit 1 (3%-5% Co-firing) dengan menggunakan biomassa *wood pellet* dan *sawdust*, dengan persentase campuran biomassa hingga sebesar 5% dari total mix *fuel flow* +240 ton/jam (beban 400 MW), dengan durasi total pengujian 6 s.d 8 jam, sehingga total kebutuhan biomassa untuk uji coba *co-firing* 5% PLTU Paiton adalah sebesar 12,5 ton/jam. Jumlah kebutuhan batubara dan biomassa untuk pengujian *co-firing* hingga 5% dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6 Kebutuhan Biomassa untuk Pengujian Co-firing

Skenario Co-firing (%Biomassa)	Keterangan	Biomassa (ton)	Batubara (ton)	Total (ton)
1%- <i>Wood pellet</i>	Mill 2C	15	1.485	1.500
3%- <i>Wood pellet</i>	Mill 1E	40	1.460	1.500
5%- <i>Wood pellet</i>	Mill 1E	55	1.070	1.125
5%- <i>Sawdust</i>	Mill 1A-1E	75	1.425	1.500
Jumlah		185	5.440	5.625

*Wood pellet* dan *sawdust* dikirim dari *supplier* dengan metode *truck* ke PLTU Paiton 1-2 seperti terlihat pada Gambar 36. *Unloading* biomassa dilakukan di *coal yard* dengan perlakuan sementara disiapkan alas dan tutup terpal agar biomassa tidak terpapar air hujan.



Gambar 36. Proses Penerimaan, Penimbangan dan Unloading Biomassa *Sawdust* di Unit PLTU Paiton 1-2



Gambar 37 Proses Unloading Saw Dust

Untuk keperluan pengujian co-firing 5% saw dust dengan menggunakan sebanyak 75 ton saw dust, diangkut dengan menggunakan truk dengan kapasitas per truk rata-rata sebesar 6 ton (12 truk)

### 3.4.2 Persiapan Biomassa *Sawdust* di PLTU Paiton 9

Uji coba co-firing PLTU Paiton 9 dilakukan dengan menggunakan biomassa *sawdust*, di mana persentase campuran *sawdust* sebesar 5% dari total *coal flow* ±380 ton/jam (beban 635 MW). Pengujian dilakukan dalam durasi 6 jam, dengan total pengambilan data sebanyak 4 jam. Sehingga total kebutuhan *sawdust* untuk uji coba *co-firing* 5% PLTU Paiton 9 adalah sebesar 114 ton.

Jumlah kebutuhan batubara dan *sawdust* untuk pengujian *co-firing* 5% dapat dilihat pada Tabel 7.

### Bab III Penanganan Bahan Bakar Biomassa

Tabel 7 Kebutuhan Serbuk Kayu untuk Pengujian Co-firing

No	Skenario Co-firing (% Biomassa)	Durasi (Jam)	Biomassa (ton)	Batubara (ton)	Total (ton)
1	0% Bio 100% Batubara (Coal Flow = 380 t/jam)	6	0.0	2280.0	2280
2	5% Bio 95% Batubara	6	114.0	2166.0	2280
	Jumlah		114	4446	

#### 3.4.3 Persiapan Serbuk Kayu PLTU Pacitan

Uji coba co-firing PLTU Pacitan dilakukan pada Unit 2 dengan komposisi biomassa 5% dari total mix fuel flow +180 ton/jam (beban 295 MW Gross), dengan durasi total pengujian 8 s.d 10 jam, sehingga total kebutuhan biomassa untuk uji coba co-firing 5% PLTU Pacitan adalah sebesar 9 ton/jam. Jumlah kebutuhan batubara dan biomassa untuk pengujian co-firing hingga 5% dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8 Kebutuhan Serbuk Kayu untuk Pengujian Co-firing

No	Skenario Co-firing (% Biomassa)	Durasi (Jam)	Biomassa (ton)	Batubara (ton)	Total (ton)
1	0% Bio 100% Batubara (Coal Flow = 180 t/jam)	10	0,0	1800,0	1800
2	5% Bio 95% Batubara	10	90,0	1710,0	1800
	Jumlah		90	3510	

### 3.5 HANDLING BIOMASSA

#### 3.5.1 Penyimpanan Biomassa

Masalah penyimpanan terkait dengan keputusan untuk menyimpan biomassa di bawah penutup atau tidak. Masalah yang terkait dengan penyimpanan termasuk lokasi fasilitas, mengelola debu, mengelola pengambilan kelembaban, timbunan beku, dan mengelola limpasan. Salah satu kekhawatiran adalah masalah pembakaran spontan, namun hal itu terbukti dapat dikendalikan. *Biofuel* adalah bahan reaktif, dan telah mengalami pemanasan sendiri dan penyulutan otomatis dalam beberapa kasus. Kejadian pembakaran spontan yang paling umum terjadi akibat penyimpanan jerami basah. Studi keamanan yang ekstensif, bagaimanapun, telah menunjukkan bahwa *biofuel* kurang reaktif dibandingkan batubara PRB.

Penyimpanan biomassa juga dapat dilakukan dengan mencampurkan material dengan batu bara dan kemudian menyimpan campuran tersebut di lokasi. Batubara mencegah *biofuel* menimbulkan bahaya debu. Selanjutnya, penyimpanan ini menjaga biomassa tetap berada di dalam lapangan

batubara untuk pengelolaan limpasan tumpukan bahan bakar. Pengambilan kelembaban tidak lebih bermasalah dari pada pengambilan kelembaban untuk batubara. Alternatif ini dapat dipertimbangkan ketika campuran bahan bakar disimpan. Ini tidak bekerja dengan *feeding* yang terpisah.

Metode pemindahan biomassa ke dan dari penyimpanan tanpa mengorbankan kemampuan untuk memelihara peralatan harus disediakan. Pengendalian debu mungkin hanya melibatkan kemampuan untuk mencegah angin meniup bahan atau mungkin termasuk meminimalkan debu dari penanganan bahan kering.

Pengambilan kelembaban biasanya dari hujan atau, pada tingkat yang lebih rendah, salju. Ini semua dapat menambah kelembapan pada bahan bakar, mengakibatkan masalah penanganan dan pembakaran. Saat kelembapan melewati material, pencucian material terjadi dan menjadi masalah limpasan. Dalam kasus limbah kayu, asam tanat dapat terlepas dari bahan bakar dan jika limpasannya tidak dikendalikan, dapat menyebabkan ikan mati di air pendingin plant. Beberapa jenis penutup di atas dan biasanya di sekitar biomassa akan mencegah pengambilan kelembaban. Untuk penyimpanan luar ruangan sementara, menempatkan biomassa di tumpukan dengan lereng curam akan membantu. Kelembaban dalam bahan yang disuplai dapat menimbulkan masalah penanganan jika suhu interior fasilitas penyimpanan dibiarkan tetap di bawah titik beku untuk waktu yang lama.

Untuk biomassa *wood pellet* terdapat risiko kontaminasi kelembaban/*moisture ambient* karena terpapar secara langsung oleh air hujan, storage yang kurang memadai sehingga kandungan *moisture* dalam bahan bakar meningkat, nilai kalor turun, efisiensi pembakaran turun. Untuk mengantisipasi ini, maka diperlukan modifikasi di area biomass storage, biomass *handling* dan biomass *mixing*

#### 3.5.2 Peralatan Penyimpanan Biomassa

Kualitas biomassa yang akan digunakan sebagai campuran bahan bakar batubara sangat penting untuk dijaga. Hal ini karena sifat karakteristik dari biomassa dapat menurunkan kualitasnya jika tidak dilakukan penyimpanan dengan baik, terutama nilai kalornya. Oleh karena itu penyimpanan biomassa yang akan digunakan tersebut perlu diperhatikan. Dalam penyimpanan biomassa, dibutuhkan beberapa peralatan yang dapat menunjang hal tersebut. Peralatan yang digunakan untuk pengelolaan penyimpanan biomassa HTE dan biomassa sampah, menggunakan peralatan yang sama.

Sesuai dengan arahan Direksi PT PLN (Persero) bahwa program co-firing PLTU batubara tidak boleh menambah capex, maka peralatan yang digunakan untuk pengelolaan penyimpanan biomassa, diusahakan menggunakan peralatan yang telah tersedia di Pembangkit tersebut. Peralatan yang dibutuhkan untuk penyimpanan biomassa antara lain sebagai berikut:

## Terpal

Terpal digunakan sebagai alas bagian bawah dan cover penutup biomassa yang akan disimpan. Terpal yang digunakan harus dapat meminimalisir biomassa dari pengaruh kondisi sekitar. Ketebalan terpal ditunjukkan dengan berat terpal per meter persegi. Beberapa jenis terpal yang dapat dipakai antara lain:

### **Terpal plastik**

Terpal jenis ini adalah terpal yang banyak digunakan secara umum. Terpal ini mempunyai berat berkisar antara 120 – 280 gsm (gram/m<sup>2</sup> ). Ketebalan untuk terpal ini di pasaran dilambangkan dengan kode A.

Tabel 9 Ketebalan Terpal Plastik

Kode	A 3	A 5	A 8	A 12	A 15
Berat (gsm)	120	160	200	240	280

Material terpal plastik di pasaran terbuat dari material HDPE (*High Density Polyethylene*) dan PE (*Polyethylene*).

Tabel 10 Karakteristik Material Terpal Plastik

No	Karakteristik	HDPE	PE
1.	Asal Material	Daur ulang	Material baru
2.	Kekakuan	Lebih kaku	Lebih lentur
3.	Aroma	menyengat	Relative tidak berbau
4.	Elastisitas	Kurang elastis	Lebih elastis
5.	Kecerahan warna	Lebih gelap	Lebih terang
6.	Harga	Relative murah	Lebih mahal



Gambar 38 Terpal PE



Gambar 39 Terpal HDPE

#### **Terpal Semi Karet**

Terpal jenis ini mempunyai ketebalan yang lebih baik dari pada terpal plastic. Terpal jenis ini mempunyai berat berkisar antara 300 – 660 gsm. Terpal semi karet lebih dikenal dengan sebutan terpal PVC. Jenis terpal ini lebih kuat, lebih tahan air, dan lebih fleksibel dari terpal plastik. Hal ini tentu saja membuat terpal semi karet lebih mahal dari pada terpal plastik.



Gambar 40 Terpal PVC

Terpal yang digunakan untuk penyimpanan biomassa, disarankan menggunakan terpal kode A8 karena mempunyai ketebalan yang cukup memadai. Meskipun demikian, ukuran ketebalan lain masih diizinkan selama dirasa cukup tebal. Terpal tersebut digunakan sebagai alas bagian bawah dan sebagai penutup atau cover bagian atas.

Untuk alas biomassa disarankan menggunakan terpal plastik berbahan HDPE mengingat sifat kekakuananya yang lebih baik dan untuk ketebalan yang sama akan lebih murah dari terpal PE. Sedangkan untuk cover penutup disarankan menggunakan terpal PE karena lebih lentur sehingga memudahkan untuk dibuka tutup.

#### Wheel Loader

Dalam pengelolaan penyimpanan biomassa, dibutuhkan alat atau kendaraan pengaduk. Salah satu yang dapat digunakan adalah *Wheel Loader*. *Wheel Loader* berfungsi untuk melakukan pengadukan biomassa agar tidak menjadi lembab. *Wheel Loader* yang digunakan adalah *wheel loader* yang sudah tersedia di pembangkit tersebut yang biasa digunakan untuk mengaduk batubara, sehingga tidak perlu menambah investasi baru.



Gambar 41 Ilustrasi *Wheel Loader*

#### Biomass Storage: Drax Power

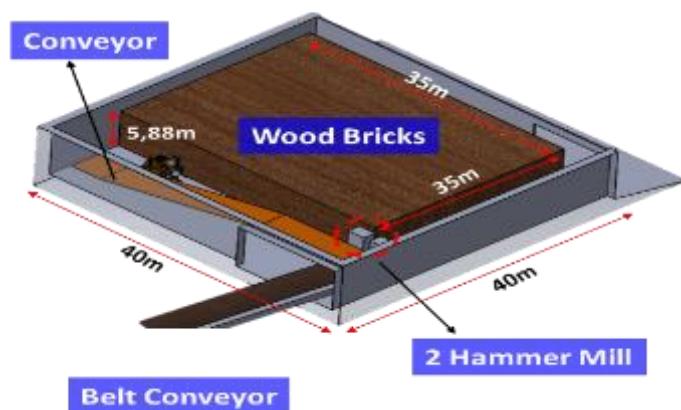
Penyimpanan yang memadai untuk biomassa diperlukan untuk mengakomodasi musim produksi dan memastikan pasokan rutin ke Pembangkit/Pemanfaat.

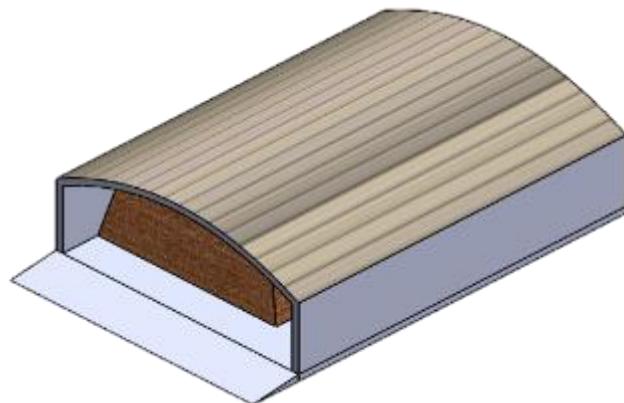
Jenis penyimpanan akan tergantung pada sifat-sifat biomassa, terutama kadar air. Untuk biomassa yang akan digunakan dalam Co-firing Biomassa diharapkan terlindungi dari air hujan dan kelembaban tinggi, dikarenakan *moisture content* akan mengurangi nilai kalor biomassa.

Sistem penyimpanan yang biasanya digunakan dengan residu pertanian kering harus dilindungi dari pembakaran spontan dan dekomposisi berlebih, serta menjaga agar tetap kering.



Gambar 42 Biomass Storage: Drax Power





Gambar 43 Alternatif Biomass Storage

Tabel 11 Spesifikasi Penyimpanan Biomassa

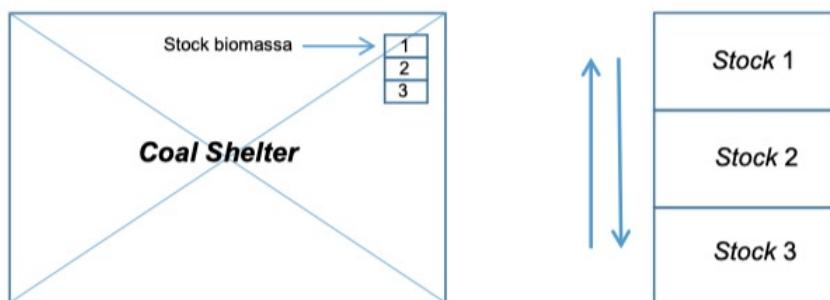
<i>Number Stockpile</i>	1	Unit
<i>Flow Material</i>	37.5	Ton / hour
<i>Volume</i>	3800	$m^3$
<i>Density</i>	750	Kg/ $m^3$
<i>Capacity</i>	2850	Ton
<i>Stock</i>	5	Days

### 3.5.3 Penempatan Biomassa

Penempatan biomassa pada PLTU diusahakan pada ruangan yang beratap untuk menghindari terkena air hujan secara langsung yang dapat meningkatkan kadar air di dalam biomassa. Apabila PLTU memiliki *coal shelter*, maka biomassa dapat ditempatkan di dalam *coal shelter*.

Di beberapa PLTU, ukuran *coal shelter* tidak cukup memadai, bahkan untuk PLTU yang berkapasitas kecil, tidak memiliki *coal shelter* dan hanya terdapat *coal yard* sebagai tempat penimbunan batubara. Untuk PLTU yang tidak memiliki *coal shelter*, biomassa dapat ditempatkan di *coal yard*. Salah satu pertimbangan peletakan biomassa di *coal shelter* atau *coal yard* adalah karena pada *coal yard* atau *coal shelter* sudah terdapat saluran atau pit untuk limbah sehingga tidak perlu membuat saluran tersendiri.

Penyimpanan biomassa tidak boleh melebihi stok untuk 3 hari. Hal ini bertujuan untuk menjaga kualitas biomassa, dengan tidak menyimpan biomassa terlalu lama di *coal shelter*, namun kontinuitas stock biomassa tetap terjaga. Pertimbangan lain adalah proses mendatangkan biomassa yang tidak terlalu rumit (tidak serumit batubara). Oleh karena itu, penyimpanan stock biomassa harus dikelompokkan menjadi tiga bagian secara berurutan berdasarkan waktu kedatangannya. Berikut ilustrasi penempatan biomassa pada *coal yard*.



Gambar 44 Posisi Penyimpanan Biomassa di *Coal Shelter*

Penyimpanan biomassa dibagi menjadi tiga bagian. Setiap biomassa yang datang terlebih dahulu akan digunakan terlebih dahulu, secara bergiliran. Untuk luasan tempat penyimpanan biomassa, disesuaikan dengan jumlah biomassa yang akan disimpan, tentunya dengan mempertimbangkan ketersediaan luasan *coal yard* yang dapat digunakan.

Berikut ilustrasi penyimpanan dan penggunaan biomassa:

Sebagai ilustrasi, kita asumsikan biomassa yang datang dalam 1 hari akan digunakan habis untuk co-firing dalam 1 hari. Terlebih dahulu kita penuhi stock untuk 3 hari dengan memenuhi kotak stock 1 sampai dengan stock 3. Contoh ilustrasi sebagai berikut:

- a. Senin pagi stock 1 diambil untuk co-firing, kemudian siangnya didatangkan stock baru untuk diletakan di stock 1.
- b. Selasa pagi stock 2 diambil untuk co-firing, kemudian siangnya didatangkan stock baru untuk diletakan di stock 2.
- c. Rabu pagi stock 3 diambil untuk co-firing, kemudian siangnya didatangkan stock baru untuk diletakan di stock 3.
- d. Kamis pagi kembali stock 1 diambil untuk co-firing, kemudian siangnya didatangkan stock baru untuk diletakan di stock 1.

#### 3.5.4 Pengelolaan Pemeliharaan Biomassa

Biomass *Handling & Conveying* yang hemat biaya sangat bergantung pada penanganan yang efisien dari sumber biomassa yang tersedia, serta efisiensi setiap proses.

Sistem konveyor biomassa yang dirancang dengan baik harus memperhitungkan variabilitas material dan memberikan aliran yang konsisten dan andal untuk pembangkit listrik. Bergantung pada jenis boiler dan sistem konversi, biomassa / campuran batubara dan biomassa umumnya ditransport ke pembangkit listrik melalui *belt conveyor*, kemudian diproses terlebih dahulu dalam chipper / penggiling untuk menghasilkan *fineness* yang sesuai pada PC Boiler. Sedangkan pada CFB boiler dan Stoker Boiler tidak diperlukan mesin *grinding* / mill bahan bakar sebelum masuk ke boiler furnace

Dalam banyak kasus, ruang yang tersedia untuk penanganan biomassa terbatas.





Gambar 45 Biomass Storage: Drax Power

Karakteristik biomassa berbeda dengan karakteristik batubara yang cenderung dapat mempertahankan nilai kalornya pada kondisi cuaca tertentu. Oleh karena itu, pemeliharaan biomassa perlu dilakukan dengan baik agar kualitasnya dapat tetap terjaga. Hal-hal yang perlu dilakukan dalam pengelolaan pemeliharaan kualitas biomassa antara lain sebagai berikut:

#### Menutup biomassa dengan terpal

Seperti telah diuraikan pada Bab 3.3, peralatan yang dibutuhkan untuk penyimpanan biomassa adalah terpal. Penggunaan terpal pada penyimpanan biomassa adalah sebagai alas bawah dan sebagai penutup atau cover bagian atas. Hal ini bertujuan meminimalisir pengaruh kondisi lingkungan sekitar terhadap kualitas biomassa itu sendiri dan kemungkinan tercampurnya dengan batubara yang berada di sekitarnya. Terlebih untuk PLTU yang tidak mempunyai *coal shelter* dan hanya terdapat *coal yard*, terpal tersebut bertujuan utamanya melindungi biomassa dari air hujan secara langsung.



Gambar 46 Ilustrasi Penutupan Biomassa dengan Terpal

#### Melakukan pengadukan secara rutin

Untuk meminimalisir meningkatnya kelembaban dan menjaga kualitas biomassa agar tetap homogen, sebaiknya dilakukan pengadukan biomassa dengan menggunakan mesin atau kendaraan pengaduk seperti *wheel loader*. Apabila diasumsikan pemakaian stock biomassa seperti ilustrasi contoh yang disampaikan sebelumnya, maka stock biomassa yang dilakukan pengadukan adalah stock pertengahan atau stock yang akan digunakan pada kesokan harinya. Ilustrasinya sebagai berikut:

Senin	Selasa	Rabu
Stock 1  Stock 2  Stock 3	Pagi digunakan siang didatangkan  Pengadukan	Stock 1  Stock 2  Stock 3
	Pagi digunakan siang didatangkan  Pengadukan	Pengadukan
		Stock 1  Stock 2  Stock 3

Gambar 47 Ilustrasi Pemanfaatan Stok Biomassa

Pengaturan tersebut dilakukan karena biomassa yang sudah dua hari disimpan, kemungkinan akan mengalami peningkatan kandungan air atau kelembaban. Diharapkan dengan dilakukan pengadukan dan penjemuran, maka kualitas biomassa dapat terjaga.



Gambar 48 Ilustrasi Pengadukan dengan *Wheel Loader*

#### Melakukan Pengecekan Visual

Meskipun sudah diterbitkan COA untuk biomassa yang akan digunakan tersebut, tidak ada salahnya demi memastikan kualitas biomassa, disarankan untuk melakukan pengecekan visual biomassa baik biomassa yang baru saja datang atau sebelum diturunkan dari truk pengangkut, dan biomassa yang akan digunakan. Pengecekan visual yang dilakukan antara lain pengecekan terhadap kemungkinan tercampurnya kotoran atau material lain. Apabila terdapat banyak material-material pengotor lain yang tidak sesuai dalam kontrak pembelian biomassa, maka dapat langsung di reject. Namun apabila masih memungkinkan untuk dapat dilakukan perbaikan di lokasi *coal shelter*, dapat segera dilakukan dan konsekuensi finansial dapat dipertimbangkan untuk diterapkan kepada vendor penyedia biomassa tersebut.

#### 3.5.5 Penghancuran Biomassa

Penghancur batu bara di pembangkit listrik dapat diklasifikasikan menjadi tiga kelompok: mill kecepatan lambat (misalnya, mill bola-tabung) pada 4–10 putaran / menit, mill kecepatan sedang (misalnya, mill spindel vertikal), dan kecepatan tinggi mill (misalnya, mill palu atau pemukul). Dampak partikel biomassa pada pengoperasian sistem *pulverizer* merupakan masalah yang sangat penting dan membatasi dalam co-firing batubara dan campuran biomassa dalam boiler *pulverized coal*. Mill penggilingan adalah jenis mill yang paling umum digunakan di pembangkit listrik tenaga batu bara. Mill penggilingan seperti penggilingan vertikal dan mill palu lebih cocok untuk memproses biomassa. Mill jatuh seperti mill bola dan batang, di sisi lain, sangat merepotkan saat bekerja dengan biomassa karena mereka mengandalkan dampak gravitasi daripada aksi geser. Meskipun sangat cocok untuk biomassa, mill pisau tidak umum digunakan dalam operasi *pulverized coal* tetapi digunakan oleh proses yang bekerja hanya dengan biomassa seperti industri furnitur, pulp dan kertas, dan bangunan.

Desain dan pengoperasian *pulverizer* sedemikian rupa sehingga batubara yang keluar dari *pulverizer* atau mill adalah 70% (berat) lebih kecil daripada pada saringan 200 mesh (74  $\mu\text{m}$ ). Ini untuk memastikan bahwa sebagian besar materi yang mudah terbakar dalam bahan bakar dapat dibakar secara efektif di dalam boiler, menghasilkan abu dengan karbon tidak terbakar yang rendah. Ukuran partikel yang lebih besar dapat berdampak buruk pada kualitas proses pembakaran, mengakibatkan peningkatan pengendapan dan korosi serta suhu yang lebih tinggi di lintasan belakang boiler.

Biomassa menghasilkan bahan berserat yang tidak rapuh selama penghancuran. Umumnya tidak layak (dan tidak perlu) untuk mengurangi biomassa ke ukuran atau bentuk yang sama seperti batubara. di banyak plant percontohan, firing biomassa terjadi dengan partikel yang melewati jaring berukuran "(6,4 mm), yang hasil pengukuran menunjukkan distribusi ukuran yang didominasi kurang dari 3 mm. Tergantung pada jenis biomassa dan teknik persiapan, rasio aspek rata-rata dari partikel ini berkisar dari 3 hingga 7, dengan banyak partikel yang umumnya memiliki rasio aspek yang jauh lebih tinggi. Partikel tersebut memiliki kepadatan pengemasan yang sangat rendah dan menciptakan tantangan saat mengangkut bahan bakar biomassa secara pneumatik.

Pencampuran biomassa dengan batubara juga mempengaruhi aliran melalui mill dan pengklasifikasi. Kepadatan energi volumetrik bahan bakar biomassa yang umumnya lebih rendah berarti bahwa aliran volumetrik melalui mill meningkat untuk beban yang sama. Jika sebuah stasiun dibatasi oleh kapasitas mill, ini bisa menjadi masalah serius. Sifat aerodinamis yang sama sekali berbeda dari biomassa juga mempengaruhi kinerja pengklasifikasi. Karena bentuknya yang tidak bulat, sebagian besar partikel biomassa akan memiliki koefisien hambatan yang lebih tinggi dan kepadatan yang lebih rendah daripada batu bara dan, akibatnya, kualitas produk mill (yang diukur dengan distribusi ukuran partikel di outlet pengklasifikasi) cenderung menurun, dengan lebih besar partikel menjadi biomassa.

Co-firing batubara dan biomassa dalam sistem penggilingan yang ada telah menimbulkan masalah ketika persentase biomassa terlalu tinggi. Mayoritas masalah ini dapat dikaitkan dengan perbedaan fisik antara partikel batubara dan biomassa. Partikel biomassa biasanya sangat berserat, memiliki massa jenis yang rendah, dan kadar air yang tinggi. Ketika sifat-sifat ini dicampur dengan partikel batubara, penggilingan atau penghancuran campuran yang dihasilkan menjadi sangat sulit, terutama karena sistem penggilingan biasanya dirancang untuk batu bara, yang sifatnya relatif rapuh.

Salah satu cara untuk menggunakan biomassa di plant *pulverized coal* yang menggunakan ball mill adalah dengan menggunakan partikel biomassa yang sudah dihancurkan dan disaring seperti serbuk gergaji. Praktik ini membutuhkan penahanan penyimpanan karena kerentanan serbuk gergaji terhadap angin dan pembakaran spontan.

Dari evaluasi co-firing batubara dan biomassa, dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Bahan bakar biomassa memiliki nilai *Hargrove Grindability Index* (HGI) yang jauh lebih rendah daripada batubara karena sifat berserat dan kadar airnya.
- Penggilingan campuran biomassa / batubara membutuhkan lebih banyak tenaga mill.
- Dalam hal kesesuaian, sistem milling dapat digolongkan sebagai pemotongan umum dan sistem hammer mill; mill mangkuk (karena aksi geser) dan mill perlombaan bola; dan mill bola.
- Pelepasan dan ledakan yang mudah menguap adalah kemungkinan terjadi pada suhu pengoperasian unit *pulverizer* biasa.



Gambar 49 Biomass Chipper Engine

#### 3.5.6 Pencampuran Biomassa

Opsi pencampuran mencakup pencampuran awal batu bara dan biomassa sebagai lawan dari merancang sistem untuk mencampurkan bahan bakar saat diangkut dari tempat penyimpanan batu bara ke bunker. Pencampuran terjadi ketika co-firing dipraktikkan dalam boiler siklon, atau ketika co-firing persentase rendah dilakukan dengan boiler PC. Pencampuran tidak terjadi ketika ada pengumpulan *biofuel* yang terpisah ke dalam boiler PC untuk persentase co-firing sedang.

Salah satu skenario pencampuran adalah dengan mengukur biomassa ke sabuk batu bara, memungkinkan penghancur batu bara memberikan pencampuran yang seragam dengan tindakan pencampurnya dan kemudian mengangkut campuran tersebut ke bunker. Ini telah berhasil dilakukan untuk limbah kayu atau bahan bakar nabati lainnya dengan memuat biomassa ke konveyor metering. Konveyor metering memasukkan

*biofuel* ke dalam hopper reklamasi plant di mana ia mengalir ke sabuk yang berisi batubara dari pembongkar batubara. dari titik ini ia diumpulkan melalui penghancur batubara ke dalam bunker. Laju pengukuran biomassa disesuaikan agar sesuai dengan laju umpan batubara untuk menghasilkan rasio campuran yang diinginkan.

Pilihan yang lebih canggih melibatkan penyediaan penggerak kecepatan variabel pada pengumpan reklamasi batubara dan sel beban (timbangan sabuk) pada sabuk dari hopper reklamasi ke sabuk batubara. Biomassa dimuat langsung ke dalam hopper reklamasi. Penggerak kecepatan variabel disesuaikan untuk mencapai rasio campuran yang diinginkan dan memberikan laju umpan biomassa yang diperlukan agar sesuai dengan laju umpan batubara. dari titik ini ia diumpulkan melalui penghancur batubara ke dalam bunker.

Bahan bakar yang dikirim dengan tongkang atau rel menawarkan dua peluang pencampuran. Biomassa dapat dibongkar dan dipindahkan ke tempat bahan bakar untuk diproses, disimpan, dan kemudian dicampur dengan menambahkannya ke sabuk batu bara. Untuk biomassa berukuran di mana dua fasilitas pembongkaran tersedia, skrining dapat dilakukan di bongkar muat biomassa dan rasio campuran yang diperlukan dapat dicapai dengan menggunakan dua pengumpan tingkat variabel.

Karena tidak ada dua plant yang sama, operasi dan filosofi plant harus dipertimbangkan saat merancang program penanganan biomassa. Tata letak plant dan pertimbangan ruang terkait juga harus dipertimbangkan.



Gambar 50 Proses Mixing Saw Dust & BB

Proses pencampuran saw dust dengan batubara dilakukan langsung di *coal yard* dengan menggunakan excavator. Campuran antara saw dust dan batubara yang telah siap dilakukan loading ke 5 silo pada unit 1.



Gambar 51 Hasil *Mixing Saw Dust & BB*

#### Peralatan Pencampuran Biomassa HTE

Batubara dan Biomassa dicampur pada lokasi *coal storage facility* (*coal yard*). Peralatan pencampur yang digunakan adalah Excavator, Bulldozers dan *Wheel Loaders*. Pencampuran dilakukan dengan membola-balikkan campuran batubara dan biomassa sampai tercampur sempurna. Kemudian campuran batubara dan biomassa diambil menggunakan *Bucker Wheel Stacker/ Reclaimers* untuk dipindahkan ke *Screening and Crushing Plant*. Pada unit ini campuran batubara dan biomassa dihancurkan agar lebih merata menggunakan alat Coal Crusher. Selanjutnya ditransportasikan masuk ke *Coal bunker* untuk disimpan dan siap digunakan. Media transportasi campuran batubara dan biomassa adalah menggunakan *belt conveyor*.

Dari *coal bunker* campuran batubara dan Biomassa melewati *coal feeder* masuk ke Mill (*coal mill*). Pada bagian Mill ada peralatan penghancur dan meratakan ukuran bahan bakar, yaitu *coal pulverizer*.



Gambar 52 Stacker/Reclaimer

Peralatan yang masuk dalam lingkup *coal handling system facility*:

**1. Bucker Wheel Stacker/ Reclaimers**

Fungsi stacker / recalimer adalah untuk memindahkan campuran batubara dengan biomass ke *belt conveyor*

Berikut contoh spesifikasi peralatan *Bucker Wheel Stacker/ Reclaimers*

- a) Working system: Heavy duty service
- b) Stacking capacity: 1500 t/h;
- c) Reclaiming capacity: 750 t/h;
- d) Stack height: Above track: 13.5 m; Below track: 1.5 m;
- e) Program control: 38 m;
- f) Power supply type: cable drum;
- g) Power supply voltage: 6000 V;
- h) Power supply frequency: 50 Hz;
- i) Travel distance: 180 m;
- j) Max. operation wind load: 400 N/m<sup>2</sup>
- k) Max. non-operation wind load: 800 N/m<sup>2</sup>
- l) General installed power: 370 kW;
- m) Max. load power: 330 kW;
- n) Equipment gross weight: 410 ton;
- o) In which, counter weight: 80 t;
- p) Max. Transportation weight of unit component: 9 t;
- q) Max. measurement (L×W×H): 3.2mX1.2mX12.5 m;
- r) Equipment measurement (L×W×H): 83.5m × 9.8m × 19.5 m;
- s) Control method: automatic-manual; manual

**2. Bulldozer dan *Wheel loader***

Digunakan untuk mendorong campuran batubara dengan biomassaa



Gambar 53 Bulldozer



Gambar 54 Wheel Loader

### 3. Coal Crusher

Berikut contoh spesifikasi peralatan Coal Crusher

- a) Type: ring hammer type
- b) Assembly method and quantity: installed on the right side, two sets in total
- c) Cracking capability: 500t/h
- d) Granularity of input material  $\geq 300\text{mm}$
- e) Granularity of output material  $\leq 30\text{mm}$

### 4. Belt conveyor

Berikut contoh spesifikasi peralatan *Belt conveyor*

Tabel 12 Contoh Spesifikasi Peralatan *Belt Conveyor*

Output ton/h	Belt Width m	Belt Speed m/s	Horizontal Conveyor Length (m)	Lift Height (m)	Obliquity (o)	Reference Power (KW)	Belt Type
750	1000	2.5	101.35(A) 117.25(B)	25.146(A) 24.300(B)	14.7	132	EP flame resistant belt
750	1000	2.5	222.25	55.10	14.3	250	EP flame resistant belt
750	1000	2.5	71.95	0	0	55	EP flame resistant belt
1500	1400	2.5	314.0	0	0	2x110	EP flame resistant belt
1500	1400	2.5	55.259	0	0	75	EP flame resistant belt
750	1000	2.5	66.30	10.00	8.40	75	EP flame resistant belt

### 5. Vibrating Coal feeder

Berikut contoh spesifikasi peralatan Vibrating *Coal feeder*

- a) Equipment output: 380t/h(rated),100~450t/h (*adjustable* within this range);
- b) Structure type: Motor vibrating *feeder*
- c) Applied belt width: B=1000mm Granularity of input material: ≤300mm
- d) Installation type: Ceiling-mounted
- e) 1.2 Technical Data Sheet of Equipment

### 6. Coal Sampling Device

- a) Sample granularity: ≤ 3~6mm System moisture loss: < 1.0 %
- b) Noise control level: ≤ 85dB (A) Sampling precision: ±2%
- c) Control method: Program control, manual control

### 7. Electronic Belt Weigher and Cycle Chains Load Checking Device

Berikut contoh spesifikasi peralatan Electronic Belt *Weigher* and Cycle Chains Load Checking Device

Tabel 13 Contoh Spesifikasi Peralatan Electronic Belt *Weigher* and Cycle Chains Load Checking Device

No.	Items	Unit	Equipment Parameter
1.	<i>Electric belt weigher</i>		
1.	<i>Specification</i>		ISC-14A
2.	<i>Dynamic accumulative error</i>	%	≤±0.25
3.	<i>Weighting capability</i>	t/h	600-900
4.	<i>Scope of application</i>		
5.	<i>Belt width</i>	mm	1000
6.	<i>Belt speed</i>	m/s	2.5
7.	<i>Specification of belt conveyor</i>		Standard D-YM96

### 8. Iron remover and Metal Detector

Berguna untuk mengambil logam yang tercampur pada batubara dan biomassa

Peralatan yang masuk dalam lingkup *Auxiliary Equipment* antara lain:

#### A. Coal bunker

*Coal bunker* dibagi 3 kolom yaitu: kolom atas, kolom bagian tengah dan kerucut hiperbola bawah.

Sesuai dengan karakteristik bahan bakar batubara yang volatil tinggi maka waktu penyimpanan di *coal bunker* tidak boleh lama (apabila sedang dilakukan mayor overhaul / pemeliharaan yang membutuhkan waktu lama,

maka *coal bunker* harus dikosongkan). Hal ini sebagai faktor keamanan dan keselamatan instalasi untuk mencegah terjadinya eksplosif dan kebakaran. Karena pada jangka waktu yang cukup lama, batubara di dalam *coal bunker* akan mengeluarkan gas methane.

Langkah-langkah tersebut di atas diambil untuk mencegah bahan bakar terbakar dan meledak yaitu sistem pembuangan udara negatif, pintu bahan peledak di bagian atas bunker batubara, sistem pertempuran CO<sub>2</sub>.



Gambar 55 *Coal bunker*

#### **B. Coal feeder**

##### Persyaratan Umum

- i. Pengumpan batubara harus dapat melakukan pengumpanan batubara yang kontinyu dan seragam dan penimbangan yang akurat dan andal (sensor pembobotan impor diterapkan), di samping itu, secara akurat mengatur output dengan cara tanpa langkah dan cepat, sesuai dengan sistem kontrol pembakaran boiler, untuk membuat jumlah umpan batubara yang sebenarnya sesuai dengan beban boiler.
- ii. Pengukuran presisi pengumpan batubara: ± 0,25%
- iii. Kontrol presisi pengumpan batubara: ± 1%
- iv. Kegagalan operasi bebas dari peralatan yang lengkap harus lebih dari 15000 jam.
- v. Kapasitas tahan ledakan dari pemasok batubara harus dirancang sebesar 0.35MPa.
- vi. Pengumpan batubara memiliki fungsi pengukuran volume, yang dapat dimulai jika sistem pembobotan elektronik gagal, dan mengirim sinyal alarm.

- vii. Level kebisingan pada posisi 1m dari *feeder* batubara tidak boleh lebih dari 85dB (A).



Gambar 56 Coal feeder

#### C. Mill

Boiler dilengkapi dengan enam *pulverizer*, di mana salah satunya harus siaga/standby. Saat menggiling atau menghaluskan batubara, lima *pulverizer* sudah cukup untuk operasi terus-menerus (*continue operation*) pada beban B-MCR boiler (*boiler maximum continuous rating*). Boiler akan dilengkapi dengan dua (2 X 100%) *centrifugal seal air fan*, satu beroperasi dan satu standby.



Gambar 57 Mill

### Peralatan Pencampuran Biomassa Sampah

Biomassa sampah tidak dicampurkan pada *coal stock pile/coal yard*. Metode memasukkan ke *coal bunker* langsung ditumpahkan pada *belt conveyor* yang beroperasi/sedang berjalan. Selanjutnya akan ditransportasikan ke *Coal bunker*.



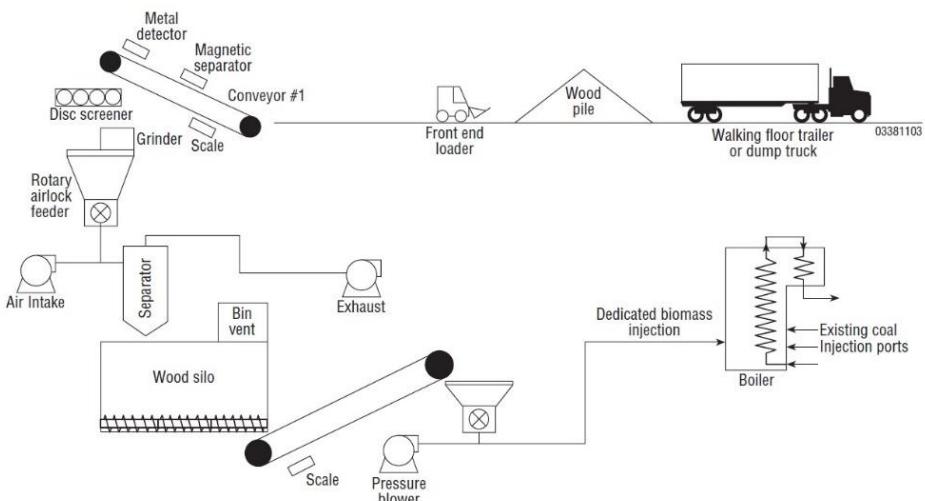
Gambar 58 Penuangan Biomassa ke *Belt conveyor*

### 3.5.7 Metode Pengelolaan Pencampuran Biomassa

Pencampuran biomassa dengan batubara dilakukan di lokasi *coal stock pile*. Besaran persentase co-firing biomassa (1%, 3% atau 5%) dan jenis biomassa yang akan dicampurkan dengan batubara sangat tergantung pada feed stock dan ketersediaan biomassa tersebut di sekitar lokasi unit pembangkit, hal ini untuk mengantisipasi kenaikan biaya transportasi biomassa ke unit pembangkit.

### Biomassa Hutan Tanaman Energi

Biomassa Hutan Tanaman Energi (HTE) didatangkan dari dengan menggunakan truck. Kemudian biomassa tersebut ditempatkan pada stockpile / *coal yard* yang ada shelter untuk menghindari hujan. Pencampuran biomassa dan batubara menggunakan excavator, *wheel loader* dan bulldozer. Kemudian ditranfer dengan *belt conveyor* ke *Bucker Wheel Stacker* / Reclaimer masuk ke *coal bunker*.



Gambar 59 Skema Coal Handling System

Metode pencampuran antara biomassa dengan batubara dapat dilakukan dengan beberapa cara antara lain:

### 1. Pencampuran di *Coal Stockpile*

Pencampuran ini menggunakan alat berat antara lain: excavator, staker reclaimer, bulldozer dan *wheel loader*. Teknik pencampurannya adalah dengan membolak balikkan campuran biomassa dan batubara. Sebelum dilakukan pencampuran, dilakukan perhitungan jumlah batubara dan jumlah biomassa. Homogenitas campuran hanya bisa diperkirakan atau dilihat secara visual. Apabila dirasa sudah cukup tercampur merata dan homogen, maka campuran batubara dengan biomassa tersebut diambil dengan menggunakan staker / reclaimer untuk selanjutnya ditransfer *belt conveyor* selanjutnya dimasukkan ke *coal bunker*.

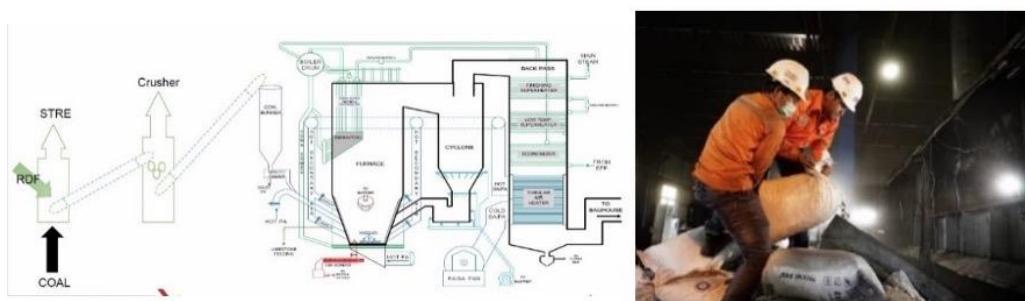


Gambar 60 Pencampuran di Coal Stockpile

#### 2. Dituangkan pada *Belt Conveyor*

Cara pencampuran dengan menuangkan langsung biomassa ke *conveyor belt* yang berisi batubara tidak perlu menggunakan peralatan alat berat. Teknik atau cara pencampuran seperti ini kurang efektif, karena tidak bisa diperkirakan homogenitas dan persentase dari campuran. Diperlukan tambahan tenaga kerja untuk menuangkan biomassa ke *belt conveyor*. Teknik ini kurang rekomendasikan, karena risiko kecelakaan kerja akibat kelelahan tenaga kerja dan kurang pas takaran atau persentasenya. Hanya diperkirakan saja.

Teknik ini bisa dimodifikasi dengan membuat silo khusus yang berisi biomassa dan diinstall *flow meter* atau *weigher* yang akan dituangkan ke *belt conveyor*.



Gambar 61 Teknik Penuangan Biomassa ke *Belt Conveyor*

#### Biomassa Sampah

Biomassa sampah yang sudah dijadikan pellet tidak dicampurkan dengan batubara di areal *coal yard* (*coal stockpile*). Namun secara langsung dituangkan ke dalam chute tersendiri dan akan jatuh pada *belt conveyor* yang berisi batubara. Dan akan ditransportasikan ke *coal bunker*, selanjutnya akan dibakar di ruang bakar (*furnace*).

Campuran biomassa sampah dengan batubara lebih cocok dipergunakan untuk bahan bakar pada boiler CFB dan boiler Stoker. Hal ini dikarenakan kedua tipe boiler tersebut (CFB dan Stoker) memiliki range nilai kalor yang lebih luas dan dapat menerima bahan bakar dengan *moisture content* yang lebih tinggi.

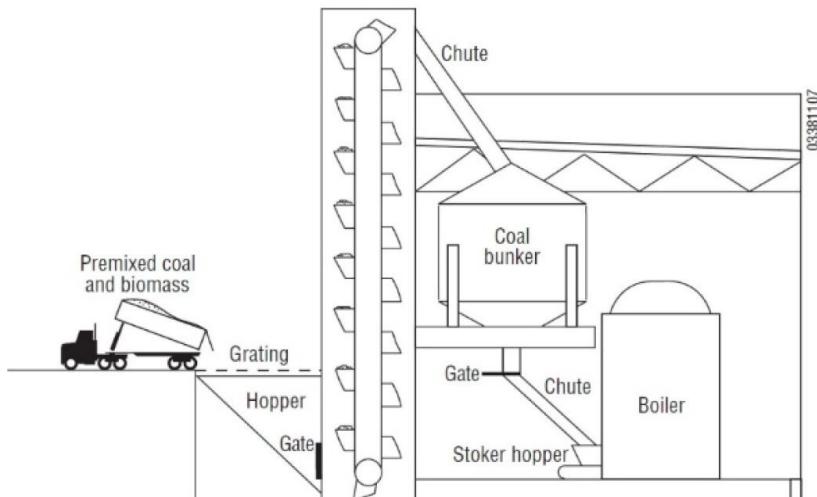
Teknik atau cara pencampuran antara biomassa sampah dengan batubara tidak berbeda dengan biomassa HTE. Namun dikarenakan persentase atau jumlah biomassa sampah cenderung sedikit daripada biomassa HTE, maka pencampurannya dengan menuangkan langsung ke *belt conveyor* yang berisi batubara.

Seperti pada pembahasan di atas, teknik atau cara seperti ini berbahaya bagi keselamatan jiwa manusia atau pekerja. Faktor kelelahan dan kecerobohan bisa mengakibatkan kecelakaan kerja.



Gambar 62 Penuangan Biomassa Sampah

Lebih baik pencampuran biomassa sampah dengan batubara dilakukan pada *coal stockpile*. Kemudian diangkut dengan truck dan dituangkan pada *under ground hopper* selanjutnya dimasukkan ke dalam *coal bunker*.



Gambar 63 Teknik Memasukkan Pada Campuran Biomassa Sampah Dan Batubara Pada CFB Boiler

Metode co-firing untuk pembakaran campuran biomassa sampah dengan batubara adalah sama seperti pada biomassa HTE pada bab di atas yaitu Direct Co-firing, Indirect Co-firing dan Paralel Co-firing.

#### Pencampuran / *Blending*

Masalah-masalah seperti *bridging* dan penyumbatan sistem *feeding* serta karakteristik penghancuran yang buruk dari campuran batubara / biomassa telah membatasi persentase biomassa yang digunakan dalam campuran batubara / biomassa. Beberapa studi, banyak di bawah sponsor EPRI, telah dilakukan untuk mengevaluasi kelancaran aliran campuran batubara / biomassa. Massa jenis bahan bakar biomassa yang rendah dikombinasikan dengan ukuran partikel bahan bakar yang tidak memadai mempengaruhi kinerja unit *feeding* dan penanganan dan dapat menyebabkan penyumbatan unit tersebut setiap kali ada pembatasan aliran. Jika kadar air cukup tinggi, partikel bahan bakar biomassa juga dapat menjembatani celah dan jalur peralatan *feeding* dan *handling*. Meskipun masalah seperti itu telah ditunjukkan dalam beberapa demonstrasi skala percontohan dan skala penuh, sebagian besar dapat diatasi sebagian besar jika partikel bahan bakar ukuran dan kadar air dikontrol dengan benar. Pencampuran biomassa dan batubara yang tepat ke dalam campuran dapat sangat mengurangi masalah ini.

Karena tidak ada dua plant yang sama, operasi dan filosofi plant harus dipertimbangkan saat merancang sistem untuk pencampuran dan / atau pencampuran biomassa. Tata letak plant serta pertimbangan ruang terkait juga harus dievaluasi. Opsi *blending* termasuk pencampuran awal bahan bakar batu bara dan biomassa dibandingkan dengan merancang sistem untuk mencampur bahan bakar saat diangkut dari tempat penyimpanan batu bara ke bunker.

Menilai karakteristik penanganan curah bahan biomassa dirasa sulit karena sejumlah alasan. Jenis dan kualitas biomassa yang ditembakkan, terutama kadar air, dapat bervariasi, dan biomassa rentan terhadap aktivitas biologis yang dapat mempengaruhi *mixing* dan *blending*. Biomassa mungkin berserat dan elastis, mempersulit karakteristik pencampuran dan pencampuran dan membantalkan metode desain tradisional; dan bentuk partikel dapat bervariasi dan sering kali bergantung pada pemrosesan hulu.

Selain itu, mencampur sejumlah kecil satu bahan curah dengan yang lain (seperti yang terjadi ketika biomassa digiling bersama dengan batu bara) dapat memiliki pengaruh yang signifikan pada sifat campuran. Hal ini telah diamati di lokasi co-milling biomassa di mana, sampai tindakan diambil untuk menyelesaikan masalah, hang-up *bunker mill* terlihat meningkat ketika biomassa dimasukkan ke dalam sistem. Informasi tentang sejumlah sifat ruah material digunakan untuk merancang bunker dan silo yang dapat melepaskan dengan andal di bawah gravitasi (tanpa memerlukan alat bantu pembuangan). Melakukan retrofit lapisan halus telah terbukti berhasil dalam meningkatkan perilaku aliran sistem batubara dan sekarang sedang diupayakan untuk campuran karena aliran massa selalu disukai saat menangani biomassa untuk menghindari biodegradasi di dalam bunker.

Dalam beberapa keadaan, sejumlah kecil biomassa sebenarnya meningkatkan kemampuan aliran batubara karena bahan biomassa

umumnya bersifat higroskopis, mudah menyerap air dan mengurangi kelembapan permukaan / bebas. Namun, hal ini juga akan cenderung menghasilkan lebih banyak partikel halus yang dilepaskan dari permukaan batubara, yang konsisten dengan pengalaman dari lokasi di mana bahan bakar yang dicampur di luar lokasi telah diterima sebagai bagian dari uji coba co-firing biomassa awal. Dalam kasus ini, debu menjadi perhatian utama. Kecenderungan higroskopis juga dapat menyebabkan tingkat debu yang lebih tinggi oleh batu bara.

Perusahaan utilitas yang telah menggabungkan biomassa secara komersial selama beberapa waktu menghadapi masalah dengan profil aliran bunker yang lebih ekstrem dengan endapan yang menumpuk di dinding bunker dan menjembatani di outlet bunker. Pekerjaan pengujian menunjukkan bahwa pengalaman ini, setidaknya, sebagian disebabkan oleh pelepasan butiran halus batubara yang terkait dengan pengeringan permukaan campuran. Kadar air telah ditemukan sebagai parameter terpenting yang mempengaruhi karakteristik "kemampuan mengalir" (*flowability*) dari campuran batubara / biomassa. Secara umum bermanfaat untuk mengoperasikan bunker dalam mode "aliran massa" (semua material bergerak), dan ini terutama berlaku untuk biomassa sehingga material tidak mengalami degradasi. *Bridging* kemungkinannya menjadi masalah dalam aliran massa, dan ini didukung oleh pengalaman operasional yang lebih baik dengan campuran biomassa di *bunker mill* yang memiliki lapisan baja tahan karat halus yang mendorong rezim aliran tersebut. Perlu dicatat bahwa pengalaman co-firing sampai saat ini sebagian besar terbatas pada bahan biomassa granular yang mengalir bebas secara relatif. Penanganan bahan herba (rumput), misalnya, akan lebih bermasalah dan membutuhkan solusi penanganan yang berbeda.

Salah satu skenario pencampuran adalah mengukur bahan bakar kayu ke sabuk batu bara, membiarkan penghancur batu bara memberikan pencampuran *blending* yang seragam dengan aksi pencampurannya, dan kemudian mengangkut campuran tersebut ke bunker. Ini telah berhasil dilakukan untuk bahan bakar kayu dengan memuat bahan bakar kayu ke konveyor pengukur. Konveyor pengukur memasukkan bahan bakar kayu ke dalam hopper reklamasi plant di mana ia mengalir ke sabuk yang berisi batu bara dari pembongkar batu bara. dari titik ini, itu diumpulkan melalui penghancur batubara ke dalam bunker. Laju pengukuran bahan bakar kayu disesuaikan agar sesuai dengan laju umpan batubara untuk menghasilkan rasio campuran yang diinginkan.

Pilihan yang lebih canggih melibatkan penggerak kecepatan variabel pada pengumpan reklamasi batubara dan sel beban (timbangan sabuk) pada sabuk dari hopper reklamasi ke sabuk batubara. Bahan bakar kayu dimuat langsung ke hopper reklamasi. Penggerak kecepatan variabel disesuaikan untuk mencapai rasio campuran yang diinginkan dan menyediakan laju umpan bahan bakar kayu yang diperlukan agar sesuai dengan laju umpan batubara. dari titik ini, itu diumpulkan melalui penghancur batubara ke dalam bunker.

Bahan bakar yang dikirim dengan tongkang atau rel menawarkan dua peluang pencampuran. Biomassa dapat dibongkar dan dipindahkan melalui

tempat bahan bakar untuk diproses, disimpan, dan kemudian dicampur dengan menambahkannya ke sabuk batubara. Untuk biomassa berukuran di mana dua fasilitas pembongkaran tersedia, skrining dapat dilakukan di bongkar muat biomassa dan rasio campuran yang diperlukan dapat dicapai dengan menggunakan dua pengumpan tingkat variabel.

#### 3.5.8 Transportasi *Biofuel* ke Pembangkit Listrik

Ada dua opsi di area ini, tergantung pada apakah unit menggunakan bahan bakar campuran atau apakah ada pengumpunan terpisah dari *biofuel* dan batubara ke dalam boiler PC. Pendekatannya berbeda secara signifikan.

##### Transportasi Bahan Bakar Campuran

Pengangkutan biomassa setelah berada di lokasi mencakup opsi seperti loader ujung depan, truk, auger, konveyor, dan pipa pneumatik. Semua ukurannya harus diperhatikan untuk bisa menyediakan pengangkutan biomassa yang memadai guna memenuhi persyaratan pasokan. Pertimbangan khusus harus diberikan kepada loader dan truk *front-end* untuk memastikan bahwa jarak sisi dan *overhead* yang memadai tersedia untuk pengoperasian yang benar di area penyimpanan dan jalan raya.

Konveyor juga harus dilengkapi dengan penutup jika angin atau curah hujan menjadi perhatian. Bahan kering mungkin memerlukan pengendalian debu dan perhatian yang cermat harus diberikan pada sudut kemiringan atau gerigi harus ditambahkan untuk memastikan bahwa bahan akan mengalir dengan baik.

##### Pengangkutan *Biofuel* ke dalam Boiler PC Untuk Firing Terpisah

Ketika firing terpisah dilakukan, bahan bakar kayu yang disiapkan biasanya disimpan di luar pembangkit tenaga listrik sampai digunakan. Setelah akan digunakan, kayu diangkut secara pneumatik ke bagian depan pembakar. Sistem pneumatik harus menyediakan transportasi *biofuel* berkecepatan tinggi ke boiler. Tingkat pengangkutan yang aman dianggap  $\geq 5000$  kaki / menit (25,6 m / detik) untuk melebihi kecepatan nyala bahan bakar nabati kering. Sistem pneumatik juga harus mampu menangani batu kecil yang kadang-kadang dapat masuk ke pasokan bahan bakar setelah persiapan.

Perpipaan pneumatik juga harus memberikan pilihan untuk memastikan bahwa biomassa dikosongkan dari perpipaan sebelum sistem dimatikan dan beberapa sarana akses disediakan untuk membersihkan sumbatan. Pembersihan sangat penting untuk sistem ini. Namun, setelah dipasang, pengangkutan pneumatik adalah metode yang sangat andal untuk memindahkan bahan bakar nabati yang dibagi dengan halus untuk disuntikkan secara terpisah ke dalam boiler pihak utilitas.

### 3.5.9 Pengukuran Feed Rate

Tingkat feed biomassa ditentukan oleh tingkat umpan batubara dan persentase biomassa yang akan ditambahkan. Tingkat feed biomassa biasanya dapat diukur dengan salah satu dari dua cara. Metode pertama melibatkan pengukuran bahan biomassa melalui hopper umpan sehingga volume yang diketahui mengalir melalui bukaan pengumpan. Ini mengasumsikan bahwa laju umpan dan kepadatan bahan biomassa adalah konstan dan bahwa laju umpan batubara konstan. Metode kedua melibatkan penyediaan laju umpan variabel dengan menggunakan pengumpan laju variabel dan timbangan sabuk konveyor. Laju umpan biomassa disesuaikan baik secara manual atau otomatis melalui sistem umpan elektronik untuk mencocokkan laju umpan yang diperlukan guna mengoreksi campuran persentase berdasarkan laju umpan batubara. Perhatian harus diberikan untuk menyediakan timbangan sabuk konveyor yang mampu mengukur laju umpan rendah yang diperlukan saat co-firing pada persentase rendah.

## 3.6 IMPLEMENTASI *HANDLING* BIOMASSA

### 3.6.1 Handling Biomassa di PLTU Paiton 1-2

*Biomass handling* (Gambar 64) dilakukan dengan menggunakan alat berat eksisting untuk melakukan penataan biomassa di *coal yard*, di area dekat *emergency reclaim hopper / underground hopper*.



Gambar 64. Biomass Storage



Gambar 65. Proses *Mixing* Biomassa Wood Pellet & Batubara



Gambar 66. Proses *Mixing* Biomassa Sawdust & Batubara

Proses pencampuran (*mixing*) *wood pellet* dengan batubara dan *sawdust* dengan batubara dilakukan di area *coal yard* dengan menggunakan alat berat *excavator* seperti tampak pada Gambar 65 dan Gambar 66.

### 3.6.2 Handling Biomassa di PLTU Paiton 9

*Sawdust* dikirim dari supplier dengan metode *trucking* ke PLTU Paiton 9 seperti terlihat pada Gambar 67. Persiapan biomass *Mixing* antara biomassa dan batubara dilakukan di *coal yard*. *Coal yard* di PLTU Pacitan cukup terlindungi dari hujan dan cuaca dikarenakan terdapat *coal shelter* / *coal dome*. Biomass *mixing* dicampur dengan bantuan alat berat (*bulldozer*) untuk mendapatkan campuran yang cukup rata dari ujung jalur transport (*coal yard*). *Unloading sawdust* dilakukan di *coal yard* yang sudah dilengkapi *dome*.

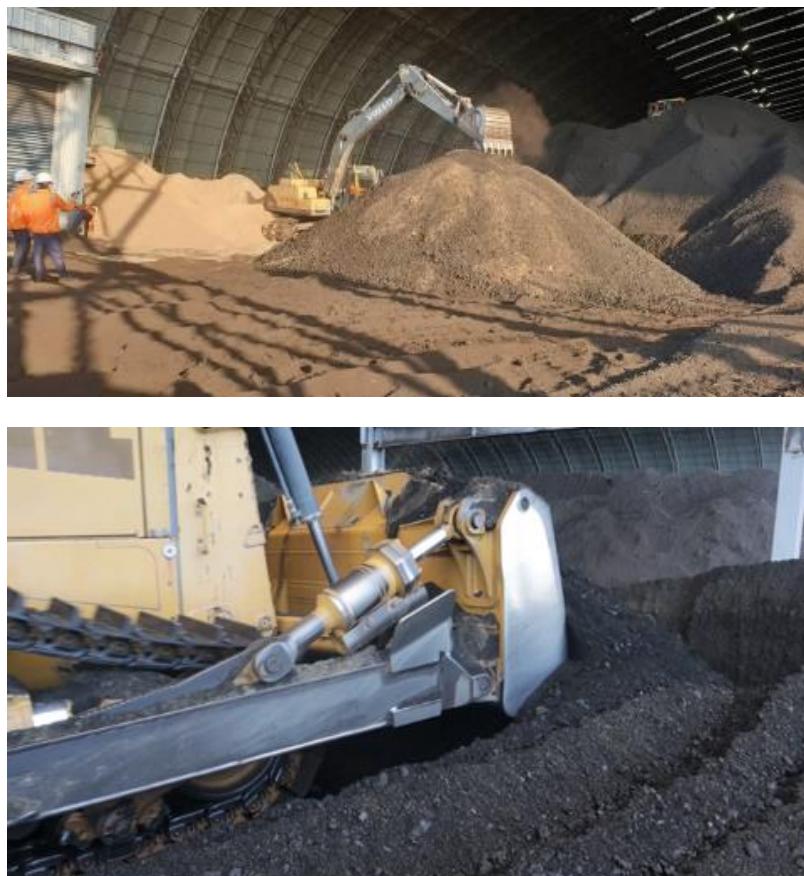


Gambar 67. Proses Penerimaan *Sawdust* di Unit PLTU Paiton 9

*Biomass sawdust* yang didapat kemudian dikondisikan di *coal yard* PLTU Paiton 9. Harga dari *sawdust* tersebut hingga sampai ke PLTU Paiton 9 bernilai Rp 472,00 per kilogram. Hasil uji laboratorium tersebut telah keluar sertifikat (CoA).

*Biomass handling* dilakukan dengan menggunakan alat berat eksisting untuk melakukan penataan *sawdust* di *coal yard*, di area dekat *emergency reclaim hopper / underground hopper*.





Gambar 68. Proses Mixing Biomassa & Batubara (a dan b),  
Proses Loading BB dan Bio ke RH (c)

Penimbangan dilakukan dengan persentase yang telah ditentukan dilakukan, setelah melakukan penimbangan dengan jembatan timbang. Proses pencampuran (*mixing*) *sawdust* dengan batubara dilakukan di area *coal yard* dengan menggunakan alat berat *excavator* seperti tampak pada Gambar diatas. Campuran *sawdust* – Batubara (sesuai persentase pengujian) masuk ke *coal bunker* melalui *underground hopper* seperti tampak pada Gambar diatas

### 3.6.3 Handling Biomassa di PLTU Pacitan

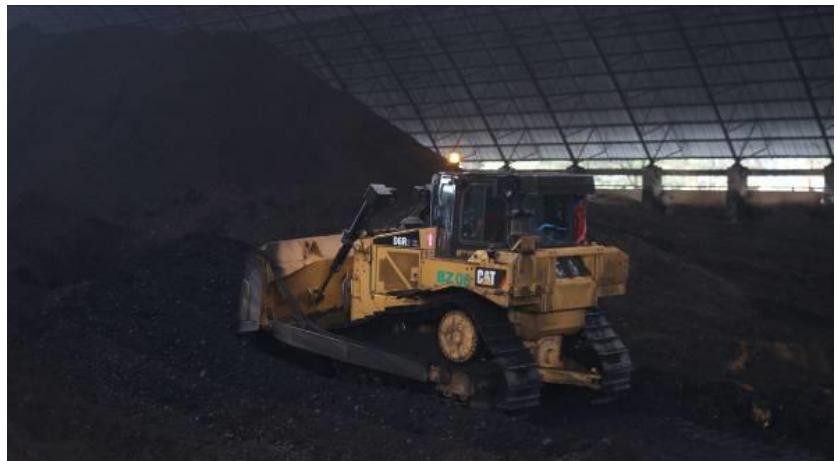
Persiapan biomass *Mixing* antara biomassa dan batubara dilakukan di *coal yard*. *Coal yard* di PLTU Pacitan cukup terlindungi dari hujan dan cuaca dikarenakan terdapat *coal shelter* / *coal dome*. Biomass *mixing* dicampur dengan bantuan alat berat (*bulldozer*) untuk mendapatkan campuran yang cukup rata dari ujung jalur transport (*coal yard*). Alat berat juga digunakan untuk mendorong campuran batubara biomassa menuju ERH (Emergency Reclaim Hopper) untuk selanjutnya ditransport oleh coal conveyor melalui transfer tower menuju *coal bunker* di atas *coal feeder*. Selanjutnya dari *coal bunker*, campuran batubara biomassa ini menuju *coal feeder* sebelum masuk

### Bab III Penanganan Bahan Bakar Biomassa

ke dalam *coal mill* untuk digerus. Dokumentasi proses biomass *mixing* adalah sebagaimana gambar di bawah:



Gambar 69. Proses Mixing Sawdust & Batubara



Gambar 70. Proses Penerimaan Sawdust di Unit PLTU Pacitan

Halaman ini sengaja dikosongkan.

# Pengujian dan Evaluasi atas Co-Firing



4



# Bab IV

## Pengujian dan Evaluasi atas Co-Firing

### 4.1 KARAKTERISTIK BAHAN BAKAR

#### 4.1.1 Karakteristik Bahan Bakar di PLTU Pacitan

Untuk mengetahui karakteristik bahan bakar yang digunakan dalam *co-firing* dapat dianalisa dengan melihat sifat fisik maupun kandungan kimia dari campuran bahan bakar (campuran batubara dan biomassa) yang dapat diketahui melalui uji laboratorium. Uji laboratorium yang diperlukan antara lain *Proximate analysis*, *Ultimate analysis*, analisa abu, *Ash Fusion Temperature*, dan *Chlorine analysis*. Pentingnya melakukan uji laboratorium terhadapa campuran bahan bakar yang digunakan selain mengetahui nilai kalor, dapat diketahui zat yang terkandung dalam bahan bakar dan zat yang terbentuk pada hasil pembakaran sehingga dapat diprediksi potensi terbentuknya *slagging*, *fouling* serta potensi terjadinya korosi di dalam *boiler*.

Batubara yang digunakan untuk pengujian co-firing di PLTU Pacitan adalah batubara Arutmin LRC. CoA batubara yang digunakan untuk pengujian dan biomassa yang digunakan untuk pengujian seperti terdapat pada tabel di bawah ini:

Tabel 14 Komparasi Karakteristik Batubara dengan Biomassa Serbuk Kayu

Parameter	Unit	Bituminous (typical)	Sub Bituminous (typical)	Batubara Pacitan	Sawdust Sawmill (typical)
		Ar	Ar	Ar	Ar
Ultimate					
Carbon	%	48,61	43,82	45,22	28,06
Hydrogen	%	3,75	3,37	3,17	3,17
Nitrogen	%	1,09	0,68	0,56	0,15
Oxygen	%	13,95	13,22	12,89	24,80
Proximate					
Total Moisture	%	24,32	35,84	35,20	41,74
Ash content	%	7,66	2,96	2,84	2,01
Volatile matter	%	34,43	30,97	32,30	46,25
Fixed carbon	%	33,59	30,24	29,66	10,00
Total sulphur	%	0,63	0,11	0,12	0,07
Gross calorific	kCal/kg	4897	4199	4212	2694

## Bab IV Pengujian dan Evaluasi atas Co-Firing

Parameter	Unit	Bituminous (typical)	Sub Bituminous (typical)	Batubara Pacitan	Sawdust Sawmill (typical)
		Ar	Ar	Ar	Ar
value					
Nitrogen	%	1,09	0,68	0,56	
Hardgrove Grindability Index		47	55	57,00	< 32
Bulk Density	kg/m3	900	900		141
AFT Softtening Reducing		1180	1200	1170	1210
Chlorine					0,10

Keterangan:

- Batubara yang digunakan untuk pengujian di PLTU Pacitan adalah batubara Arutmin LRC dari tambang Asam Asam Kalimantan
- Biomassa yang digunakan adalah serbuk kayu dari area Pacitan

Dari tabel di atas menunjukkan nilai kalor biomassa serbuk kayu di bawah dengan nilai kalor batubara *bituminous* maupun batubara yang digunakan selama pengujian. Beberapa perbedaan antara batubara dengan biomassa uji adalah:

1. Kandungan nilai sulfur biomassa lebih rendah dibandingkan dengan batubara, sehingga akan menghasilkan emisi pembakaran yang lebih rendah (ramah lingkungan). Kandungan sulfur pada tipikal Serbuk Kayu sangat rendah sebesar 0,07% dibandingkan tipikal batubara yang berkisar 0,11% untuk tipe *low rank coal* dan berkisar 0,63% untuk tipe *medium rank coal*, sehingga penambahan Serbuk Kayu pada pengujian co-firing Serbuk Kayu berpotensi menurunkan emisi SOx, kondisi ini dapat mengurangi emisi untuk mencapai target baku mutu yang ditetapkan oleh PERMEN LHK Nomor 15 tahun 2019
2. Kandungan *volatile matter* batubara lebih tinggi dibandingkan dengan batubara, sehingga lebih mudah untuk terbakar. Hal ini harus mendapatkan perhatian saat melakukan co-firing terutama pada pengontrolan temperatur *pulverizer*. Kandungan *volatile matter* yang lebih tinggi ini membuat Serbuk Kayu akan lebih cepat terbakar dibandingkan batubara sehingga membantu mempercepat proses pembakaran di dalam boiler secara keseluruhan
3. Nilai HGI (*Hardgrove Grindability Index*) *sawdust* lebih rendah dibandingkan dengan batubara, sehingga *sawdust* tidak mudah untuk digerus. Hal ini harus mendapatkan perhatian karena rata-rata desain HGI pada *pulverizer* adalah  $\geq 45$ , sehingga perlu dilakukan pemantauan pada *coal mill/ pulverizer*.
4. Tipikal Serbuk Kayu juga mempunyai kandungan ash yang lebih rendah dibandingkan dengan tipikal batubara sehingga dapat mengurangi jumlah ash yang terbentuk/yang dihasilkan dari proses pembakaran di boiler baik pada *fly ash* maupun *bottom ash*.

Selanjutnya menggunakan hasil analisa laboratorium dari sampel Serbuk Kayu typical PT PJB, dapat dihitung rasio 2S/Cl dengan basis molar akan diperoleh nilai sebesar 1,77. dengan nilai tersebut, pembakaran sampel Serbuk Kayu tipikal tersebut memiliki risiko *Cl-induced active oxidation major*. Risiko tersebut perlu dipertimbangkan dalam pengoperasian *boiler* dengan bahan bakar campuran Serbuk Kayu.

Menggunakan data *fuel analysis* dan data, dimana batubara typical memiliki kandungan *Sulphur* 0,11 % dan kandungan *Chlorine* 0,015 % dapat dihitung rasio 2S/Cl dengan basis molar diperoleh nilai sebesar 16,21. Jika dilakukan *mixing* antara 95% batubara dan 5% Serbuk Kayu maka dapat dihitung kandungan *chlorine* dan *sulphur* pada bahan bakar campuran tersebut dengan pendekatan proporsional.

$$\begin{aligned}\text{Kandungan Sulphur Campuran} &= (0,95 \times S_{\text{batubara}}) + (0,05 \times S_{\text{serbuk kayu}}) \\ &= (0,95 \times 0,11) + (0,05 \times 0,08) \\ &= 0,1085 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Kandungan Clorine Campuran} &= (0,95 \times Cl_{\text{batubara}}) + (0,05 \times Cl_{\text{serbuk kayu}}) \\ &= (0,95 \times 0,015) + (0,05 \times 0,10) \\ &= 0,01925 \%\end{aligned}$$

Dengan hasil di atas dapat dihitung rasio 2S/Cl dengan basis molar diperoleh nilai sebesar 12,49 dimana penggunaan bahan bakar campuran 95% batubara 5% Serbuk Kayu memiliki risiko *Cl-induced active oxidation minor*.

Dikarenakan hasil perhitungan ini menggunakan data typical batubara dan data typical serbuk kayu, untuk penulisan lebih lanjut, perlu dilakukan analisa laboratorium terhadap sampel batubara dan biomassa serbuk kayu, sekaligus sampel campuran batubara dan biomassa serbuk kayu yang digunakan pada PLTU Pacitan untuk memetakan potensi risiko korosi dan sekaligus untuk memetakan besaran persentase biomassa Serbuk Kayu dalam campuran bahan bakar.

### 4.1.2 Karakteristik Bahan Bakar di PLTU Paiton 9

Untuk mengetahui karakteristik bahan bakar yang digunakan dalam *co-firing* dapat dianalisis dengan melihat sifat fisik maupun kandungan kimia dari campuran bahan bakar (campuran batubara dan biomassa) yang dapat diketahui melalui uji laboratorium. Uji laboratorium yang diperlukan antara lain *Proximate analysis*, *Ultimate analysis*, analisa abu, *Ash Fusion Temperature*, dan *Chlorine analysis*. Pentingnya melakukan uji laboratorium terhadap campuran bahan bakar yang digunakan selain mengetahui nilai kalor, dapat diketahui zat yang terkandung dalam bahan bakar dan zat yang terbentuk pada hasil pembakaran sehingga dapat diprediksi potensi

## Bab IV Pengujian dan Evaluasi atas Co-Firing

terbentuknya *slagging*, *fouling* dan aglomerasi serta potensi terjadinya korosi di dalam *boiler*.

Karena keterbatasan data, maka perbandingan karakteristik antara batubara dan *sawdust* dilakukan dengan membandingkan hasil *Ultimate analysis* dan *Proximate analysis* yang diperoleh dari *supplier* antara batubara tipikal *medium rank coal* (Batubara A), batubara tipikal *low rank coal* yang digunakan di PLTU Paiton 9 (Batubara B) dan tipikal *sawdust*. Sesuai dengan data hasil uji Laboratorium pada Tabel 4 di bawah, kandungan sulfur pada tipikal *sawdust* sangat rendah sebesar 0,096% dibandingkan tipikal batubara yang berkisar 0,11% untuk tipe *low rank coal* dan berkisar 0,63% untuk tipe *medium rank coal*, sehingga penambahan *sawdust* pada pengujian *co-firing sawdust* berpotensi menurunkan emisi SO<sub>x</sub>, kondisi ini dapat mengurangi emisi untuk mencapai target baku mutu yang ditetapkan oleh PERMEN LHK Nomor 15 tahun 2019. Kandungan *volatile matter* pada tipikal *sawdust* juga jauh lebih besar dibandingkan dengan tipikal batubara, hal ini membuat *sawdust* akan lebih cepat terbakar dibandingkan batubara sehingga membantu mempercepat proses pembakaran di dalam *boiler* secara keseluruhan. Tipikal *sawdust* juga mempunyai kandungan *ash* yang lebih rendah dibandingkan dengan tipikal batubara sehingga dapat mengurangi jumlah *ash* yang terbentuk/yang dihasilkan dari proses pembakaran di *boiler* baik pada *fly ash* maupun *bottom ash*. Sementara dengan nilai kalor yang dimiliki *sawdust* untuk uji bakar di Paiton 9 sebesar 4.294 kCal/kg menunjukkan kandungan energi yang relatif sama dibandingkan dengan tipikal batubara *low rank* yang mempunyai nilai kalor 4237 kCal/kg. Beberapa karakteristik tipikal *sawdust* tersebut menjadi faktor pendukung dalam melaksanakan uji coba *co-firing* di PLTU Paiton 9.

Tabel 15 Komparasi Karakteristik Batubara dengan Biomassa *Sawdust*

Parameter	Unit (Ar)	Batubara Bituminous (typical)*	Batubara Subbituminous (typical)*	Batubara PLTU Paiton 9**	<i>Sawdust</i> Paiton9
<b>Ultimate</b>					
Carbon	%	48,61	43,82	-	45,7
Hydrogen	%	3,75	3,37	-	5,45
Nitrogen	%	1,09	0,68	-	0
Sulphur	%	0,63	0,11	-	0,09
Oxygen	%	13,95	13,22	-	38,99
<b>Proximate</b>					
Total Moisture	%	24,32	35,84	34,73	8,60
Ash Content	%	7,66	2,96	3,08	1,17
<i>Volatile Matter</i>	%	34,43	30,97	38,94 (adb)	75,16
Fixed Carbon	%	33,59	30,24	37,08 (adb)	15,07
Total Sulphur	%	0,63	0,11	0,12	0,09
Gross Calorific Value	kCal/kg	4897	4199	4237	4294
<i>Hargrove Grindability Index</i>	-	47	55	64	< 32
<i>Bulk Density</i>	kg/m3	900	890	-	-

Keterangan:

\* Referensi data pemasok typical batubara ke PT PJB

\*\* Referensi data PT PJB UBJOM Paiton 9: Arutmin LRC, 4237 kCal/kg

Dari tabel di atas menunjukkan nilai kalor biomassa serbuk kayu di bawah dengan nilai kalor batubara *bituminous* maupun batubara yang digunakan selama pengujian. Beberapa perbedaan antara batubara dengan biomassa uji adalah:

1. Kandungan nilai sulfur biomassa lebih rendah dibandingkan dengan batubara, sehingga akan menghasilkan emisi pembakaran yang lebih rendah (ramah lingkungan). Kandungan sulfur pada Serbuk Kayu sangat rendah sebesar 0,09% dibandingkan batubara uji yang sebesar 0,12% untuk batubara uji (Arutmin LRC) dan berkisar 0,63% untuk typical *medium rank coal*, sehingga penambahan Serbuk Kayu pada pengujian *co-firing* Serbuk Kayu berpotensi menurunkan emisi SO<sub>x</sub>, kondisi ini dapat mengurangi emisi untuk mencapai target baku mutu yang ditetapkan oleh PERMEN LHK Nomor 15 tahun 2019
2. Kandungan *volatile matter* batubara lebih tinggi dibandingkan dengan batubara, sehingga lebih mudah untuk terbakar. Hal ini harus mendapatkan perhatian saat melakukan *co-firing* terutama pada pengontrolan temperatur *pulverizer*. Kandungan *volatile matter* yang lebih tinggi ini membuat Serbuk Kayu akan lebih cepat terbakar dibandingkan batubara sehingga membantu mempercepat proses pembakaran di dalam *boiler* secara keseluruhan
3. Nilai HGI (*Hardgrove Grindability Index*) *sawdust* lebih rendah dibandingkan dengan batubara, sehingga *sawdust* tidak mudah untuk digerus. Hal ini harus mendapatkan perhatian karena rata-rata desain HGI pada *pulverizer* adalah  $\geq 45$ , sehingga perlu dilakukan pemantauan pada *coal mill/pulverizer*.
4. Tipikal Serbuk Kayu juga mempunyai kandungan *ash* yang lebih rendah dibandingkan dengan tipikal batubara sehingga dapat mengurangi jumlah *ash* yang terbentuk/yang dihasilkan dari proses pembakaran di *boiler* baik pada *fly ash* maupun *bottom ash*.

### 4.2 PELAKSANAAN PENGUJIAN

#### 4.2.1 Pengujian di PLTU Paiton 1-2

Untuk perbandingan data secara aktual, dilakukan pengamatan parameter operasi pada kondisi sebelum dilakukan uji *co-firing* atau pada kondisi unit operasi dengan 100% batubara, dengan jenis batubara yang sama dengan yang akan digunakan pada uji *co-firing* biomassa.

Uji coba *Co-firing* 5% dengan *wood pellet* pada PLTU Paiton dilakukan selama 3 kali, yakni:

1. Pengujian 1 (1%): 2-5 September 2019
2. Pengujian 2 (3%): 7-11 Oktober 2019

### 3. Pengujian 3 (5%): 11-14 Nopember 2019

Uji coba *Co-firing* 5% dengan *sawdust* pada PLTU Paiton dilakukan dengan aktivitas sebagaimana Tabel 16.

Tabel 16 Aktivitas Pengujian Co-Firing di PLTU Paiton

Tanggal	Kegiatan
4	<i>Kick off meeting</i> dan persiapan pengujian
5	Pengujian 100% batubara
6	Pengujian <i>co-firing</i> dengan persentase 5%
8	Evaluasi dan <i>Closing meeting</i>

Monitoring operasi dilakukan pada setting beban 400 MW. Parameter utama atau *critical point* yang diamati, yaitu: *coal flow*, *total air flow*, *furnace exit gas temperature (FEGT)*, *mill outlet temperature*, *main steam temperature*, *main steam pressure*.

Pengambilan data parameter operasi dilakukan selama 4 jam dengan interval pencatatan setiap 30 menit. Pencatatan dimulai setelah kondisi beban unit stabil.

#### 4.2.2 Pengujian di PLTU Paiton 9

Untuk perbandingan data secara aktual, dilakukan pengamatan parameter operasi pada kondisi sebelum dilakukan uji *co-firing* atau pada kondisi unit operasi dengan 100% batubara, dengan jenis batubara yang sama dengan yang akan digunakan pada uji *co-firing* biomassa.

Uji coba *Co-firing* 5% dengan *sawdust* pada PLTU Paiton 9 dilakukan dengan aktivitas sebagaimana Tabel 17.

Tabel 17 Aktivitas Pengujian Co-Firing di PLTU Paiton 9

Tanggal	Kegiatan
7	<i>Kick off meeting</i> dan persiapan pengujian Proses <i>blending</i> 95% batubara dan 5% <i>sawdust</i>
8	Pengujian <i>co-firing</i> dengan persentase 5% Pengujian 100% batubara
9	Pengumpulan data
10	Evaluasi dan <i>Closing meeting</i>

Monitoring operasi dilakukan pada setting beban 635 MW. Parameter utama atau *critical point* yang diamati, yaitu: *coal flow*, *total air flow*, *furnace exit gas temperature (FEGT)*, *mill outlet temperature*, *main steam temperature*, *main steam pressure*.

Pengambilan data parameter operasi dilakukan selama 4 jam dengan interval pencatatan setiap 30 menit. Pencatatan dimulai setelah kondisi beban unit stabil.

### 4.2.3 Pengujian di PLTU Pacitan

Untuk perbandingan data secara aktual, dilakukan pengamatan parameter operasi pada kondisi sebelum dilakukan uji *co-firing* atau pada kondisi unit operasi dengan 100% batubara, dengan jenis batubara yang sama dengan yang akan digunakan pada uji *co-firing* biomassa.

Uji coba *Co-firing* 5% dengan *sawdust* pada PLTU Pacitan dilakukan selama 2 kali, yakni:

1. Pengujian 1 (5% *sawdust*): 2 September 2020
2. Pengujian 2 (0% *sawdust*): 3 September 2020

Uji coba *Co-firing* 5% dengan *sawdust* pada PLTU Pacitan dilakukan dengan aktivitas sebagaimana Tabel 18.

Tabel 18 Aktivitas Pengujian Co-Firing di PLTU Pacitan

Tanggal	Kegiatan
1	<i>Kick off meeting</i> , persiapan pengujian, <i>blending</i> batubara dan <i>sawdust</i>
2	Pengujian <i>co-firing</i> dengan persentase 5%
3	Pengujian 100% batubara
4	Evaluasi dan <i>Closing meeting</i>

Monitoring operasi dilakukan pada setting beban 295 MW Gross. Parameter utama atau *critical point* yang diamati, yaitu: *coal flow*, *total air flow*, *furnace exit gas temperature* (FEGT), *main steam temperature*, *main steam pressure*, *main steam flow*, *mill current*, *mill outlet temperature*.

Pengambilan data parameter operasi dilakukan selama 4 jam dengan interval pencatatan setiap 30 menit. Pencatatan dimulai setelah kondisi beban unit stabil.

## 4.3 PERHITUNGAN, ANALISA DATA DAN EVALUASI PENGUJIAN

### 4.3.1 Evaluasi Pengujian di PLTU Paiton 1-2

Untuk mendapatkan parameter *performance* dilakukan perhitungan *Specific Fuel Consumption* (SFC) menggunakan metode energi input – energi output dimana produksi energi listrik gross diambil dari pencatatan *totalizer counter* pada kWh meter dan konsumsi bahan bakar diambil dari data pencatatan *totalizer* pada semua *coal feeder* yang beroperasi. Analisa biaya produksi (komponen C) dilakukan dengan menggunakan data *performance* SFC pada beban maksimum (400 MW Gross) ditambahkan dengan harga bahan bakar baik batubara maupun *wood pellet/sawdust* yang digunakan pada pengujian *co-firing* di PLTU Paiton.

### 4.3.2 Evaluasi Pengujian di PLTU Paiton 9

Untuk mendapatkan parameter *performance* dilakukan perhitungan *Specific Fuel Consumption* (SFC) menggunakan metode energi input – energi output dimana produksi energi listrik gross diambil dari pencatatan *totalizer counter* pada kWh meter dan konsumsi bahan bakar diambil dari data pencatatan *totalizer* pada semua *coal feeder* yang beroperasi. Analisa biaya produksi (komponen C) dilakukan dengan menggunakan data *performance* SFC pada beban maksimum (635 MW Gross) ditambahkan dengan harga bahan bakar baik batubara maupun *sawdust* yang digunakan pada pengujian *co-firing* di PLTU Paiton 9.

### 4.3.3 Evaluasi Pengujian di PLTU Pacitan

Untuk mendapatkan parameter *performance* dilakukan perhitungan *Specific Fuel Consumption* (SFC) menggunakan metode energi input – energi output dimana produksi energi listrik gross diambil dari pencatatan *totalizer counter* pada kWh meter dan konsumsi bahan bakar diambil dari data pencatatan *totalizer* pada semua *coal feeder* yang beroperasi. Analisa biaya produksi (komponen C) dilakukan dengan menggunakan data *performance* SFC pada satu titik beban (295 MW Gross) ditambahkan dengan harga bahan bakar baik batubara maupun Serbuk Kayu yang digunakan pada pengujian *co-firing* di PLTU Pacitan.

#### 4.4 TEKNIK DAN EVALUASI EKONOMI

Ada beberapa metode co-firing biomassa yang dapat digunakan untuk sebuah proyek. Metode yang paling tepat adalah fungsi dari properti bahan bakar biomassa, teknologi boiler batubara, dan parameter spesifik lokasi seperti ruang yang tersedia untuk sistem co-firing dan dampaknya pada sistem kontrol kualitas udara hilir dan abu serta pemulihan produk sampingan lainnya.

Stoker dan boiler unggul terfluidisasi umumnya memerlukan modifikasi minimal untuk menerima biomassa, asalkan pada awalnya dirancang dengan beberapa fleksibilitas bahan bakar. Boiler siklon dan boiler *pulverized coal* (PC) membutuhkan ukuran partikel bahan bakar yang lebih kecil daripada penyala dan unggul terfluidisasi dan, oleh karena itu, mungkin memerlukan pemrosesan biomassa tambahan sebelum pembakaran. Ada dua pendekatan dasar untuk co-firing, yang pertama adalah mencampurkan bahan bakar dan memasukkannya bersama ke peralatan pemrosesan batu bara (misal crushers atau penghancur). Dalam boiler siklon, umumnya hingga 10 persen masukan panas batubara dapat diganti dengan bahan bakar biomassa. Persyaratan ukuran partikel bahan bakar yang lebih kecil dari boiler PC umumnya membatasi penggantian bahan bakar hingga mungkin tiga persen. Pendekatan lain adalah mengembangkan sistem pemrosesan biomassa terpisah, di mana persentase co-firing yang tinggi (10 persen dan lebih besar) dalam unit PC dapat dicapai, meskipun dengan biaya yang agak lebih tinggi.

Pada dasarnya, co-firing dilakukan jika dapat membuat pembangkit listrik lebih menarik secara ekonomi. Efektivitas ini dapat disebabkan oleh pertimbangan kebijakan dan deregulasi, pertimbangan lingkungan, atau pertimbangan pasokan bahan bakar. Jika tidak diatur, harus diakui bahwa co-firing dalam perekonomian saat ini menuntut penggunaan bahan bakar biomassa limbah memiliki biaya yang cukup rendah untuk memberikan harga bahan bakar yang kompetitif.

Satu perhatian penting yang berkaitan dengan co-firing biomassa adalah penanganan dan kapasitas penyimpanan. Karena nilai kalor biomassa umumnya sekitar setengah dari batubara, kepadatan partikel sekitar setengah dari batubara, dan massa jenis sekitar seperlima dari batubara, energi keseluruhan atau kepadatan bahan bakar yang dihasilkan kira-kira sepersepuluh dari batubara! Akibatnya, biomassa co-firing pada tingkat masukan panas 10% menghasilkan tingkat aliran batubara volumetrik dan biomassa dengan besaran yang sebanding.

### 4.4.1 Tantangan terkait Pembakaran Biomassa

Bahkan pada tingkat co-firing yang terbatas, pengelola plant dan operator telah menyuarakan banyak kekhawatiran tentang dampak negatif dari co-firing pada operasi plant. Ini termasuk yang berikut:

- Dampak negatif pada kapasitas plant.
- Dampak negatif terhadap kinerja boiler.
- Kontaminasi abu, yang berdampak pada kemampuan menjual abu batubara.
- Meningkatnya biaya operasi dan pemeliharaan.
- Potensi pengurangan NO<sub>x</sub> minimal (biasanya sebanding dengan masukan panas biomassa).
- Pengotoran / slag pada boiler karena kandungan alkali dalam biomassa yang tinggi. Hal ini terutama berkaitan dengan biomassa yang tumbuh cepat, seperti tanaman energi.
- Potensi dampak negatif pada peralatan kontrol polusi udara pengurangan katalitik selektif (SCR) (keracunan katalis).

Sebagian besar masalah ini dapat diatasi melalui desain sistem yang tepat, pemilihan bahan bakar, dan pembatasan tingkat co-firing.

### 4.4.2 Hambatan Pembakaran Biomassa

- Manajemen plant dan perusahaan serta staf operasi mungkin ragu-ragu untuk mengubah plant mereka. Personel plant biasanya berkomitmen untuk memaksimalkan efisiensi dan ketersediaan plant mereka dengan meningkatkan kinerja, teknologi, serta praktik operasi dan pemeliharaan dari waktu ke waktu.
- Keekonomian dari proyek co-firing biasanya sangat baik jika dibandingkan dengan biaya penambahan energi terbarukan lainnya ke portofolio pembangkit. Namun, tanpa motivasi peraturan, seperti kepatuhan terhadap mandat standar portofolio terbarukan (RPS), biaya bahan bakar biomassa umumnya tidak dapat bersaing dengan batubara.
- Co-firing dapat mempengaruhi kelayakan *fly ash* sebagai bahan campuran untuk industri semen.
- Infrastruktur pasokan bahan bakar biomassa belum matang di banyak negara, dan pemasok biomassa mungkin masih kesulitan dalam memenuhi standar pengadaan utilitas.

## 4.5 EVALUASI TEKNIS OPERASIONAL

1. Secara visual, teknik *mixing* bahan bakar batubara dan biomassa sebelum masuk silo dengan menggunakan proses manual alat berat di *coal yard* menunjukkan kedua jenis bahan bakar masih bisa tercampur dengan baik untuk semua jenis biomassa (*wood pellet & sawdust*)
2. Untuk menganalisa karakteristik bahan bakar perlu menggunakan data primer hasil uji laboratorium terhadap bahan bakar yang digunakan oleh *boiler* tersebut (campuran batubara dan biomassa). Berdasarkan hasil uji sampel tipikal *sawdust*, kandungan *sulphur* dan *ash* lebih rendah sedangkan *volatile matter* lebih tinggi dari sampel tipikal batubara.
3. Dari monitoring parameter operasional pada beban 400 MW *gross* di PLTU UP Paiton Unit 1 menunjukkan jika dibandingkan dengan operasi 100% batubara maka operasi *co-firing* 5 % *wood pellet & sawdust* mengalami perubahan parameter yaitu FEGT turun sebesar 45,9 °C untuk *wood pellet* dan 55,2°C untuk *sawdust*. Sedangkan total *coal flow* cenderung bertambah. Sehingga hasil kajian kelayakan operasional dari monitoring *visual mixing*, sample material *pyrite*, monitoring parameter operasional *coal mill*, monitoring FEGT boiler masih aman dan dalam batas normal.
4. Dari pengamatan visual, selama pengujian *co-firing* tidak ditemukan aglomerasi pada *bottom ash*, namun terdapat gumpalan berwarna putih.
5. Tiga parameter utama yang perlu diperhatikan untuk PC Boiler adalah: *fuel biomass analysis*, *biomass mixing & grinding* dan *combustion analysis* di Boiler. Pada *fuel biomass analysis*, beberapa parameter utama yakni: nilai kalor biomassa, kandungan total moisture, HGI, *volatile matter*, total sulfur content, Chlorine, dan AFT perlu diperhatikan dan dikomparasi dengan batubara ideal pada PC Boiler. Pada *biomass mixing & grinding*, beberapa parameter seperti proses pencampuran batubara dan biomassa, *biomass handling* dan kondisi *fineness* setelah melewati *coal mill/ grinding*, *Mill outlet temperature* perlu mendapat perhatian dari operator. Pada *combustion analysis* di Boiler, selain erat dengan data *fuel biomass analysis*, beberapa parameter yang perlu mendapat perhatian adalah pemantauan FEGT dan *flue gas analysis*. Secara umum pengujian di 3 PC Boiler (Paiton 1-2, Rembang dan Indramayu) masih dalam batas normal dan memenuhi standard parameter operasi.
6. Tiga parameter utama yang perlu diperhatikan untuk CFB Boiler adalah: *fuel biomass analysis*, *biomass mixing* dan *combustion analysis* di Boiler. Pada *fuel biomass analysis*, beberapa parameter utama yakni: nilai kalor biomassa, kandungan total moisture, *volatile matter*, total sulfur content, Chlorine, dan AFT perlu diperhatikan dan dikomparasi dengan batubara ideal pada CFB Boiler. Pada *biomass mixing*, beberapa parameter seperti proses

pencampuran batubara dan biomassa dan biomass *handling* perlu mendapat perhatian dari operator. Pada *combustion analysis* di Boiler, selain erat dengan data *fuel biomass analysis*, beberapa parameter yang perlu mendapat perhatian adalah pemantauan FEGT, potensi terjadinya aglomerasi, bed pressure & temperature, PAC, Seal Pot Temperature dan *flue gas analysis*. Secara umum pengujian di 5 CFB Boiler (Ketapang, Tenayan, Belitung, Anggrek dan Kaltim Teluk) masih dalam batas normal dan memenuhi standard parameter operasi.

7. Dari distribusi temperatur dan tekanan fluida, terjadi ketidakseimbangan temperatur dan tekanan di *furnace*, *cyclone* hingga *economizer* baik saat pengujian operasi 100% batubara dan saat pengujian *co-firing* 5%. Hal ini mengindikasikan terjadinya ketidakseimbangan pembakaran antar sisi, ketidakseimbangan aliran gas, terjadinya penyumbatan pada *nozzle* dan terjadinya *thermal stress*. Selain itu, temperatur di *cyclone* yang jauh lebih tinggi dari FEGT mengindikasikan terjadi *second combustion* di sisi *cyclone* yang berpotensi terbentuknya aglomerasi karena temperatur di *cyclone* mencapai di atas 950 °C.
8. Dari aspek *fuel analysis*, kandungan nilai sulfur biomassa lebih rendah dibandingkan dengan batubara, sehingga akan menghasilkan emisi pembakaran yang lebih rendah (ramah lingkungan). Kandungan sulfur pada tipikal Serbuk Kayu sangat rendah sebesar 0,07% dibandingkan tipikal batubara yang berkisar 0,11% untuk tipe *low rank coal* dan berkisar 0,63% untuk tipe *medium rank coal*, sehingga penambahan Serbuk Kayu pada pengujian co-firing Serbuk Kayu berpotensi menurunkan emisi Sox. Tipikal Serbuk Kayu juga mempunyai kandungan *ash* yang lebih rendah dibandingkan dengan tipikal batubara sehingga dapat mengurangi jumlah *ash* yang terbentuk/yang dihasilkan dari proses pembakaran di *boiler* baik pada *fly ash* maupun *bottom ash*.
9. Dari aspek *coal-biomass mixing*, teknik *mixing* bahan bakar batubara dan Serbuk Kayu sebelum masuk *coal feeder* dengan menggunakan proses manual alat berat di *coal yard* menunjukkan kedua jenis bahan bakar masih bisa tercampur dengan baik.
10. Dari aspek *Coal mill*, pada pengujian *co-firing* 5%, *mill current* rata-rata cenderung naik sekitar 2-4 Ampere dibandingkan kondisi operasi menggunakan 100% batubara. Kenaikan arus mill ini dikarenakan HGI *sawdust* yang jauh lebih rendah ketimbang HGI batubara, menyebabkan mill bekerja ekstra untung menghaluskan *sawdust*. Tren kenaikan *mill current* saat operasi *co-firing* masih dalam rentang batasan operasi untuk *coal mill* di PLTU Pacitan.
11. Dari monitoring parameter operasi, pada beban 295 MW gross di PLTU Pacitan Unit 2 saat operasi *co-firing* 5 % seperti: load, total coal biomass flow, MST, MSP dan MSF selama pengujian terpantau normal, tidak terdapat anomali, tidak jauh berbeda deviasinya dengan standar commissioning, dan masih memenuhi parameter desain. Pemantauan *coal flow* cenderung turun sehingga *specific fuel consumption* (SFC) turun dari 0,654 kg/kWh (pada saat operasi dengan 100% batubara), menjadi 0,618 kg/kWh (pada saat *co-firing* 5% Serbuk Kayu).

12. Dari pengamatan FEGT, rata-rata pada pengujian *co-firing* 5% cenderung lebih rendah sebesar  $10^{\circ}\text{C}$  dibandingkan dengan kondisi operasi menggunakan 100 % batubara. Kandungan *volatile matter* Serbuk Kayu yang lebih besar daripada batubara eksisting menyebabkan Serbuk Kayu lebih dahulu terbakar.
13. Dari aspek Smoke dan Carry Over, Secara visual selama pengujian *co-firing* 5% Serbuk Kayu di PLTU Pacitan tidak terlihat asap hitam pada *stack* sehingga menunjukkan tidak terjadi *black smoke* atau *carry over* pada gas buang
14. Untuk menganalisa karakteristik bahan bakar perlu menggunakan data primer hasil uji laboratorium terhadap bahan bakar yang digunakan oleh *boiler* tersebut (campuran batubara dan biomassa). Berdasar hasil uji sampel tipikal Serbuk Kayu kandungan *sulphur* dan *ash* lebih rendah sedangkan *volatile matter* lebih tinggi dari sampel tipikal batubara. Rasio 2S/Cl pada tipikal Serbuk Kayu menunjukkan risiko *Cl-induced active oxidation* major, sedangkan pada tipikal batubara PLTU Pacitan menunjukkan risiko *Cl-induced active oxidation* minor. dengan melakukan pendekatan proporsional, rasio 2S/Cl pada bahan bakar campuran batubara 95% Serbuk Kayu 5% menunjukkan risiko *Cl-induced active oxidation* minor.
15. Dari pengamatan visual, teknik *mixing* bahan bakar batubara dan Cangkang Kelapa Sawit sebelum masuk *coal feeder* dengan menggunakan proses manual alat berat di *coal yard* menunjukkan kedua jenis bahan bakar masih bisa tercampur dengan baik.
16. Untuk menganalisa karakteristik bahan bakar perlu menggunakan data primer hasil uji laboratorium terhadap bahan bakar yang digunakan oleh *boiler* tersebut (campuran batubara dan biomassa). Berdasar hasil uji sampel tipikal Cangkang Kelapa Sawit kandungan *sulphur* dan *ash* lebih rendah sedangkan *volatile matter* lebih tinggi dari sampel tipikal batubara. Rasio 2S/Cl pada tipikal Cangkang Kelapa Sawit tidak menunjukkan risiko *Cl-induced active oxidation* major maupun minor (berada diantaranya), sedangkan pada tipikal batubara PLTU Belitung menunjukkan risiko *Cl-induced active oxidation* minor. dengan melakukan pendekatan proporsional, rasio 2S/Cl pada bahan bakar campuran batubara 95% Cangkang Kelapa Sawit 5% menunjukkan risiko *Cl-induced active oxidation* minor.
17. Dari monitoring parameter operasional pada beban 12,5 MW gross di PLTU Belitung Unit 2 menunjukkan jika dibandingkan dengan operasi 100% batubara maka operasi *co-firing* 5 % mengalami perubahan parameter yaitu FEGT turun sebesar  $10^{\circ}\text{C}$ ; *bed temperature* cenderung stabil; dan *coal flow* turun sehingga perhitungan *specific fuel consumption* (SFC) turun hingga 0,008 kg/kWh. Perubahan parameter operasi yang diamati selama *co-firing* masih dalam rentang batasan manual desain *boiler*.
18. Dari pengamatan visual, selama pengujian *co-firing* tidak ditemukan aglomerasi pada *bottom ash*, namun terdapat gumpalan berwarna putih.

19. Dari monitoring parameter operasional pada beban 93 MW gross di PLTU Teluk Balikpapan Unit 2 menunjukkan jika dibandingkan dengan operasi 100% batubara maka operasi *co-firing* 5 % masih dalam batas normal dan tidak mengalami perubahan signifikan dari pengoperasian dengan full batubara.
20. Dari pengamatan visual, teknik *mixing* bahan bakar batubara dan woodchips kayu kedondong sebelum masuk *coal feeder* dengan menggunakan proses manual alat berat di *coal yard* menunjukkan kedua jenis bahan bakar masih bisa tercampur dengan baik.
21. Untuk menganalisa karakteristik bahan bakar perlu menggunakan data primer hasil uji laboratorium terhadap bahan bakar yang digunakan oleh *boiler* tersebut (campuran batubara dan biomassa). Berdasarkan hasil uji sampel tipikal woodchips kayu kedondong kandungan *sulphur* dan *ash* lebih rendah sedangkan *volatile matter* lebih tinggi dari sampel tipikal batubara.
22. Dari monitoring parameter operasional pada beban 16,5 MW gross di PLTU Bolok Unit 2 menunjukkan jika dibandingkan dengan operasi 100% batubara maka operasi *co-firing* 5 % mengalami perubahan parameter yaitu FEGT turun sebesar 1,3 °C; *bed temperature* turun hingga 9,5 °C; dan *coal flow* turun sehingga perhitungan *specific fuel consumption* (SFC) turun hingga 0,0815 kg/kWh. Perubahan parameter operasi yang diamati selama *co-firing* masih dalam rentang batasan manual desain *boiler*.

### 4.5.1 Pengamatan Coal Biomass *Mixing* di PLTU Pacitan

Pengujian *Co-firing* 5% Biomassa pada PLTU Batubara PC Pacitan unit #2 dilakukan pada tanggal 2 September 2020 menggunakan biomassa Serbuk Kayu. Melalui pengamatan visual seperti Gambar di bawah, hasil *mixing* batubara dan 5% Serbuk Kayu yang diambil sebelum masuk *coal crusher* menunjukkan kondisi Serbuk Kayu yang terlihat sudah bercampur dan tersamar dengan (warna) batubara.

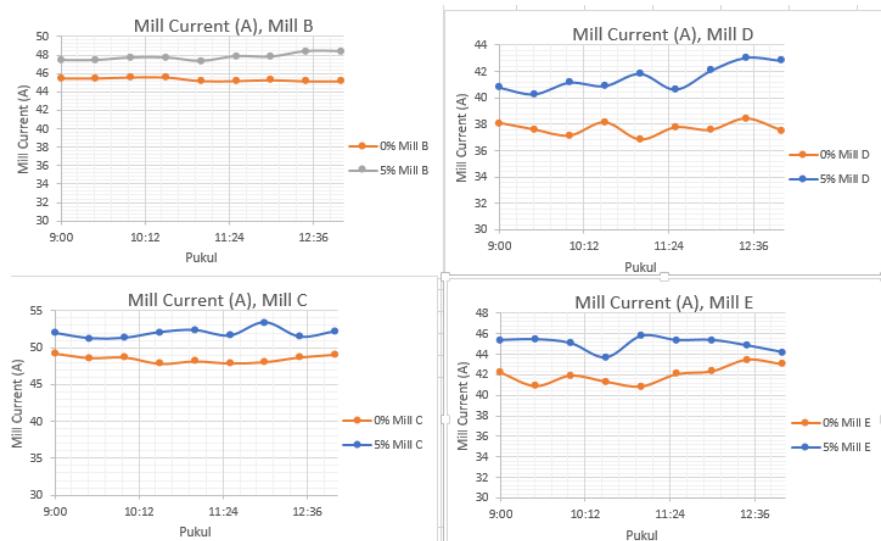


Gambar 71 Pengamatan Sampling Fuel 5% dari *Coal Feeder*

#### 4.5.2 Pengamatan Parameter Operasi *Coal mill* di PLTU Pacitan

Hasil monitoring pada *coal mill* untuk *critical point* seperti *mill current*, *mill outlet temperature* menunjukkan masih dalam batas aman, tidak terpaut jauh dari standar komisioning dan dari pengujian 100% batubara, namun terjadi kenaikan *current mill* di seluruh mill yang beroperasi. Kandungan *volatile matter* pada biomassa yang lebih tinggi dari batubara juga terpantau aman pada *mill outlet temperature*, yang tidak menunjukkan kenaikan signifikan, sehingga aman untuk operasi *coal mill*.

Apabila digrafikkan *mill current* adalah sebagaimana berikut:



Gambar 72 Grafik Pengamatan *Mill current*

Berdasarkan parameter *mill current* (sesuai gambar) dapat dianalisa sebagai berikut:

1. Pada pengujian *co-firing* 5%, *mill current* rata - rata cenderung naik sekitar 2-4 Ampere dibandingkan kondisi operasi menggunakan 100% batubara. Kenaikan arus mill ini dikarenakan HGI *sawdust* yang jauh lebih rendah ketimbang HGI batubara, menyebabkan mill bekerja ekstra untuk menghaluskan *sawdust*.
2. Tren kenaikan *mill current* saat operasi *co-firing* masih dalam rentang batasan operasi untuk *coal mill* di PLTU Pacitan.

#### 4.5.3 Pengamatan Parameter Operasi *Baseline* di PLTU Pacitan

Untuk perbandingan data secara aktual, dilakukanlah pengamatan parameter operasi pada kondisi tidak dilakukan uji *co-firing* atau pada kondisi unit operasi dengan 100% batubara. Data operasi ini akan digunakan sebagai *baseline* atau pembanding untuk data operasi *co-firing*. Kondisi operasi unit

yang diuji akan diperlakukan sama dan menggunakan jenis batubara yang sama baik untuk uji operasi 100% batubara maupun uji operasi *co-firing* 5%.

Pengamatan parameter operasi baseline dilakukan dengan pengambilan data operasi kondisi 100% Batubara pada PLTU Pacitan unit #2 tanggal 3 September 2020 menggunakan Batubara dari Arutmin dengan nilai kalor 4.212 kCal/kg. *Monitoring* parameter operasi dilakukan pada *setting* beban 295 MW. Parameter utama atau *critical point* yang diamati, yaitu: *coal flow, total air flow, furnace exit gas temperature (FEGT), main steam temperature, main steam pressure, main steam flow, mill current, mill outlet temperature*.

Hasil pengamatan data operasi pengujian menggunakan bahan bakar 100% batubara pada beban 295 MW (Tabel 5) menunjukkan parameter-parameter terpantau normal masih berada dalam rentang batasan pengoperasian normal sesuai yang tercantum dalam *manual book boiler* dan tidak terpaut jauh dari standar acuan parameter komisioning.

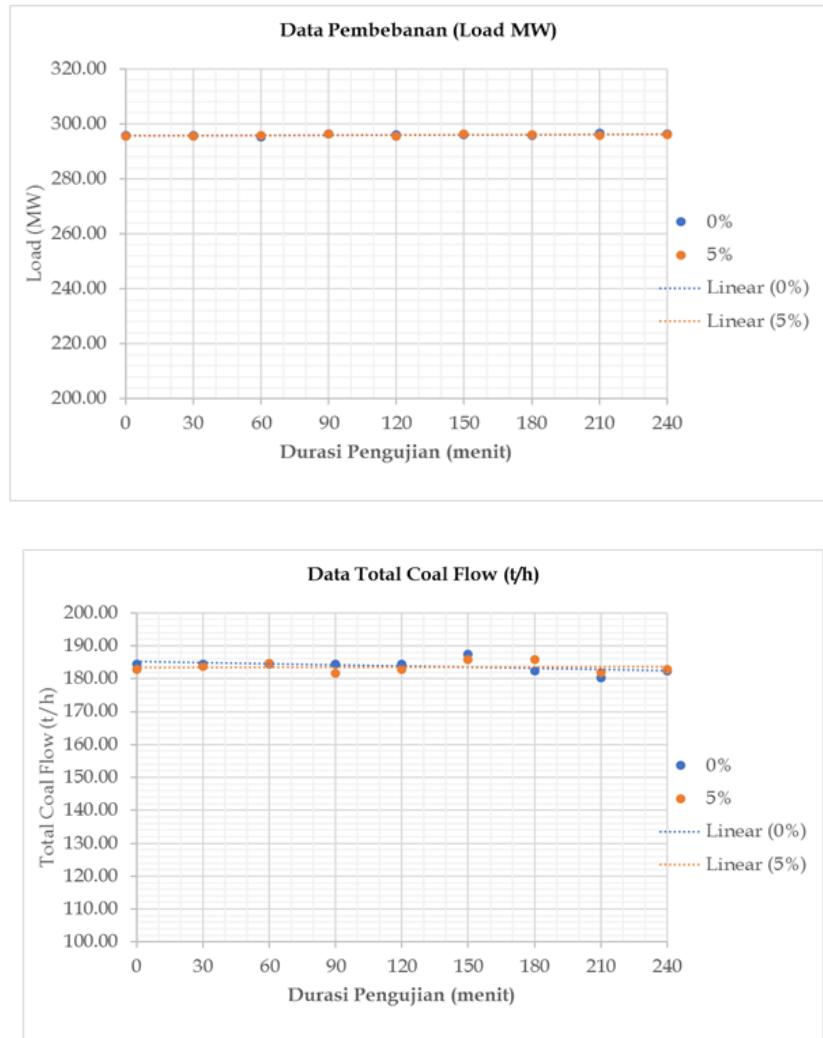
### 4.5.4 Pengamatan Parameter Operasi *Co-firing* di PLTU Pacitan

Pengamatan parameter operasi Co-firing dilakukan dengan pengambilan data operasi kondisi 95% Batubara – 5% Biomassa pada PLTU Pacitan unit #2 tanggal 2 September 2020 menggunakan Batubara dari Arutmin dengan nilai kalor 4.212 kCal/kg. *Monitoring* parameter operasi dilakukan pada *setting* beban 295 MW. Parameter utama atau *critical point* yang diamati, yaitu: *coal flow, total air flow, furnace exit gas temperature (FEGT), main steam temperature, main steam pressure, main steam flow, mill current, mill outlet temperature*.

Beberapa hasil pengamatan parameter operasi utama pada boiler, seperti load, total coal biomass flow, MST, MSP dan MSF selama pengujian terpantau normal tidak jauh berbeda deviasinya dengan standar commissioning dan tidak jauh berbeda deviasinya dengan hasil pengujian 100% batubara dan masih memenuhi parameter desain.

### 4.5.5 Pengamatan Load dan Total Coal Biomass Flow di PLTU Pacitan

Pengambilan data pengujian baik operasi 100% batubara maupun operasi *co-firing* 5% PLTU Pacitan unit #2 di-*setting* pada beban 295 MW. Parameter operasi lainnya mengikuti *setting* pada kisaran beban 295 MW tersebut. Beberapa parameter yang akan dievaluasi antara lain: *load* dan *total coal biomass flow*.



Gambar 73 Grafik Pengamatan Operasi (a) Load dan (b) Coal Flow

Keterangan: 0% mewakili uji operasi 100% batubara, 5% mewakili uji operasi *co-firing* 5%

Berdasarkan pengamatan parameter operasi *load* dan *total coal biomass flow* pada pengujian *co-firing* Serbuk Kayu hingga 5% pada beban yang relative sama (295 MW), dapat dianalisa sebagai berikut:

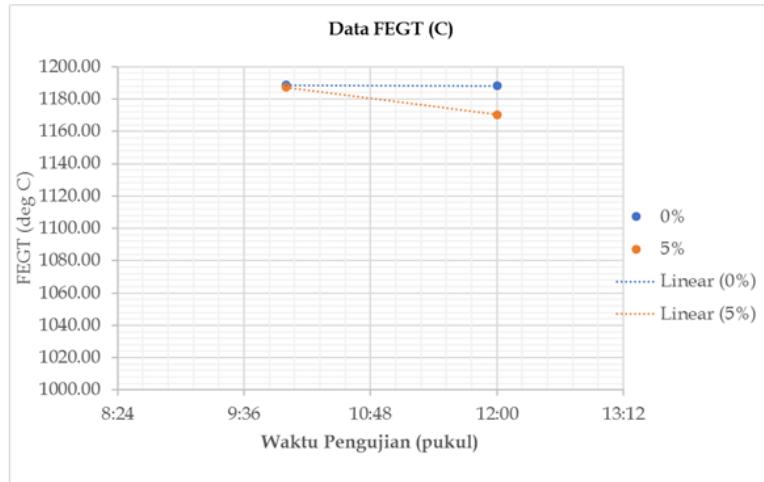
- *Total coal biomass flow* ketika operasi 100% batubara dan *co-firing* 5% Serbuk Kayu tidak terdapat perbedaan signifikan dengan rata – rata 183 Ton/jam.
- Berdasarkan perhitungan lebih detail pada *totalizer coal feeder* dan *totalizer counter kWhmeter*, terjadi penurunan *specific fuel consumption* (SFC) dari 0,654 kg/kWh (pada saat operasi dengan 100% batubara), menjadi 0,618 kg/kWh (pada saat *co-firing* 5% Serbuk Kayu)

### 4.5.6 Pengamatan FEGT di PLTU Pacitan

Pengamatan pada boiler FEGT saat 100% batubara dan 95%batubara – 5% biomassa adalah seperti ditunjukkan dalam grafik di bawah ini:



Gambar 74. Pengamatan FEGT pada Boiler



Gambar 75. Grafik Pengamatan Furnace Exit Gas Temperature

Berdasarkan parameter *Furnace Exit Gas Temperature* seperti gambar di atas dapat dianalisa sebagai berikut:

FEGT rata-rata pada pengujian *co-firing* 5% cenderung lebih rendah sebesar  $10^{\circ}\text{C}$  dibandingkan dengan kondisi operasi menggunakan 100 % batubara. Kandungan *volatile matter* Serbuk Kayu yang lebih besar daripada batubara eksisting menyebabkan Serbuk Kayu lebih dahulu terbakar.

#### 4.5.7 Pengamatan Smoke dan Carry Over di PLTU Pacitan

Karakteristik biomassa lebih mirip ke batubara bituminous dimana memiliki kepadatan tinggi, kekerasan lebih tinggi, volatile tinggi dan lebih ramah lingkungan dengan sulfur konten yang rendah. Apabila komposisi pembakarannya tepat, akan mengurangi bahkan tidak menghasilkan asap hitam / *black smoke*. Namun, ketika bahan bakar dalam *boiler* terbakar dalam temperatur tinggi mencapai 800 s.d. 1000 °C atau lebih tinggi dan terdapat komponen dalam bahan bakar biomassa tidak terbakar sempurna, atau kontrol pembakaran tidak baik, maka kita akan melihat asap hitam di *stack*.

Ketika partikel biomassa dinyalakan dan dibakar, partikel mengalami reaksi fisik dan kimia seperti karbonisasi. Ketika pembakaran sempurna akan menghasilkan campuran uap air, karbon dioksida, hidrokarbon dan nitrogen oksida. Namun, jika pembakaran tidak tepat, tidak ada proses penangkapan debu, kita akan melihat *black smoke* yang mengakibatkan banyak bahan bakar yang terbuang keluar *stack*, mengurangi efisiensi *thermal*, dan menghasilkan polutan.

Secara visual, selama pengujian *co-firing* 5% Serbuk Kayu di PLTU Pacitan tidak terlihat asap hitam pada *stack* sehingga menunjukkan tidak terjadi *black smoke* atau *carry over* pada gas buang (Gambar 76).



Gambar 76. Pengamatan Gas Buang Keluar Stack Tidak Terlihat Black Smoke dan Carry Over

### 4.5.8 Evaluasi Hasil Pengujian *Co-firing* di PLTU Pacitan

Secara umum kesimpulan dari evaluasi aspek teknis operasional di PLTU Pacitan adalah sebagaimana berikut:

1. Dari aspek *fuel analysis*, kandungan nilai sulfur biomassa lebih rendah dibandingkan dengan batubara, sehingga akan menghasilkan emisi pembakaran yang lebih rendah (ramah lingkungan). Kandungan sulfur pada tipikal Serbuk Kayu sangat rendah sebesar 0,07% dibandingkan tipikal batubara yang berkisar 0,11% untuk tipe *low rank coal* dan berkisar 0,63% untuk tipe *medium rank coal*, sehingga penambahan Serbuk Kayu pada pengujian co-firing Serbuk Kayu berpotensi menurunkan emisi Sox. Tipikal Serbuk Kayu juga mempunyai kandungan *ash* yang lebih rendah dibandingkan dengan tipikal batubara sehingga dapat mengurangi jumlah *ash* yang terbentuk/yang dihasilkan dari proses pembakaran di *boiler* baik pada *fly ash* maupun *bottom ash*.
2. Dari aspek coal-biomass *mixing*, teknik *mixing* bahan bakar batubara dan Serbuk Kayu sebelum masuk *coal feeder* dengan menggunakan proses manual alat berat di *coal yard* menunjukkan kedua jenis bahan bakar masih bisa tercampur dengan baik.
3. Dari aspek *Coal mill*, pada pengujian *co-firing* 5%, *mill current* rata - rata cenderung naik sekitar 2-4 Ampere dibandingkan kondisi operasi menggunakan 100% batubara. Kenaikan arus mill ini dikarenakan HGI *sawdust* yang jauh lebih rendah ketimbang HGI batubara, menyebabkan mill bekerja ekstra untung menghaluskan *sawdust*. Tren kenaikan *mill current* saat operasi *co-firing* masih dalam rentang batasan operasi untuk *coal mill* di PLTU Pacitan.
4. Dari monitoring parameter operasi, pada beban 295 MW gross di PLTU Pacitan Unit 2 saat operasi *co-firing* 5 % seperti: load, total coal biomass flow, MST, MSP dan MSF selama pengujian terpantau normal, tidak terdapat anomali, tidak jauh berbeda deviasinya dengan standar commissioning, dan masih memenuhi parameter desain. Pemantauan *coal flow* cenderung turun sehingga *specific fuel consumption* (SFC) turun dari 0,654 kg/kWh (pada saat operasi dengan 100% batubara), menjadi 0,618 kg/kWh (pada saat *co-firing* 5% Serbuk Kayu).
5. Dari pengamatan FEGT, rata-rata pada pengujian *co-firing* 5% cenderung lebih rendah sebesar 10°C dibandingkan dengan kondisi operasi menggunakan 100 % batubara. Kandungan *volatile matter* Serbuk Kayu yang lebih besar daripada batubara eksisting menyebabkan Serbuk Kayu lebih dahulu terbakar.
6. Dari aspek *Smoke* dan *Carry Over*, Secara visual selama pengujian *co-firing* 5% Serbuk Kayu di PLTU Pacitan tidak terlihat asap hitam pada *stack* sehingga menunjukkan tidak terjadi *black smoke* atau *carry over* pada gas buang

## 4.6 SIMULASI CFD UNTUK CO-FIRING

Untuk mendapatkan kajian yang komprehensif, disamping melakukan pengujian *co-firing* sampai dengan persentase 5% serbuk kayu untuk implementasi di PLTU Paiton 1-2, 5% cangkang sawit di PLTU Ketapang, dan 5% cangkang sawit di PLTU Tenayan, juga dilakukan pemodelan simulasi CFD.

Simulasi dengan menggunakan metode CFD merupakan salah satu alat yang efektif untuk menghitung aliran fluida, perpindahan panas dan massa, reaksi kimia, dan padatan dan interaksi material. Pemodelan *co-firing* 5% biomassa dengan CFD juga menghemat waktu dan biaya sebelum dilakukan pengujian melalui eksperimen, aman dan mudah untuk ditingkatkan.

## 4.7 EVALUASI BIAYA PRODUKSI

1. Berdasarkan perhitungan menggunakan nilai selisih SFC 0,0719 kg/kWh, harga batubara 700 Rp/kg dan harga kayu lamtoro 350 Rp/kg, pengoperasian PLTU Anggrek menggunakan metode *co-firing* 5% kayu lamtoro pada beban 25 MW gross, menghemat biaya energi primer sebesar **66,24 Rp/kWh**. Apabila menggunakan asumsi CF = 80% atau dengan produksi listrik 294 GWh/th, diperoleh penghematan biaya bahan bakar hingga 15,5 miliar Rp/th. Penghematan secara linier akan bertambah dengan peningkatan persentase *co-firing*
2. Dengan menggunakan data nilai kalor bb 4552 kcal/kg dan nilai kalor biomassa *sawdust* 3700 kcal/kg, dengan baseline BPP 0% biomassa sebesar 546.80 Rp/kWh, maka 5% *wood pellet* menaikkan BPP menjadi 568,87 Rp/kWh (bertambah 21.78 Rp/kWh) dan 5% *sawdust* akan menurunkan BPP menjadi 542.87 Rp/kWh (berkurang 3.93 Rp/kWh). Sehingga Co-firing dengan *sawdust* disimpulkan layak secara finansial
3. Hasil kajian kelayakan finansial untuk 1 tahun operasi (5421 GWh), implementasi Co-firing 5% dengan *sawdust* di UP Paiton 1-2 berpotensi *saving* sebesar 21,33 miliar rupiah tanpa CAPEX yang signifikan
4. Berdasarkan perhitungan menggunakan nilai selisih SFC 0,008 kg/kWh, harga batubara 730 Rp/kg dan harga Cangkang Kelapa Sawit 680 Rp/kg, pengoperasian PLTU Belitung menggunakan metode *co-firing* 5% Cangkang Kelapa Sawit pada beban 12,5 MW gross, menghemat biaya energi primer sebesar **8,56 Rp/kWh**. Apabila menggunakan asumsi CF = 80% atau dengan produksi listrik 175.200.000 kWh/th, diperoleh penghematan biaya bahan bakar hingga 1,5 miliar Rp/th. Penghematan secara linier akan bertambah dengan peningkatan persentase *co-firing*.
5. Dengan menggunakan data harga batubara 678,52 Rp/kg, pada pengujian operasi 100% batubara mendapatkan SFC 0,732 kg/kWh dan harga Biaya produksi 496,61 Rp/kWh.

## Bab IV Pengujian dan Evaluasi atas Co-Firing

6. Dengan menggunakan data harga biomassa 849,94 Rp/kg dan data harga batubara 678,52 Rp/kg, pada pengujian co-firing 5% biomassa mendapatkan SFC 0,701 kg/kWh dan harga Biaya produksi 481,34 Rp/kWh.
7. Berdasarkan selisih biaya produksi (komponen C), co-firing 5% Biomassa menghemat biaya energi primer sebesar 15,27 Rp/kWh. Apabila menggunakan asumsi CF = 80% atau dengan produksi listrik 1261 GWh/th, diperoleh penghematan biaya bahan bakar hingga 15,4 miliar Rp/th. Penghematan secara linier akan bertambah dengan peningkatan persentase co-firing.
8. Berdasarkan perhitungan menggunakan nilai selisih SFC 0,0815 kg/kWh, harga batubara 760 Rp/kg dan harga woodchips kayu kedondong 450 Rp/kg, pengoperasian PLTU Bolok menggunakan metode *co-firing* 5% woodchips kayu kedondong pada beban 16,5 MW gross, menghemat biaya energi primer sebesar 74,19 **Rp/kWh**. Apabila menggunakan asumsi CF = 80% atau dengan produksi listrik 210.240.000 kWh/th, diperoleh penghematan biaya bahan bakar hingga 15,6 miliar Rp/th. Penghematan secara linier akan bertambah dengan peningkatan persentase *co-firing*

### 4.7.1 Perhitungan BPP Co-firing Biomass di PLTU Paiton 1-2

Tabel 19. Kelayakan Finansial: BPP

Item	Satuan	0% Biomass	1% Wood Pellet	3% Wood Pellet	5% Wood Pellet	5% Sawdust
Produksi Listrik	kWh	5.421.327.970,00	5.421.327.970,00	5.421.327.970,00	5.421.327.970,00	5.421.327.970,00
Nilai Kalor Batubara	kCal/kg	4.552,42	4.552,42	4.552,42	4.552,42	4.552,42
Nilai Kalor Biomass	kCal/kg	0,00	4.449,00	4.449,00	4.449,00	3.700,00
NPHR	kCal/kWh	2.802,80	2.802,75	2.802,80	2.802,80	2.802,80
Biaya Bahan Bakar						
Harga Batubara	Rp/kg	709,47	709,47	709,47	709,47	709,47
Harga Biomass	Rp/kg	0,00	1.400,00	1.400,00	1.400,00	450,00
Kalor Dibutuhkan	kCal	15.194.898.034.316	15.194.626.967.918	15.194.898.034.316	15.194.898.034.316	15.194.898.034.316
Kg Batubara	kg BB	3.337.762.780	3.305.077.038	3.239.837.936	3.174.480.468	3.200.841.796
Kg Biomassa	kg Bio	0	33.384.617	100.201.173	167.077.919	168.465.358
Kalor Batubara	kCal BB	15.194.898.034.316	15.046.098.808.911	14.749.103.014.465	14.451.568.371.099	14.571.576.210.805
Kalor Biomassa	kCal Bio	0	148.528.159.007	445.795.019.851	743.329.663.217	623.321.823.511
Biaya Batubara	Rp BB	2.368.048.590.337	2.344.858.977.931	2.298.573.674.089	2.252.204.393.347	2.270.907.012.805
Biaya Biomassa	Rp Bio	0	46.738.463.162	140.281.642.569	233.909.087.099	75.809.410.968
kWh Batubara	kWh BB	5.421.327.970,00	5.368.334.246,33	5.262.274.516,36	5.156.118.299,95	5.198.935.425,58
kWh Biomassa	kWh Bio		52.993.723,67	159.053.453,64	265.209.670,05	222.392.544,42
Total Biaya Bahan Bakar	Rp	2.368.048.590.337	2.391.597.441.093	2.438.855.316.658	2.486.113.480.446	2.346.716.423.773
Komponen C	Rp/kWh	436,80	441,15	449,86	458,58	432,87
Komponen ABD	Rp/kWh	110,00	110,00	110,00	110,00	110,00
BPP	Rp/kWh	<b>546,80</b>	<b>551,15</b>	<b>559,86</b>	<b>568,58</b>	<b>542,87</b>
Deviasi (BPP)	Rp/kWh	0,00	4,34	13,06	21,78	-3,93

Berdasarkan Tabel 19 dari sisi BPP untuk Co-firing 5% PLTU Paiton 1-2 dengan *Wood pellet* dan *sawdust* didapatkan hasil sebagaimana berikut:

1. Dengan menggunakan data nilai kalor bb 4552 kcal/kg dan nilai kalor biomassa *wood pellet* 4449 kcal/kg, untuk simulasi selama 1 tahun operasi (5421 GWh), BBP 0% biomassa sebesar 546.80

## Bab IV Pengujian dan Evaluasi atas Co-Firing

- Rp/kWh, maka 1% *Wood pellet* akan menambah BPP menjadi 551.15 Rp/kWh (bertambah 4.34 Rp/kWh)
2. Dengan asumsi seperti point 1, maka 3% *Wood pellet* akan menambah BPP menjadi 559.86 Rp/kWh (bertambah 13.06 Rp/kWh)
  3. Dengan asumsi seperti point 1, maka 5% *Wood pellet* akan menambah BPP menjadi 568.58 Rp/kWh (bertambah 21.78 Rp/kWh)
  4. Sehingga bertambahnya prosentasi co-firing, linier dengan pertambahan BPP dan Co-firing dengan *Wood pellet* tidak layak secara finansial, kecuali terdapat feed in tarif yang mendukung
  5. Dengan menggunakan data nilai kalor bb 4552 kcal/kg dan nilai kalor biomassa *sawdust* 3700 kcal/kg, untuk simulasi selama 1 tahun operasi (5421 GWh), BBP 0% sebesar 546.80 Rp/kWh, maka 5% *sawdust* akan menurunkan BPP menjadi 542.87 Rp/kWh (berkurang 3.93 Rp/kWh). Sehingga Co-firing dengan *sawdust* disimpulkan layak secara finansial

Tabel 20. Penambahan/ Penghematan Biaya Bahan Bakar pada Pola Operasi Co-firing Biomass

Item	Satuan	0% Biomass	5% Wood Pellet	5% Sawdust	Keterangan
Produksi Listrik	kWh	5.421.327.970,00	5.421.327.970,00	5.421.327.970,00	0% Berdasarkan LM 2018 Audited
Nilai Kalor Batubara	kCal/kg	4.552,42	4.552,42	4.552,42	
Nilai Kalor Biomass	kCal/kg	0,00	4.449,00	3.700,00	
NPHR	kCal/kWh	2.802,80	2.802,80	2.802,80	
Biaya Bahan Bakar					
Harga Batubara	Rp/kg	709,47	709,47	709,47	
Harga Biomass	Rp/kg	0,00	1.400,00	450,00	
Biaya Batubara	Rp BB	2.368.048.590.337	2.252.204.393.347	2.270.907.012.805	
Biaya Biomassa	Rp Bio	0	233.909.087.099	75.809.410.968	
Total Biaya Bahan Bakar	Rp	2.368.048.590.337	2.486.113.480.446	2.346.716.423.773	0% Berdasarkan LM 2018 Audited
Komponen C	Rp/kWh	436,80	458,58	432,87	0% Berdasarkan LM 2018 Audited
Komponen ABD	Rp/kWh	110,00	110,00	110,00	0% Berdasarkan LM 2018 Audited
BPP	Rp/kWh	<b>546,80</b>	<b>568,58</b>	<b>542,87</b>	0% Berdasarkan LM 2018 Audited
Deviasi (BPP)	Rp/kWh	0,00	21,78	-3,93	
Deviasi (Biaya Bahan Bakar)	Miliar Rp	0,00	118,06	-21,33	

Berdasarkan Tabel 20 dari sisi biaya bahan bakar (Komponen C) untuk Co-firing 5% PLTU Paiton 1-2 dengan *Wood pellet* dan *sawdust* didapatkan hasil sebagaimana berikut:

1. Dengan menggunakan data nilai kalor bb 4552 kcal/kg dan nilai kalor biomassa *wood pellet* 4449 kcal/kg, untuk simulasi selama 1 tahun operasi (5421 GWh), 5% *Wood pellet* akan menambah biaya bahan bakar dari 2.368,05 Miliar menjadi 2.486,11 Miliar (bertambah 118,06 Miliar). Sehingga Co-firing dengan *wood pellet* tidak layak secara finansial, kecuali terdapat feed in tarif yang mendukung.
2. Dengan menggunakan data nilai kalor bb 4552 kcal/kg dan nilai kalor biomassa *sawdust* 3700 kcal/kg, untuk simulasi selama 1 tahun operasi (5421 GWh), 5% *Sawdust* akan mengurangi biaya bahan bakar dari 2.368,05 Miliar menjadi 2.346,71 Miliar (*saving* 21,33 Miliar). Sehingga Co-firing dengan *sawdust* dikatakan layak secara finansial dan berpotensi menghemat biaya bahan bakar.

3. Untuk 1 tahun operasi (5421 GWh), implementasi Co-firing 5% *Sawdust* UP Paiton 1-2 berpotensi *saving* biaya bahan bakar sebesar 21,33 Miliar rupiah tanpa CAPEX yang significant.

#### 4.7.2 Evaluasi Biaya Produksi di PLTU Paiton 9

Untuk mengetahui pengaruh *co-firing* 5% biomassa *sawdust* pada biaya produksi (komponen C), dilakukan perbandingan *Specific Fuel Consumption* (SFC) dan biaya produksi pada saat menggunakan batubara dan saat uji *co-firing* 5% *sawdust*.

*Specific Fuel Consumption* (SFC) didapat dengan rumus:

$$SFC = \frac{\text{total fuel}}{\text{kWh terbangkit}}$$

Dimana:

SFC	: Specific Fuel Consumption	[kg/kWh]
Total fuel	: Total Konsumsi Bahan Bakar	[kg]
kWh terbangkit	: Total energi listrik yang dihasilkan [kWh]	

Sementara Biaya Produksi (komponen C) diperoleh dengan rumus:

$$\text{Biaya Produksi} = \text{Harga BB} \times \text{SFC}$$

Dimana:

Biaya Produksi	: Biaya Komponen C Pembangkit	[Rp/kWh]
Harga BB	: Harga Bahan Bakar	[Rp/kg]
SFC	: Specific Fuel Consumption	[kg/kWh]

Perhitungan perbandingan SFC dilakukan pada beban 635 MW Gross pada dua skenario bahan bakar yaitu kondisi eksisting menggunakan 100% batubara dan kondisi *co-firing* 5% *Sawdust* seperti ditunjukkan pada Tabel 21.

Tabel 21 Hasil Perhitungan SFC Kondisi Operasi Menggunakan 100% Batubara dan Co-firing 5% *Sawdust*

No	Parameter	Satuan	Skenario Co-firing	
			0%	5%
1	Setting Beban Gross	MW	637	637
2	Energi Listrik Gross	kWh	2.420.293	2.430.410
3	Energi Listrik Netto	kWh	-	-
4	Konsumsi Bahan Bakar CF 2A	kg	311.953	308.858
5	Konsumsi Bahan Bakar CF 2B	kg	311.719	308.558
6	Konsumsi Bahan Bakar CF 2C	kg	313.771	310.575
7	Konsumsi Bahan Bakar CF 2D	kg	305.301	305.708
8	Konsumsi Bahan Bakar CF 2E	kg	-	-

No	Parameter	Satuan	Skenario Co-firing	
			0%	5%
9	Konsumsi Bahan Bakar CF 2F	kg	297.906	294.879
10	Total Konsumsi Bahan Bakar	kg	1.540.650	1.528.579
11	<i>Specific Fuel Consumption (SFC)</i>	kg/kWh	0,6366	0,6289

Biaya Produksi (komponen C) pada saat menggunakan 100% Batubara:

$$= \text{harga Batubara} \times SFC \ 100\% \ BB$$

$$= \text{Rp } 594,234 / \text{kg} \times 0,6366 \text{ kg/kWh} = \text{Rp } 378,26 / \text{kWh}$$

Biaya Produksi (komponen C) pada saat *co-firing* 5%:

$$= \text{harga (5\% PKS + 95\% BB)} \times SFC \ cofiring \ 5\%$$

$$= \{(0,05 \times \text{Rp } 472,00 + 0,95 \times \text{Rp } 594,234)\} \times 0,6289 \text{ kg/kWh} = \text{Rp } 369,89 / \text{kWh}$$

Sehingga, selisih biaya produksi saat *co-firing* 5% *sawdust* terhadap kondisi menggunakan 100% Batubara adalah sebesar:

$$= \text{Rp } 378,26 / \text{kWh} - \text{Rp } 369,89 / \text{kWh} = \textbf{Rp } 8,37 / \text{kWh}$$

Berdasarkan hasil perhitungan biaya produksi di atas, untuk *Co-firing* 5% *sawdust* pada beban 635 MW Gross di PLTU Paiton 9 dapat dianalisa sebagai berikut:

1. Dengan menggunakan data harga batubara 594,234 Rp/kg, pada pengujian operasi 100% batubara mendapatkan SFC 0,6366 kg/kWh dan harga biaya produksi 378,26 Rp/kWh.
2. Dengan menggunakan data harga *sawdust* 472 Rp/kg dan data harga batubara 594,234 Rp/kg, pada pengujian *co-firing* 5% *sawdust* mendapatkan SFC 0,6289 kg/kWh dan harga Biaya produksi 369,89 Rp/kWh.
3. Berdasarkan selisih biaya produksi (komponen C), *co-firing* 5% *Sawdust* menghemat biaya energi primer sebesar 8,37 Rp/kWh. Apabila menggunakan asumsi CF = 80% atau dengan produksi listrik 4.415.040.000 kWh diperoleh penghematan biaya bahan bakar hingga 36,95 miliar Rp/th. Penghematan secara linier akan bertambah dengan peningkatan persentase *co-firing*.

#### 4.7.3 Evaluasi Biaya Produksi di PLTU Pacitan

Untuk mengetahui pengaruh *co-firing* 5% biomassa Serbuk Kayu pada biaya produksi (komponen C), dilakukan perbandingan *Specific Fuel Consumption* (SFC) dan biaya produksi pada saat menggunakan batubara dan saat uji *co-firing* 5% Serbuk Kayu.

*Specific Fuel Consumption* (SFC) didapat dengan rumus:

$$SFC = \frac{\text{total fuel}}{\text{kWh terbangkit}}$$

Dimana:

SFC	: Specific Fuel Consumption	[kg/kWh]
Total fuel	: Total Konsumsi Bahan Bakar	[kg]
kWh terbangkit	: Total energi listrik yang dihasilkan [kWh]	

Sementara Biaya Produksi (komponen C) diperoleh dengan rumus:

$$\text{Biaya Produksi} = \text{Harga BB} \times SFC$$

Dimana:

Biaya Produksi	: Biaya Komponen C Pembangkit	[Rp/kWh]
Harga BB	: Harga Bahan Bakar	[Rp/kg]
SFC	: Specific Fuel Consumption	[kg/kWh]

Perhitungan perbandingan SFC dilakukan pada beban 295 MW Gross pada dua skenario bahan bakar yaitu kondisi eksisting menggunakan 100% batubara dan kondisi *co-firing* 5% Serbuk Kayu seperti ditunjukkan pada Tabel 22.

Tabel 22 Perhitungan SFC Kondisi Operasi 100% Batubara dan Co-firing 5% Serbuk Kayu

No	Parameter	Satuan	Skenario Co-firing	
			0% SD	5% SD
1	Setting Beban Gross	MW	295	295
2	Energi Listrik Gross	kWh	1,121,792	1,188,500
3	Energi Listrik Netto	kWh	1,057,920	1,121,790
4	Konsumsi Bahan Bakar CF 2A	kg	-	-
5	Konsumsi Bahan Bakar CF 2B	kg	183,040	182,980
6	Konsumsi Bahan Bakar CF 2C	kg	183,540	183,480
7	Konsumsi Bahan Bakar CF 2D	kg	183,130	183,620
8	Konsumsi Bahan Bakar CF 2E	kg	183,995	184,507
9	Total Konsumsi Bahan Bakar	kg	733,705	734,587
10	<i>Specific Fuel Consumption</i> (SFC)	kg/kWh	0.654	0.618
11	NK batubara	kCal/kg	4,250	4,250

No	Parameter	Satuan	Skenario Co-firing	
			0% SD	5% SD
12	NK Biomassa	kCal/kg		2,800
13	NPHR	kCal/kWh	2,948	2,736

Biaya Produksi (komponen C) pada saat menggunakan 100% Batubara:

$$= \text{harga batubara} \times \text{SFC 100\% batubara}$$

$$= \text{Rp } 687/\text{kg} \times 0,654 \text{ kg/kWh} = \text{Rp } 449,33/\text{kWh}$$

Biaya Produksi (komponen C) pada saat *co-firing* 5%:

$$= \text{harga (5\% sawdust + 95\% batubara)} \times \text{SFC co-firing 5\%}$$

$$= \{(0,05 \times \text{Rp } 575 + 0,95 \times \text{Rp } 687)\} \times 0,618 / \text{kWh} = \text{Rp } 421,16/\text{kWh}$$

Sehingga, selisih biaya produksi saat *co-firing* 5% Serbuk Kayu terhadap kondisi menggunakan 100% Batubara adalah sebesar:

$$= \text{Rp } 449,33/\text{kWh} - \text{Rp } 421,16 / \text{kWh} = \textbf{Rp } 28,17 / \text{kWh}$$

Berdasarkan hasil perhitungan biaya produksi di atas, untuk *Co-firing* 5% Serbuk Kayu pada beban 295 MW Gross di PLTU Pacitan dapat dianalisa sebagai berikut:

1. Dengan menggunakan data harga batubara 687 Rp/kg, pada pengujian operasi 100% batubara mendapatkan SFC 0,654 kg/kWh dan harga Biaya produksi 449,33 Rp/kWh.
2. Dengan menggunakan data harga serbuk kayu 575 Rp/kg dan data harga batubara 687 Rp/kg, pada pengujian co-firing 5% Serbuk Kayu mendapatkan SFC 0,618 kg/kWh dan harga Biaya produksi 623,68 Rp/kWh.
3. Berdasarkan selisih biaya produksi (komponen C), *co-firing* 5% Serbuk Kayu menghemat biaya energi primer sebesar 28,17 Rp/kWh. Apabila menggunakan asumsi CF = 80% atau dengan produksi listrik 3.924 GWh/th, diperoleh penghematan biaya bahan bakar hingga 110,56 miliar Rp/th. Penghematan secara linier akan bertambah dengan peningkatan persentase *co-firing*.

## 4.8 ACUAN BERDASARKAN LESSON LEARNED

Pada bagian ini diulas acuan Lesson Learned berdasarkan hasil Pengujian dan Pengamatan *Wood pellet* dan *Sawdust* di PLTU Paiton 1-2 dan Paiton 9

### 4.8.1 Hasil Pengujian Co-firing 1% *Wood Pellet*



Gambar 77. Coal Biomass Mixing di Coal Yard

#### Visual Mixing Batubara dan 1% Wood Pellet

Pengujian 1% biomassa *wood pellet* di PLTU Batubara Paiton Unit 2 di-*feeding coal feeder* 2C hingga masuk dalam *coal mill* 2C. Pengujian 1% yang dimaksud di sini adalah jumlah biomass flow sama dengan 1% dari total *fuel flow* di 1 mill 2C.



Gambar 78. Pengujian 1%: (a) sebelum *coal mill*, (b) setelah *coal mill*

Secara *visual mixing* batubara dan 1% *wood pellet* sebelum masuk *coal mill* menunjukkan kondisi pellet yang terlihat sudah tidak utuh lagi setelah melalui proses *handling* sejak di ujung *mixing* dengan menggunakan alat berat di *coal yard*, melewati hooper, jalur conveyor, *feeder* hingga sebelum masuk ke *coal mill*. Setelah *digrinding* di dalam *coal mill*, *mixing* 1% *wood pellet* bisa halus.

### Material Pyrite Pengujian 1% Wood Pellet



Gambar 79. Pengujian 1%: Material Pyrite

Tipikal *wood pellet*, termasuk *wood pellet* yang digunakan untuk pengujian ini memiliki nilai HGI yang lebih rendah hingga separuh dari HGI batubara, nilai HGI *wood pellet* <32, sedangkan batubara di kisaran > 45. Hal ini mengisyaratkan keuletan *wood pellet* yang akan lebih sulit untuk *digrinding* dan berpotensi meningkatkan ampera *coal mill* maupun *reject pyrite*.

Dari pengambilan sampel material *pyrite* didapatkan data sebagaimana berikut: untuk sampel 1 pada 10.33 kg *pyrite* terdapat 27.8 gr *pellet* (0,26%), sedang sampel 2 pada 11.95 kg *pyrite* terdapat 23.36 gr *pellet* (0.19%). Hal ini menunjukkan 1% *wood pellet* bisa tergerinda dengan baik di dalam *coal mill* dan mengalir selanjutnya menuju *coal pipe* dan *coal burner*.

Hasil monitoring pada *coal mill C* untuk *point critical point* seperti arus *coal mill*, *bowl pressure*, *mill outlet temperature* menunjukkan masih dalam batas aman. Lebih spesifik lagi, peningkatan arus *coal mill*, *bowl pressure* lebih dikarenakan terdapat peningkatan bebatuan ikutan di dalam batubara, sehingga material *pyrite* juga menunjukkan kecenderungan meningkat.

#### 4.8.2 Pengujian Co-firing 3% Wood pellet di PLTU Paiton 1-2



Gambar 80. Pengujian 3%: (a) Sebelum *Coal Mill*, (B) Setelah *Coal Mill*

##### **Visual mixing batubara dan 3% wood pellet**

Secara *visual mixing* batubara dan 3% *wood pellet* sebelum masuk *coal mill* menunjukkan kondisi *pellet* yang terlihat sudah tidak utuh lagi setelah melalui proses *handling* sejak di ujung *mixing* dengan menggunakan alat berat *di coal yard*, melewati *hooper*, jalur *conveyor*, *feeder* hingga sebelum masuk ke *coal mill*, seperti halnya pengujian 1%.

Setelah *digrinding* di dalam *coal mill*, *mixing* 3% *wood pellet* juga masih bisa tercampur dengan baik dengan batubara halus.

Pengujian 3% biomassa *wood pellet* di Unit 1 difeeding *coal feeder* 1E hingga masuk dalam *coal mill* 1E. Pengujian 3% yang dimaksud di sini adalah jumlah biomass flow sama dengan 3% dari total fuel flow di mill 1E.

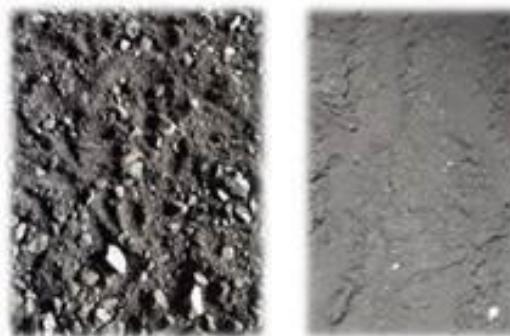
Tipikal *wood pellet*, termasuk *wood pellet* yang digunakan untuk pengujian ini memiliki nilai HGI yang lebih rendah hingga separuh dari HGI batubara. Hal ini mengisyaratkan keuletan *wood pellet* yang akan lebih sulit untuk *digrinding* dan berpotensi meningkatkan amper *coal mill* maupun *reject pyrite*. dari pengambilan sampel material *pyrite* didapatkan data sebagaimana berikut: untuk sampel 1 pada 1.29 kg *pyrite* terdapat 0.41 gr *pellet* (0.031%), sedang sampel 2 pada 0.88 kg *pyrite* terdapat 0.09 gr *pellet* (0.010%). Hal ini menunjukkan 3% *wood pellet* bisa tergerinda dengan baik di dalam *coal mill* dan mengalir selanjutnya menuju *coal pipe* dan *coal burner*. Sehingga meskipun *wood pellet* memiliki HGI separuh dari batubara eksisting yang berpotensi tidak tergerinda sempurna, untuk kasus campuran hingga 3% biomassa masih aman bagi *coal mill*.

Hasil monitoring pada *coal mill* E untuk *critical point* seperti arus *coal mill*, *bowl pressure*, *mill outlet temperature* menunjukkan masih dalam batas aman. Lebih spesifik lagi, peningkatan arus *coal mill* sekitar 5.3 Ampere, penurunan *bowl pressure* 4.82 mmWC, peningkatan *mill outlet temperature* sekitar 1° C masih dalam batas aman. Kandungan *volatile matter* pada biomassa yang lebih tinggi dari batubara juga terpantau aman pada *mill*

*outlet temperature*, yang tidak menunjukkan kenaikan signifikan, sehingga aman untuk operasi *coal mill*.

### 4.8.3 Pengujian Co-firing 5% Wood pellet di PLTU Paiton 1-2

Pengujian Co-firing 5% Biomassa pada PLTU Batubara Paiton Unit 1 pada tanggal 12-13 November 2019 menggunakan biomassa dari *wood pellet*. dari hasil pengujian dan pengamatan di site adalah sebagaimana berikut:



Gambar 81. Pengujian 5%: (a) Sebelum *Coal Mill*, (b) Setelah *Coal Mill*

#### **Visual mixing batubara dan 5% wood pellet:**

Secara *visual mixing* batubara dan 5% *wood pellet* sebelum masuk *coal mill* menunjukkan kondisi *pellet* yang terlihat sudah tidak utuh lagi setelah melalui proses *handling* sejak di ujung *mixing* dengan menggunakan alat berat *di coal yard*, melewati *hooper*, jalur *conveyor*, *feeder* hingga sebelum masuk ke *coal mill*, seperti halnya pengujian 1-3%.

Setelah *digrinding* di dalam *coal mill*, *mixing* 5% *wood pellet* juga masih bisa tercampur dengan baik dengan batubara halus.

Pengujian 5% biomassa *wood pellet* di Unit 1 difeeding *coal feeder* 1E hingga masuk dalam *coal mill* 1E. Pengujian 5% yang dimaksud di sini adalah jumlah biomass flow sama dengan 5% dari total fuel flow di mill 1E atau setara dengan 1% total fuel flow yang masuk ke furnace.

Tipikal *wood pellet*, termasuk *wood pellet* yang digunakan untuk pengujian ini memiliki nilai HGI yang lebih rendah hingga separuh dari HGI batubara. Hal ini mengisyaratkan keuletan *wood pellet* yang akan lebih sulit untuk *digrinding* dan berpotensi meningkatkan amper *coal mill* maupun reject *pyrite*. dari pengambilan sampel material *pyrite* didapatkan data sebagaimana berikut: untuk sampel Mill E pada 1.14 kg *pyrite* terdapat 1.71 gr pellet (0.15%), sedang sampel Mill B pada 1,64 kg *pyrite* terdapat 1.33 gr pellet (0.08%). Hal ini menunjukkan 5% *wood pellet* bisa tergerinda dengan baik di dalam *coal mill* dan mengalir selanjutnya menuju *coal pipe* dan *coal burner*. Sehingga meskipun *wood pellet* memiliki HGI separuh dari batubara eksisting yang berpotensi tidak tergerinda sempurna, untuk kasus campuran hingga 5% biomassa masih aman bagi *coal mill*.

## Bab IV Pengujian dan Evaluasi atas Co-Firing

Hasil monitoring pada *coal mill* E untuk *critical point* seperti arus *coal mill*, *bowl pressure*, *mill outlet temperature* menunjukkan masih dalam batas aman. Lebih spesifik lagi, peningkatan arus *coal mill* sekitar 4 Ampere, peningkatan *bowl pressure* 8 mmWC, peningkatan *mill outlet temperature* sekitar 1.3 °C masih dalam batas aman. Kandungan *volatile matter* pada biomassa yang lebih tinggi dari batubara juga terpantau aman pada *mill outlet temperature*, yang tidak menunjukkan kenaikan signifikan, sehingga aman untuk operasi *coal mill*.

Pengujian *Co-firing* 5% Biomassa pada PLTU Batubara CFB Belitung unit #2 dilakukan pada tanggal 18 Juni 2020 menggunakan biomassa Cangkang Kelapa Sawit. Melalui pengamatan visual seperti



Kam, Jun 18 2020 16:33:51

Gambar 83, hasil *mixing* batubara dan 5% Cangkang Kelapa Sawit yang diambil sebelum masuk *coal crusher* menunjukkan kondisi Cangkang Kelapa Sawit yang terlihat sudah bercampur dan tersamar dengan (warna) batubara.

Gambar 82. Pengamatan Sampling Fuel 5% dari Coal Feeder

Pengamatan potensi terjadinya aglomerasi dilakukan dengan metode *drain bottom ash* pada saat proses pembakaran *co-firing*. Pada uji coba *co-firing* 5%, tidak ditemukan potensi/ bibit aglomerasi pada *drain bottom ash*. dari hasil *drain bottom ash* seperti yang terlihat pada

Gambar 83, butiran warna merah menunjukkan *bed material* (pasir) yang masih membara dan ditemukan gumpalan berwarna putih. Namun demikian, mengingat jumlah gumpalan putih yang ditemukan cukup banyak, perlu dilakukan analisa laboratorium lebih lanjut terkait komposisi kimia yang terkandung pada gumpalan tersebut. Hal ini bertujuan untuk memitigasi risiko potensi/bibit aglomerasi ketika pembangkit dioperasikan menggunakan mode *co-firing* jangka panjang.

Boiler tipe CFB memanfaatkan proses *fluidizing* dimana partikel yang bergerak harus memiliki ukuran dan densitas yang sesuai sehingga fluidisasi terjadi lebih stabil. dengan ukuran partikel yang terlalu halus akan menyebabkan partikel terlalu cepat terbawa aliran gas, sedangkan ukuran partikel yang terlalu besar akan menyebabkan partikel sulit bergerak. Karena terbentuknya *pyrite* yang cukup banyak dalam pengujian ini, untuk pengoperasian jangka panjang perlu dijaga *Particle Size Distribution* dari *bed material* dan campuran bahan bakar yang masuk ke *boiler*. Hal ini dapat dilakukan dengan monitoring ukuran *bed material* secara kontinyu (melakukan *meshing/ayak* sesuai dengan ukuran yang telah ditentukan) serta menjaga ukuran batubara dan biomassa yang masuk ke *boiler*.



Gambar 83. Drain Bottom Ash saat Uji Co-firing 5%

Beberapa hasil pengamatan selama pengujian antara lain FEGT terpantau normal di bawah nilai standar ( $<900\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), *bed temperature* terpantau normal di dalam batasan nilai standar ( $650 - 900\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), begitu pula dengan *air*

*chamber pressure, main steam pressure dan temperature* terpantau normal dalam batasan nilai referensi.

Pengujian *Co-firing* 5% Biomassa pada PLTU Batubara CFB Teluk Balikpapan unit #2 dilakukan pada tanggal 25 Juni 2020 menggunakan biomassa cangkang sawit selama 8 jam. Melalui pengamatan visual seperti Gambar 84, hasil *mixing* batubara dan 5% cangkang sawit yang diambil sebelum masuk *coal feeder* menunjukkan kondisi cangkang sawit yang terlihat sudah bercampur dan tersamar dengan (warna) batubara.



Gambar 84. Pengamatan Sampling Fuel 5% dari *Coal Feeder*

Pengamatan potensi terjadinya aglomerasi dilakukan dengan metode *drain bottom ash* pada saat proses pembakaran *co-firing*. Pada uji coba *co-firing* 5%, tidak ditemukan potensi/ bibit aglomerasi pada *drain bottom ash*. dari hasil *drain bottom ash* seperti yang terlihat pada Gambar 85, butiran warna merah menunjukkan *bed material* (pasir) yang masih membara sedangkan butiran warna putih menunjukkan *pyrite*. Namun demikian, mengingat jumlah butiran putih yang ditemukan cukup banyak, perlu dilakukan analisa laboratorium lebih lanjut terkait komposisi kimia yang terkandung pada butiran tersebut. Hal ini bertujuan untuk memitigasi risiko potensi/bibit aglomerasi ketika pembangkit dioperasikan menggunakan mode *co-firing* jangka panjang.

Boiler tipe CFB memanfaatkan proses fluidizing dimana partikel yang bergerak harus memiliki ukuran dan densitas yang sesuai sehingga fluidisasi terjadi lebih stabil. dengan ukuran partikel yang terlalu halus akan menyebabkan partikel terlalu cepat terbawa aliran gas, sedangkan ukuran partikel yang terlalu besar akan menyebabkan partikel sulit bergerak. Karena terbentuknya *pyrite* yang cukup banyak dalam pengujian ini, untuk pengoperasian jangka panjang perlu dijaga *Particle Size Distribution* dari *bed material* dan campuran bahan bakar yang masuk ke *boiler*. Hal ini dapat dilakukan dengan monitoring ukuran *bed material* secara kontinyu (melakukan *meshing/ayak* sesuai dengan ukuran yang telah ditentukan) serta menjaga ukuran batubara dan biomassa yang masuk ke *boiler*.



Gambar 85. Drain Bottom Ash saat Uji Co-firing 5%

Beberapa hasil pengamatan selama pengujian antara lain Outlet gas temperature terpantau normal di bawah nilai standar, bed temperature terpantau normal di dalam batasan nilai standar, begitu pula dengan air chamber pressure, main steam pressure dan temperature terpantau normal dalam batasan nilai referensi.

#### Pengamatan Aglomerasi:

Pembakaran yang terjadi di *circulating fluidized bed* (CFB) boiler memanfaatkan proses fluidizing, dengan mengalirkan sejumlah gas dengan kecepatan fluidised melalui partikel yang ditempatkan pada bed, maka suspensi partikel terbentuk dan mulai bertindak seperti fluida. CFB boiler menggunakan prinsip inersia termal dari material yang sengaja dimasukkan ke dalam furnace (disebut sebagai bed materials) yang biasanya berupa partikel pasir. Keberadaan material yang berupa partikel-partikel dengan kecepatan tinggi ini dapat mengakibatkan terjadinya erosi pada dinding furnace maupun aglomerasi.

Dalam CFB boiler padatan partikel halus menggumpal, membentuk gugus atau untaian dalam suatu kontinum dari gas yang mengalir ke atas yang mengandung padatan terdispersi. Bentuk yang terakhir disebut fase terdispersi, sedangkan bentuk sebelumnya disebut fase cluster. Sebagian besar partikel pada bed bergerak ke atas melalui inti bed dalam fase terdispersi, sebagian mengalir ke bawah sepanjang dinding dalam bentuk kelompok partikel aglomerasi. Penggumpalan abu hasil pembakaran atau yang disebut aglomerasi ini akan mengakibatkan bed material terdefluidisasi, tidak dapat beroperasi dengan baik dan menyebabkan operasi harus dihentikan. Untuk itu, selama pengujian dilakukan pengamatan pembentukan aglomerasi dengan mengamati bentuk dan ukuran bed material saat dilakukan drain *bottom ash*.

#### 4.8.4 Pengujian Co-firing 5% Sawdust di PLTU Paiton 1-2

Pengujian Co-firing 5% Biomassa pada PLTU Batubara Paiton Unit 1 pada tanggal 6 Mei 2020 menggunakan biomassa dari *sawdust*. Pengisian 5% saw dust dilakukan pada 5 mill yang beroperasi. dari hasil pengujian dan pengamatan di site adalah sebagaimana berikut:



Gambar 86. Pengujian 5%: (a) sebelum *coal mill*, (b) setelah *coal mill*

##### *Visual mixing* batubara dan 5% *sawdust*:

Secara *visual mixing* batubara dan 5% *sawdust* sebelum masuk *coal mill* menunjukkan kondisi *sawdust* yang tercampur dengan baik mulai dari proses *handling* sejak di ujung *mixing* dengan menggunakan alat berat *di coal yard*, melewati *hooper*, jalur *conveyor*, *feeder* hingga sebelum masuk ke *coal mill*.

Setelah *digrinding* di dalam *coal mill*, *mixing* 5% *sawdust* juga masih bisa tercampur dengan baik dengan batubara halus.

##### Material *pyrite* pengujian 5% *sawdust*:

Tipikal *sawdust*, termasuk *sawdust* yang digunakan untuk pengujian ini memiliki nilai HGI relative sama dengan *wood pellet* dan lebih rendah hingga separuh dari HGI batubara. Hal ini mengisyaratkan keuletan *sawdust* dan *wood pellet* yang akan lebih sulit untuk *digrinding*. Namun dikarenakan hasil uji HGI *sawdust* dan *wood pellet* yang relative sama, dengan nilai HGI <32. Hasil pengamatan reject *pyrite* dilapangan tidak ditemukan *sawdust* dalam material *pyrite*. Sehingga baik *wood pellet* maupun *sawdust* masih bisa tergerinda sempurna di mill, untuk kasus campuran hingga 5% biomassa *sawdust* masih aman bagi *coal mill*.

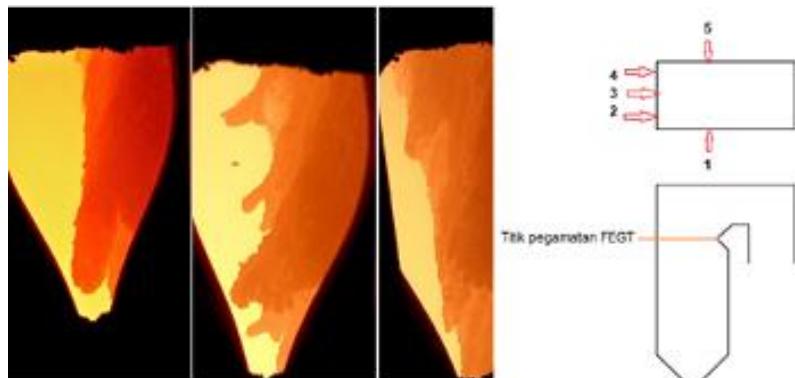


Gambar 87. Monitoring Coal Pyrate Mill A sd. E (dari Kiri ke Kanan)

#### Monitoring pada Mill

Hasil monitoring pada *coal mill* untuk *critical point* seperti arus *coal mill*, *bowl pressure*, *mill outlet temperature* menunjukkan masih dalam batas aman. Kandungan *volatile matter* pada biomassa yang lebih tinggi dari batubara juga terpantau aman pada *mill outlet temperature*, yang tidak menunjukkan kenaikan signifikan, sehingga aman untuk operasi *coal mill*.

#### 4.8.5 Monitoring FEGT di PLTU Paiton 1-2



Gambar 88. Visualisasi Kondisi di FEGT

Mengetahui temperatur pembakaran di dalam boiler merupakan salah satu indikator yang sangat penting untuk mengetahui kinerja pembakaran dan boiler baik dari sisi ekonomi maupun dari sisi lingkungan.

FEGT dapat memiliki dampak besar pada kinerja dan keandalan boiler. Desain boiler melibatkan keseimbangan energi antara sisi api dan sisi uap.

Dalam boiler umumnya terdapat pemantauan sisi uap yang cukup, namun tidak memiliki pemantauan dan kontrol api yang memadai. Diawali pencampuran bahan bakar dan udara, selanjutnya terjadi pembakaran di furnace, dan fokus pemantauan berikutnya di jalur gas buang hingga suhu keluar *furnace boiler*. Jadi titik kontrol antara keluar *burner* hingga keluar

## Bab IV Pengujian dan Evaluasi atas Co-Firing

*furnace boiler*, salah satunya adalah FEGT. Pada Titik kontrol ekstra ini (FEGT) memiliki berdampak besar pada kinerja dan keandalan boiler.

Titik pengambilan FEGT dilakukan pada area nose boiler dengan jumlah titik monitoring sebanyak 3 titik di bagian selatan.

Tabel 23 Monitoring FEGT - Pengujian 1-3-5%

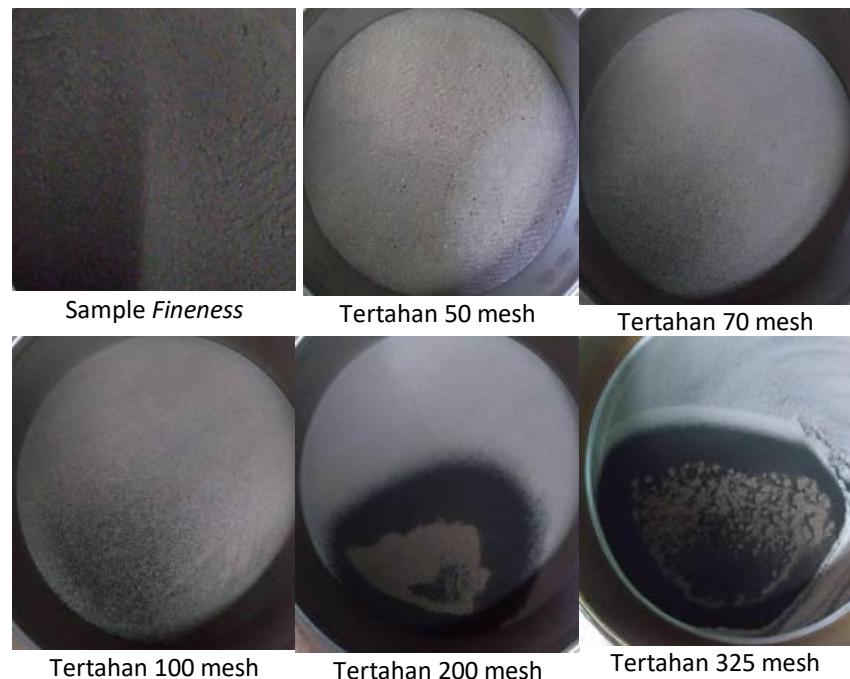
Item	Sat	Limit	Before (0%)	1%	3%	WP	Deviasi
Temperature Tertinggi	deg C	1200	1322.8	1235.0	1237.8	1250.0	-72.8
Temperature Terendah	deg C	1200	1238.9	1085.0	1105.6	1201.7	-37.2
Temperature Rata Rata	deg C	1200	1286.7	1153.8	1170.4	1217.1	-69.6

Item	Sat	Limit	Before (0%)	5% Saw	Deviasi
Temperature Tertinggi	deg C	1200	1322.8	1243.3	-79.4
Temperature Terendah	deg C	1200	1238.9	1147.8	-91.1
Temperature Rata Rata	deg C	1200	1286.7	1200.6	-86.2

Pada dasarnya, titik keluar *furnace* memisahkan zona radiasi dari zona konveksi. FEGT adalah parameter desain penting untuk boiler. FEGT mendefinisikan rasio penyerapan panas oleh *radiant heating* dan *convective heating*. Titik kontrol FEGT juga mengamati potensi *fouling* dari *boiler tube* di area konvektif. Jika FEGT berada di atas suhu deformasi awal Ash (IDT), hal itu dapat menyebabkan *fouling boiler tube* yang parah oleh abu cair (molten ash). Temperatur gas buang saat masuk ke SH / RH juga harus terpantau lebih rendah dari suhu *Ash Fusion Temperature (AFT)* seperti yang ditunjukkan pada Tabel 23.

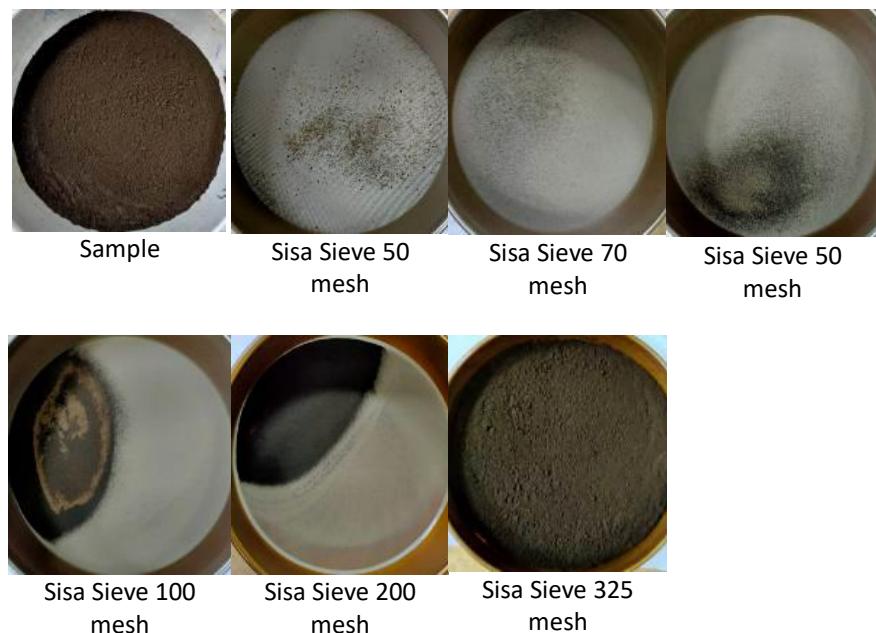
Hasil monitoring temperatur FEGT menunjukkan Co-firing 5% biomassa *wood pellet* masih dalam batas aman dan rata-rata cenderung turun  $45.80^{\circ}\text{C}$  dari semula  $1074.7^{\circ}\text{C}$  menuju  $1028.9^{\circ}\text{C}$ . Sedangkan untuk Co-firing 5% biomassa *sawdust* juga masih dalam batas aman dan FEGT rata-rata cenderung turun  $55.2^{\circ}\text{C}$  dari semula  $1074.7^{\circ}\text{C}$  menuju  $1019.5^{\circ}\text{C}$ .

Milling issue merupakan salah satu yang harus mendapatkan perhatian dalam co-firing *wood pellet* dan saw dust. Hal ini karena sebelum masuk ke ruang bakar *wood pellet* terlebih dahulu melalui proses penggilingan di *pulverizer* dan seperti yang kita ketahui bahwa *pulverizer* rata-rata didesain untuk menggiling batubara dengan  $\text{HGI} \geq 45$ , sedangkan rata-rata *wood pellet* mempunyai  $\text{HGI} \leq 32$ . Dalam pengujian co-firing 5% *wood pellet* ini yang dilakukan monitoring *coa fineness* adalah pada mill 1E mulai dari persentase co-firing 3% sampai dengan 5%.



Gambar 89. Hasil Uji Sample Fineness Co-Firing 5% Wood Pellet

Dari Gambar 89 terlihat bahwa terdapat serbuk *wood pellet* yang tertahan pada masing-masing ukuran sieve.



Gambar 90. Hasil Uji Sample Fineness Co-firing 5% Sawdust

Gambar 90 memperlihatkan hasil co-firing sampai dengan 5% *wood pellet* dan *sawdust* masih di atas rosin ramler standard. Tetapi meskipun demikian

dari hasil tersebut memperlihatkan bahwa semakin tinggi persentase co-firing *wood pellet* dan *sawdust* akan menurunkan persentase mill *fineness*. Sehingga terdapat kapasitas maksimal proses co-firing pada pembangkit dengan type boiler *pulverizer* yang diijinkan. Untuk mengetahui nilai batasan tersebut harus dilakukan pengujian pada masing-masing pembangkit dengan boiler type *pulverizer*, karena tidak menutup kemungkinan batasan maksimum co-firing yang diijinkan pada masing-masing pembangkit akan berbeda, karena terkait dengan desain dari *pulverizer* dan kondisi keamanan pembakaran dalam boiler.

### 4.8.6 Evaluasi Potensi Korosi dan *Slagging* di PLTU Paiton 1-2

Untuk mengetahui potensi korosi dan *slagging* dari bahan bakar yang digunakan dalam *co-firing* dapat dianalisa dengan melihat sifat fisik maupun kandungan kimia dari campuran bahan bakar (campuran batubara dan biomassa) yang dapat diketahui melalui uji laboratorium. Uji laboratorium yang diperlukan antara lain *Proximate analysis*, *Ultimate analysis*, analisa abu, *Ash Fusion Temperature*, dan *Chlorine analysis*. Pentingnya melakukan uji laboratorium terhadap campuran bahan bakar yang digunakan selain mengetahui nilai kalor, dapat diketahui zat yang terkandung dalam bahan bakar dan zat yang terbentuk pada hasil pembakaran sehingga dapat diprediksi potensi terbentuknya *slagging*, *fouling* dan aglomerasi serta potensi terjadinya korosi di dalam *boiler*.

Karena keterbatasan data, maka perbandingan karakteristik antara batubara, *wood pellet*, dan *sawdust* dilakukan dengan membandingkan hasil Ultimate analysis dan Proximate analysis yang diperoleh dari supplier antara batubara tipikal *medium rank coal* (Batubara A), batubara tipikal *low rank coal* yang digunakan di PLTU Paiton (Batubara B), tipikal *wood pellet*, dan tipikal *sawdust*. Sesuai dengan data hasil uji Laboratorium pada Tabel 24, kandungan sulfur pada tipikal *wood pellet* sangat rendah sebesar 0,05% dibandingkan tipikal batubara yang berkisar 0,11% untuk tipe *low rank coal* dan berkisar 0,63% untuk tipe *medium rank coal*, sehingga penambahan biomassa pada pengujian co-firing biomassa berpotensi menurunkan emisi SO<sub>x</sub>, kondisi ini dapat mengurangi emisi untuk mencapai target baku mutu yang ditetapkan oleh PERMEN LHK Nomor 15 tahun 2019. Kandungan *volatile matter* pada tipikal biomassa juga jauh lebih besar dibandingkan dengan tipikal batubara, hal ini membuat biomassa akan lebih cepat terbakar dibandingkan batubara sehingga membantu mempercepat proses pembakaran di dalam boiler secara keseluruhan. Tipikal biomassa juga mempunyai kandungan ash yang lebih rendah dibandingkan dengan tipikal batubara sehingga dapat mengurangi jumlah ash yang terbentuk/yang dihasilkan dari proses pembakaran di boiler baik pada *fly ash* maupun *bottom ash*. Sementara dengan nilai kalor yang dimiliki tipikal biomassa sebesar 4.563 kCal/kg menunjukkan kandungan energi yang relatif sama atau sedikit lebih baik dibandingkan dengan tipikal batubara *low rank* yang membunyai nilai kalor 4.199 kCal/kg. Beberapa karakteristik tipikal biomassa tersebut menjadi faktor pendukung dalam melaksanakan uji coba co-firing di PLTU.

## Bab IV Pengujian dan Evaluasi atas Co-Firing

Tabel 24 Komparasi Karakteristik Batubara dengan Biomassa Wood pellet dan

Parameter	Unit (Ar)	Coal				Wood Pellet (WP)	Sawdust (SD)
		0% Coal	3% CoalWP	5% CoalWP	5% CoalSD		
<b>Ultimate</b>							
Carbon	%	43,24	44,00	44,42	46,80	47,78	28,06
Hydrogen	%	3,05	3,11	3,29	3,46	6,07	3,17
Nitrogen	%	0,63	0,65	0,63	0,68	0,15	0,15
Sulphur	%	0,16	0,20	0,30	0,11	0,07	0,07
Oxygen	%	13,81	14,30	16,60	13,29	39,39	24,8
<b>Proximate</b>							
Total Moisture	%	34,65	32,79	30,58	31,92	5,46	41,74
Ash content	%	4,46	4,95	4,18	3,78	1,08	2,01
Volatile matter	%	31,60	32,19	33,92	33,96	79,41	46,25
Fixed carbon	%	29,29	30,07	31,32	30,38	14,05	10,00
Total sulphur	%	0,16	0,20	0,30	0,11	0,07	0,07
Gross calorific value	kCal/kg	4047,00	4163,00	4356	4330	4487,00	2694
HGI	-	56,00	52,00	46	47		< 32
Bulk Density	kg/m <sup>3</sup>	926,40	901,50	911,80	823	643,00	140,95
AFT Softening Reducing	°C	1170	1170	1180	1130	>1500	1250
Chloride	%	-	-	-	0,30	0,10	0,10

### Sawdust

Selanjutnya menggunakan hasil analisa laboratorium dari sampel batubara, *wood pellet*, dan *sawdust* yang diujikan oleh PT PJB ke Sucofindo, didapat seperti Tabel 24. dari data tersebut dapat dihitung rasio 2S/Cl dengan basis molar, didapatkan hasil: *wood pellet* sebesar 1,5531 dan *sawdust*: 1,5531.

Dengan nilai tersebut, pembakaran sampel *wood pellet* dan *sawdust* tipikal tersebut memiliki risiko *Cl-induced active oxidation major*. Risiko tersebut perlu dipertimbangkan dalam pengoperasian *boiler* dengan bahan bakar campuran *wood pellet* dan *sawdust*.

Menggunakan data yang ada, dimana sampel batubara pada PLTU Paiton memiliki kandungan *Sulphur* 0,11 % dan kandungan *Chlorine* 0,3 % dapat dihitung rasio 2S/Cl dengan basis molar diperoleh nilai sebesar 0,8135. Jika dilakukan *mixing* antara 95% batubara+5% *wood pellet* dan 95% batubara+5% *sawdust*, maka dapat dihitung kandungan *chlorine* dan *sulphur* pada bahan bakar campuran tersebut dengan pendekatan proporsional.

### Kandungan *Sulphur* Campuran Batubara dan *Wood pellet*

$$\begin{aligned}
 &= (0,95 \times S_{\text{batubara}}) + (0,05 \times S_{\text{wood pellet}}) \\
 &= (0,95 \times 0,11) + (0,05 \times 0,07) \\
 &= 0,108\%
 \end{aligned}$$

### Kandungan *Chlorine* Campuran Batubara dan *Wood pellet*

$$\begin{aligned}
 &= (0,95 \times Cl_{\text{batubara}}) + (0,05 \times Cl_{\text{wood pellet}}) \\
 &= (0,95 \times 0,3) + (0,05 \times 0,10) \\
 &= 0,29\%
 \end{aligned}$$

### Kandungan *Sulphur* Campuran Batubara dan *Sawdust*

$$\begin{aligned}
 &= (0,95 \times S_{\text{batubara}}) + (0,05 \times S_{\text{sawdust}}) \\
 &= (0,95 \times 0,11) + (0,05 \times 0,07) \\
 &= 0,108\%
 \end{aligned}$$

Kandungan Chlorine Campuran Batubara dan *Sawdust*

$$\begin{aligned} &= (0,95 \times \text{Cl}_{\text{batubara}}) + (0,05 \times \text{Cl}_{\text{sawdust}}) \\ &= (0,95 \times 0,015) + (0,05 \times 0,10) \\ &= 0,29\% \end{aligned}$$

Dengan hasil di atas dapat dihitung rasio 2S/Cl dengan basis molar diperoleh nilai sebesar 0.8263 baik untuk campuran batubara dan *wood pellet* maupun batubara dan *sawdust*. dari perhitungan tersebut didapatkan bahwa penggunaan bahan bakar campuran 95%batubara 5%*wood pellet/sawdust* memiliki risiko *Cl-induced active oxidation major*. Untuk lebih lanjut, perlu dilakukan analisa laboratorium terhadap sampel campuran batubara+*wood pellet* dan campuran batubara+*sawdust* yang digunakan di PLTU Paiton untuk memetakan potensi risiko korosi dan untuk memetakan besaran persentase biomassa dalam campuran bahan bakar.

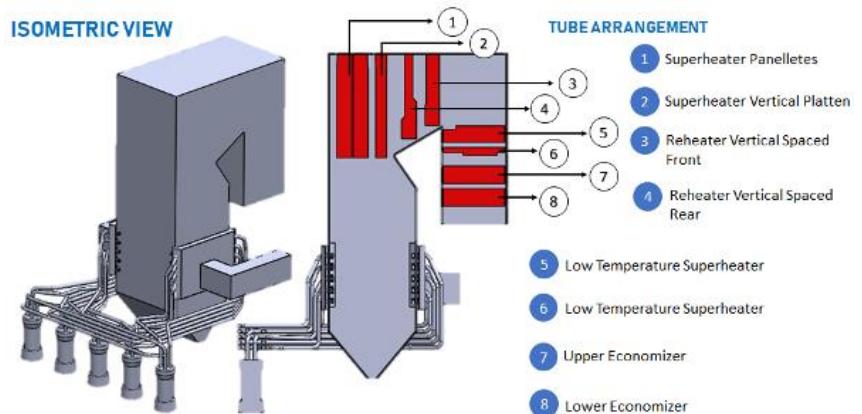
### 4.8.7 Simulasi Co-firing 5% di PLTU Paiton 1-2

Simulasi co-firing 5% yang dilakukan adalah dengan menggunakan *wood pellet*. Mengingat input simulasi yang dilakukan adalah injeksi partikel serbuk *wood pellet*, maka simulasi ini juga dapat digunakan sebagai gambaran simulasi saw dust.

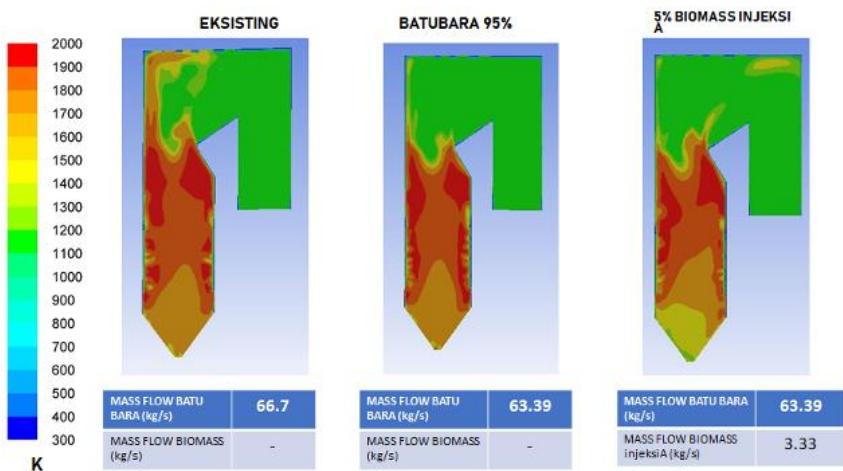
Gambar 91 menunjukkan gambar isometris dari boiler PLTU Paiton 1-2 yang digunakan dalam penelitian ini, termasuk tata letak komponen boiler penyusunnya. Boiler PLTU Paiton 1-2 memiliki kapasitas 2 x 400 MW pembangkit listrik berbahan bakar batubara. Simulasi dinamika pembakaran memperhitungkan persamaan yang mengatur (massa, momentum, dan entalpi), turbulensi, perpindahan panas radiasi, dan reaksi dalam fase partikel dan gas.

Simulasi ini memodelkan perilaku Co-firing batubara dengan 5% biomassa dengan menggunakan metode CFD, karena merupakan salah satu alat yang efektif untuk menghitung aliran fluida, perpindahan panas dan massa, reaksi kimia, dan padatan dan interaksi material. Pemodelan Co-firing 5% Biomassa dengan CFD juga menghemat waktu dan biaya, sebelum pengujian melalui eksperimen, aman dan mudah untuk ditingkatkan.

Hasil simulasi CFD untuk kontur temperatur secara umum menunjukkan antara kondisi eksisting 100% batubara dengan kondisi 95% batubara -5% biomass, terdapat penurunan temperatur pada *boiler furnace* mulai *nose* hingga *economizer*. Kontur temperatur untuk kondisi 5% biomassa lebih mendekati kondisi 95% batubara. Fenomena ini selaras dengan hasil pengujian 3% biomassa yang menunjukkan temperatur FEGT cenderung turun.

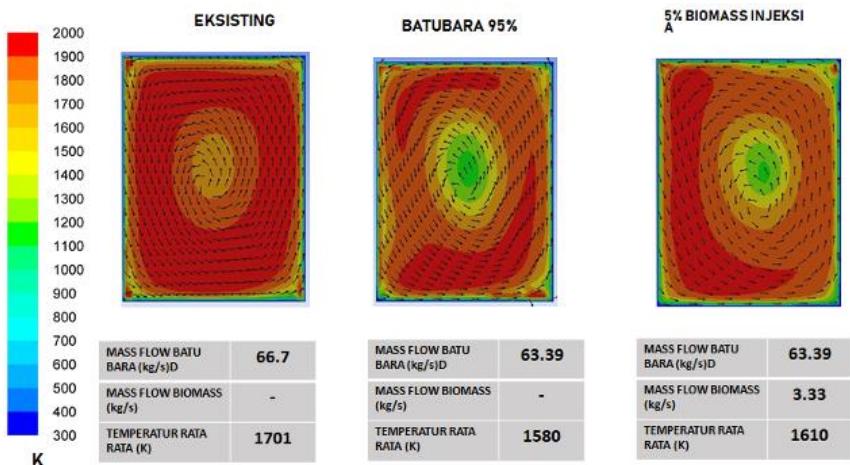


Gambar 91. Isometric View Boiler PLTU Paiton 2x400MW



Gambar 92 Kontur Temperatur Boiler 3 Kondisi  
(100% Batubara, 95% Batubara, 5% Biomassa)

CFD untuk kontur temperatur pada area *nose boiler* secara umum menunjukkan antara kondisi eksisting 100% batubara dengan kondisi 95% batubara -5% biomass, juga terdapat penurunan temperatur. Kontur temperatur untuk kondisi 5% biomassa lebih mendekati kondisi 95% batubara. Temperatur rata rata untuk area *nose boiler* pada kondisi 5% biomassa sekitar  $1610^{\circ}\text{C}$  lebih rendah daripada kondisi 100% batubara yang sekitar  $1701\text{ K}$  atau  $1427,85^{\circ}\text{C}$ . Fenomena ini selaras dengan hasil pengujian 3% biomassa yang menunjukkan temperatur FEGT cenderung turun.



Gambar 93 Kontur Temperatur pada Boiler Nose 3 Kondisi  
(100% Batubara, 95% Batubara, 5% Biomassa)

#### 4.8.8 Evaluasi Operasional di PLTU Paiton 1-2

- Monitoring **visual mixing** batubara dan *wood pellet/sawdust* hingga 5% sebelum masuk *coal mill* menunjukkan kondisi *pellet/sawdust* yang terlihat sudah tidak utuh lagi setelah melalui proses *handling* sejak di ujung *mixing* dengan menggunakan alat berat di *coal yard*, melewati *hooper*, jalur *conveyor*, *feeder* hingga sebelum masuk ke *coal mill*. Setelah *digrinding* di dalam *coal mill*, *mixing* 5% *wood pellet/sawdust* juga masih bisa tercampur dengan baik dengan batubara halus.
- Monitoring pada sample **material pyrite** menunjukkan hingga 5% *wood pellet/sawdust* bisa tergerinda dengan baik di dalam *coal mill* dan mengalir selanjutnya menuju *coal pipe* dan *coal burner* dengan jumlah *pyrite* yang sangat sedikit. Sehingga meskipun *wood pellet/sawdust* memiliki **HGI** dengan nilai  $\leq 32$  (rendah) yang berpotensi tidak tergerinda sempurna, untuk kasus campuran hingga 5% biomassa masih aman bagi *coal mill*.
- Monitoring **parameter operasional coal mill** untuk *point critical* seperti arus *coal mill*, *bowl pressure*, *mill outlet temperature* menunjukkan masih dalam batas aman pada pengujian hingga 5% biomassa. Kandungan **volatile matter** pada biomassa yang lebih tinggi dari batubara juga terpantau aman pada *mill outlet temperature*, yang tidak menunjukkan kenaikan signifikan, sehingga aman untuk operasi *coal mill*
- Hasil monitoring **temperatur FEGT** menunjukkan Co-firing 5% biomassa *wood pellet* masih dalam batas aman dimana FEGT co-firing biomass rata rata cenderung turun  $45.9^{\circ}\text{C}$  dibanding kondisi eksisting 100% batubara dari semula  $1074.7^{\circ}\text{C}$  menuju  $1028.9^{\circ}\text{C}$ . Sedangkan untuk Co-firing 5% biomassa *sawdust* juga masih dalam

batas aman dan FEGT rata rata cenderung turun  $55.2^{\circ}\text{C}$  dari semula  $1074.7^{\circ}\text{C}$  menuju  $1019.5^{\circ}\text{C}$

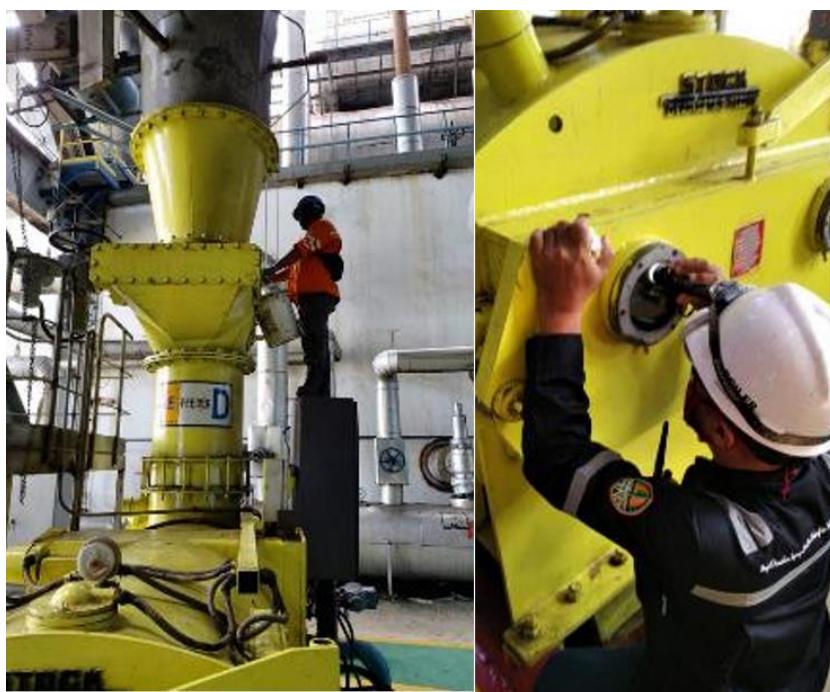
5. Hasil evaluasi potensi korosi dan *slagging* didapatkan dengan analisa menggunakan hasil laboratorium dari sampel batubara, *wood pellet*, dan *sawdust* yang diujikan oleh PT PJB ke Sucofindo. dari data tersebut dapat dihitung rasio 2S/Cl dengan basis molar, didapatkan hasil, yaitu: *wood pellet* sebesar 1,5531, *sawdust* sebesar 1,5531 dan batubara sebesar 0,8135. dengan hasil di atas dapat dihitung rasio 2S/Cl dengan basis molar diperoleh nilai sebesar 0.8263 baik untuk campuran batubara dan *wood pellet* maupun batubara dan *sawdust*.
6. Hasil **simulasi CFD** kontur temperatur secara umum menunjukkan antara kondisi eksisting 100% batubara dengan kondisi 95% batubara -5% biomassa, terdapat penurunan temperatur pada *boiler furnace* mulai *nose* hingga *economizer*. Sedangkan kontur temperatur pada area *nose boiler* secara umum menunjukkan antara kondisi eksisting 100% batubara dengan kondisi 95% batubara -5% biomass, juga terdapat penurunan temperatur. Temperatur rata rata untuk area *nose boiler* pada kondisi 5% biomassa sekitar 1610 K lebih rendah daripada kondisi 100% batubara yang sekitar 1701 K. Fenomena ini selaras dengan hasil pengujian 3% biomassa yang menunjukkan temperatur FEGT cenderung turun.
7. Secara umum hasil kelayakan operasional dari monitoring *visual mixing*, sample material *pyrite*, monitoring parameter operasional *coal mill*, monitoring FEGT boiler masih aman dan dalam batas normal.

#### 4.8.9 Pengamatan Coal Biomass *Mixing* di PLTU Paiton 9

Pengujian *Co-firing* 5% Biomassa pada PLTU Batubara Paiton 9 dilakukan pada tanggal 8 September 2020 menggunakan biomassa Serbuk Kayu. Pengamatan visual coal biomass *mixing* seperti Gambar di bawah, hasil *mixing* batubara dan 5% Serbuk Kayu yang diambil sebelum masuk *coal crusher* menunjukkan kondisi Serbuk Kayu yang terlihat sudah bercampur baik dan dengan batubara. Pengujian 5% biomassa *sawdust* di PLTU Paiton 9 di-*feeding* ke semua *coal feeder* hingga masuk dalam *coal mill*



Gambar 94 Pengamatan Sampling Fuel 5% dari Conveyor



Gambar 95. Pengamatan Sampling Fuel 5% dari Coal Feeder

#### 4.8.10 Pengamatan Parameter Operasi *Coal mill* di PLTU Paiton 9

Hasil monitoring pada *coal mill* untuk point *critical point* seperti arus *coal mill*, *coal feeder flow*, *mill outlet temperature* menunjukkan deviasi yang kecil, dan masih dalam batas aman dan dari pengujian 100% batubara, current mill terpantau normal di seluruh mill yang beroperasi seperti yang ditunjukkan pada tabel berikut di bawah. Kandungan *volatile matter* pada biomassa yang lebih tinggi dari batubara juga terpantau aman pada *mill outlet temperature*, yang tidak menunjukkan kenaikan signifikan, sehingga aman untuk operasi *coal mill*.

#### 4.8.11 Pengamatan Parameter Operasi *Baseline* di PLTU Paiton 9

Untuk perbandingan data secara aktual, dilakukan pengamatan parameter operasi pada kondisi sebelum dilakukan uji *co-firing* atau pada kondisi unit operasi dengan 100% batubara. Data operasi ini akan digunakan sebagai *baseline* atau pembanding untuk data operasi *co-firing*. Kondisi operasi unit yang diuji akan diperlakukan sama dan menggunakan jenis batubara yang sama baik untuk uji operasi 100% batubara maupun uji operasi *co-firing* 5%.

Pengambilan data operasi kondisi 100% Batubara dilakukan pada PLTU Paiton 9 tanggal 8 September 2020 menggunakan Batubara dari Arutmin dengan nilai kalor 4.237 kCal/kg. *Monitoring* parameter operasi dilakukan pada *setting* beban 635 MW. Parameter utama atau *critical point* yang diamati, yaitu: *total air flow*, *total coal flow*, *main steam temperature*, *main steam pressure*, *gas economizer outlet temperature*, *gas outlet temperature air heater*, *spray reheater total flow*, dan *spray superheater total flow*.

Hasil pengamatan data operasi pengujian menggunakan bahan bakar 100% batubara pada beban 635 MW menunjukkan parameter operasi terpantau normal masih berada dalam rentang batasan pengoperasian normal.

#### 4.8.12 Pengamatan Parameter Operasi *Co-firing 5%* di PLTU Paiton 9

Pengamatan parameter operasi Co-firing dilakukan dengan pengambilan data operasi kondisi 95% Batubara – 5% Biomassa pada PLTU Paiton 9 tanggal 8 September 2020 menggunakan Batubara dari Arutmin dengan nilai kalor 4.237 kCal/kg. *Monitoring* parameter operasi dilakukan pada *setting* beban 295 MW. Parameter utama atau *critical point* yang diamati, yaitu: *coal flow*, *total air flow*, *furnace exit gas temperature (FEGT)*, *main steam temperature*, *main steam pressure*, *main steam flow*, *mill current*, *mill outlet temperature*.

Beberapa hasil pengamatan parameter operasi utama pada boiler, seperti load, total coal biomass flow, MST, MSP selama pengujian terpantau normal tidak jauh berbeda dengan hasil pengujian 100% batubara dan masih memenuhi parameter desain.

Spray reheater cenderung terdapat penurunan dari sebelumnya rata rata 98.93 t/h turun menjadi 94.07 t/h. Termasuk spray *superheater* juga cenderung terdapat penurunan dari sebelumnya rata rata 128.88 t/h turun menjadi 111.58 t/h.

**Material *pyrite* pengujian 5% *sawdust*:**

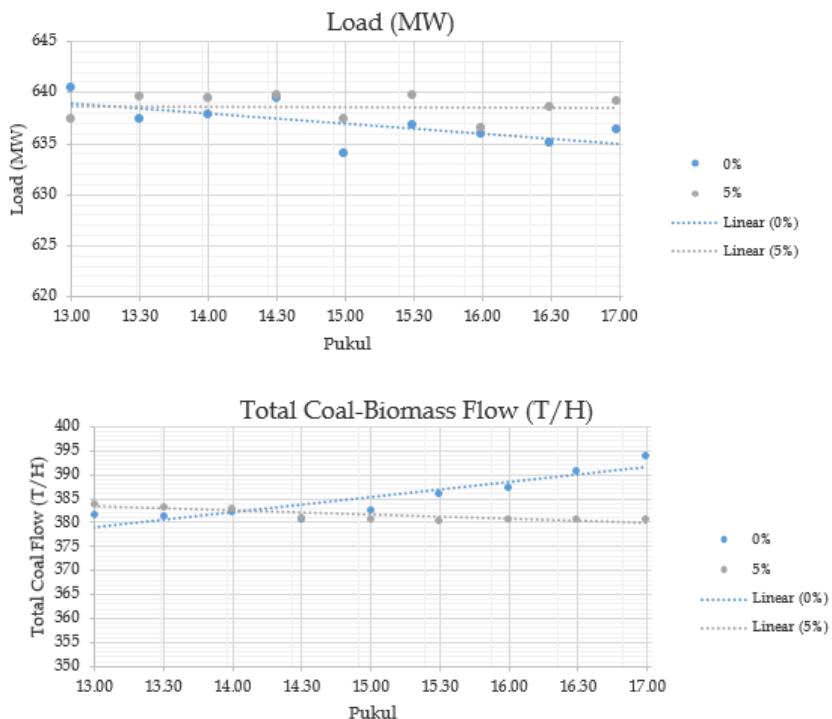
Tipikal *sawdust* yang digunakan untuk pengujian ini memiliki nilai HGI yang lebih rendah hingga separuh dari HGI batubara, nilai HGI *sawdust* <32, sedangkan batubara di kisaran >45 seperti yang ditunjukkan pada Komparasi Karakteristik Batubara dengan Biomassa *Sawdust*. Hal ini mengisyaratkan keuletan *sawdust* yang akan lebih sulit untuk *digrinding* dan berpotensi meningkatkan arus *coal mill* maupun *reject pyrite*. dari pengambilan sampel material *pyrite* tidak didapatkan *sawdust* yang keluar bersama *reject pyrite* dimana hal ini menunjukkan 5% *sawdust* bisa tergerinda dengan baik di dalam *coal mill* dan mengalir selanjutnya menuju *coal pipe* dan *coal burner*.



Gambar 96 Pengujian 5%: Material Pyrite

**4.8.13 Pengamatan Load dan Total Coal Biomass Flow di PLTU Paiton 9**

Pengambilan data pengujian baik operasi 100% batubara maupun operasi *co-firing* 5% PLTU Paiton 9 di-setting pada beban 635 MW. Parameter operasi lainnya mengikuti *setting* pada kisaran beban 635 MW tersebut. Beberapa parameter yang akan dievaluasi antara lain: *load* dan *total coal biomass flow*, dan FEGT.

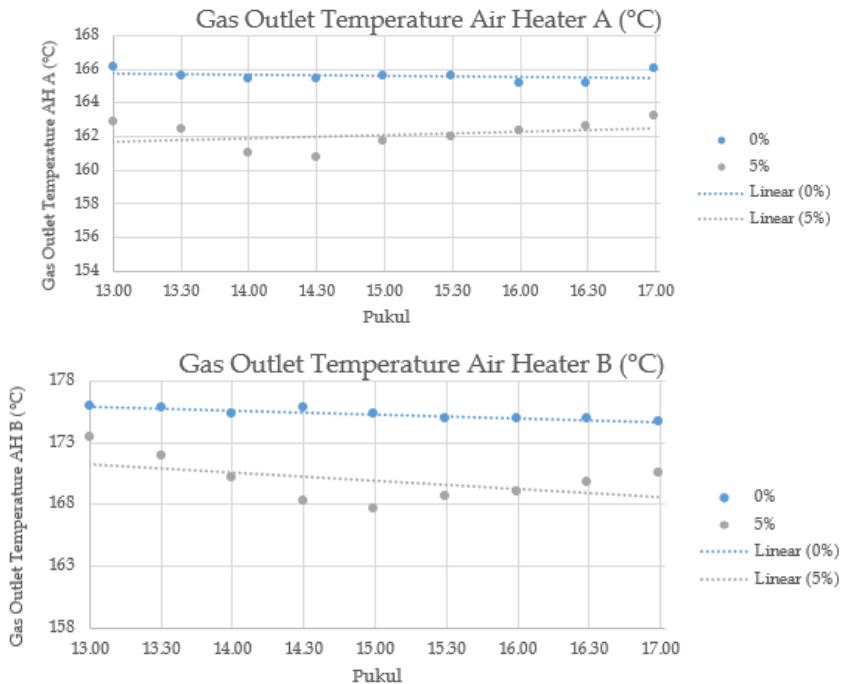


Gambar 97 Grafik Pengamatan Operasi (a) Load dan (b) Coal Flow

Keterangan: 0% mewakili uji operasi 100% batubara  
dan 5% mewakili uji operasi *co-firing* 5%

Berdasarkan pengamatan parameter operasi *load* dan *total coal flow* pada pengujian *co-firing sawdust* hingga 5% pada beban yang relative sama (635 MW), dapat dianalisa sebagai berikut:

1. *Total coal flow* ketika operasi *co-firing* 5% *sawdust* dengan rata – rata 381,64 Ton/jam, sedikit lebih rendah dibandingkan dengan ketika beroperasi menggunakan bahan bakar 100% batubara dengan rata-rata 385,33 Ton/jam (lihat Gambar 11). Data *total coal flow* merupakan penjumlahan dari *coal feeder flow rate* selama pengujian.
2. Berdasarkan perhitungan *totalizer coal feeder* dan *totalizer counter kWhmeter*, terjadi penurunan *specific fuel consumption* (SFC) dari 0,6366 kg/kWh (pada saat operasi dengan 100% batubara), turun ke 0,6289 kg/kWh (pada saat *co-firing* 5% *sawdust*). dengan nilai kalor (*dry basis*) *sawdust* yang relatif lebih baik dibandingkan nilai kalor batubara yang digunakan di PLTU Paiton 9, juga kondisi *sawdust* yang kering dan lebih bersih memberikan kontribusi terhadap penurunan SFC. Penurunan *coal biomass flow* saat uji *co-firing* 5% *sawdust* masih sebanding dengan perbedaan nilai kalor batubara.



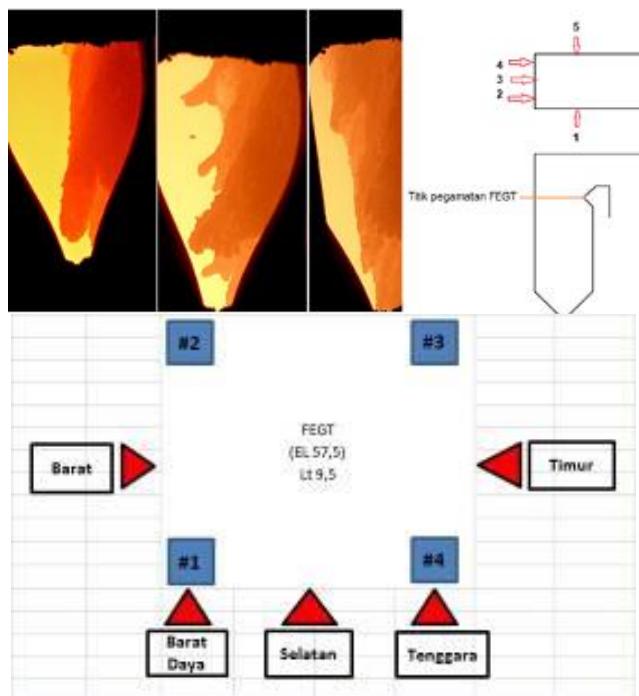
Gambar 98 Grafik Pengamatan Operasi Gas Outlet Temperature Air Heater (a) A dan (b)

Berdasarkan pengamatan parameter *gas outlet temperature air heater* dapat dianalisa sebagai berikut:

1. Pada pengujian *co-firing* 5%, *gas outlet temperature air heater A* ketika operasi *co-firing* 5% *sawdust* dengan rata – rata 162,11 °C, sedikit lebih rendah dibandingkan dengan ketika beroperasi menggunakan bahan bakar 100% batubara dengan rata-rata 165,58 °C (lihat Gambar 12a). di samping itu, *gas outlet temperature air heater B* ketika operasi *co-firing* 5% *sawdust* dengan rata – rata 169,97 °C, lebih rendah dibandingkan dengan ketika beroperasi menggunakan bahan bakar 100% batubara dengan rata-rata 175,32 °C.
2. Tren *gas outlet temperature air heater* saat operasi *co-firing* masih dalam rentang batasan untuk kondisi normal operasi sesuai *manual book boiler* PLTU Paiton 9.

#### 4.8.14 Pengamatan FEGT di PLTU Paiton 9

Pengamatan pada boiler FEGT saat 100% batubara dan 95%batubara – 5% biomassa adalah seperti ditunjukkan dalam Gambar 99.

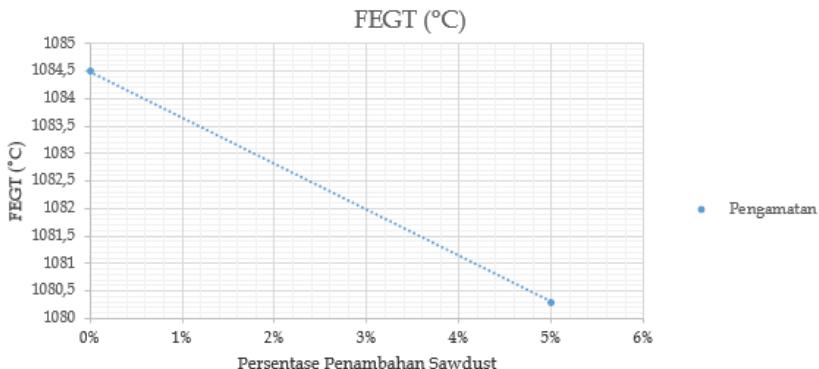


Gambar 99 Visualisasi Kondisi di FEGT

Mengetahui temperatur pembakaran di dalam boiler merupakan salah satu indikator yang sangat penting untuk mengetahui kinerja pembakaran dan boiler baik dari sisi ekonomi maupun dari sisi lingkungan. FEGT dapat memiliki dampak besar pada kinerja dan keandalan boiler. Desain boiler melibatkan keseimbangan energi antara sisi api dan sisi uap.

Dalam boiler umumnya terdapat pemantauan sisi uap yang cukup, namun tidak memiliki pemantauan dan kontrol api yang memadai. Diawali pencampuran bahan bakar dan udara, selanjutnya terjadi pembakaran di furnace, dan fokus pemantauan berikutnya di jalur gas buang hingga temperatur keluar *furnace boiler*. Jadi titik kontrol antara keluar *burner* hingga keluar *furnace boiler*, salah satunya adalah FEGT. Pada Titik kontrol ekstra ini (FEGT) memiliki berdampak besar pada kinerja dan keandalan boiler.

Pada dasarnya, titik keluar *furnace* memisahkan zona radiasi dari zona konveksi. FEGT adalah parameter desain penting untuk boiler. FEGT mendefinisikan rasio penyerapan panas oleh *radiant heating* dan *convective heating*. Titik kontrol FEGT juga mengamati potensi *fouling* dari *boiler tube* di area konvektif. Jika FEGT berada di atas temperatur deformasi awal abu batubara (IDT), hal itu dapat menyebabkan *fouling boiler tube* yang parah oleh abu cair (molten ash). Temperatur gas buang saat masuk ke SH / RH juga harus terpantau lebih rendah dari temperatur *Ash Fusion* (AFT).



Gambar 100 Grafik Pengamatan Furnace Exit Gas Temperature (FEGT)

Tabel 25 Monitoring FEGT

Furnace Gas Temperature				
	Unit	Standard	100% Coal	5% Co-firing
FEGT Average	°C	<1200,00	1084,5	1080,3

Berdasarkan parameter *Furnace Exit Gas Temperature* dapat dianalisa sebagai berikut:

1. FEGT rata-rata pada pengujian *co-firing* 5% cenderung lebih rendah sebesar 4,2 °C dibandingkan dengan kondisi operasi menggunakan 100 % batubara. Kandungan *volatile matter sawdust* yang lebih besar daripada batubara eksisting menyebabkan *sawdust* lebih dahulu terbakar.
2. Tren penurunan FEGT pada kondisi operasi *co-firing* 5% masih di bawah batas maksimal. dan rata rata cenderung sama dari semula 1.084,5 °C menjadi 1.080,3 °C.

#### 4.8.15 Pengamatan Potensi Korosi dan *Slagging* di PLTU Paiton 9

Untuk mengetahui potensi korosi dan *slagging* dari bahan bakar yang digunakan dalam *co-firing* dapat dianalisa dengan melihat sifat fisik maupun kandungan kimia dari campuran bahan bakar (campuran batubara dan biomassa) yang dapat diketahui melalui uji laboratorium. Uji laboratorium yang diperlukan antara lain *Proximate analysis*, *Ultimate analysis*, analisa abu, *Ash Fusion Temperature*, dan *Chlorine analysis*. Pentingnya melakukan uji laboratorium terhadap campuran bahan bakar yang digunakan selain mengetahui nilai kalor, dapat diketahui zat yang terkandung dalam bahan bakar dan zat yang terbentuk pada hasil pembakaran sehingga dapat diprediksi potensi terbentuknya *slagging*, *fouling* dan aglomerasi serta potensi terjadinya korosi di dalam *boiler*.

Karena keterbatasan data, maka perbandingan karakteristik antara batubara dan *sawdust* dilakukan dengan membandingkan hasil *Ultimate analysis* dan *Proximate analysis* yang diperoleh dari *supplier* antara batubara tipikal *low rank coal* yang digunakan di PLTU Paiton 9 dan tipikal *sawdust*. Sesuai dengan data hasil uji Laboratorium pada Tabel di bawah, kandungan sulfur pada tipikal *sawdust* sangat rendah sebesar 0,09% dibandingkan tipikal batubara yang berkisar 0,16% untuk tipe *low rank coal*, sehingga penambahan *sawdust* pada pengujian *co-firing* berpotensi menurunkan emisi SO<sub>2</sub>, kondisi ini dapat mengurangi emisi untuk mencapai target baku mutu yang ditetapkan oleh PERMEN LHK Nomor 15 tahun 2019. Kandungan *volatile matter* pada tipikal *sawdust* juga jauh lebih besar dibandingkan dengan tipikal batubara, hal ini membuat *sawdust* akan lebih cepat terbakar dibandingkan batubara sehingga membantu mempercepat proses pembakaran di dalam *boiler* secara keseluruhan. Tipikal biomassa juga mempunyai kandungan *ash* yang lebih rendah dibandingkan dengan tipikal batubara sehingga dapat mengurangi jumlah *ash* yang terbentuk/yang dihasilkan dari proses pembakaran di *boiler* baik pada *fly ash* maupun *bottom ash*. Sementara dengan nilai kalor yang dimiliki tipikal *sawdust* sebesar 4.294 kCal/kg menunjukkan kandungan energi yang relatif sama atau sedikit lebih baik dibandingkan dengan tipikal batubara *low rank* yang membunyai nilai kalor 4.237 kCal/kg. Beberapa karakteristik tipikal biomassa tersebut menjadi faktor pendukung dalam melaksanakan uji coba *co-firing* di PLTU Paiton 9.

Tabel 26 Komparasi Karakteristik Batubara dengan Biomassa Sawdust

Parameter	Unit (Ar)	Coal	<i>Sawdust (SD)</i>
Ultimate			
Carbon	%	43,24	45,70
Hydrogen	%	3,05	5,45
Nitrogen	%	0,63	0,00
Sulphur	%	0,16	0,09
Oxygen	%	13,81	38,99
Proximate			
Total Moisture	%	34,73	8,60

Parameter	Unit (Ar)	Coal	Sawdust (SD)
Ash content	%	3,08	1,17
Volatile matter	%	31,60	75,16
Fixed carbon	%	29,29	15,07
Total sulphur	%	0,16	0
Gross calorific value	kCal/kg	4237	4294
HGI	-	64	< 32
Bulk Density	kg/m <sup>3</sup>	926,40	140,95
AFT Softening Reducing	°C	1170	1250
Chloride	%	0,30	0,10

Selanjutnya menggunakan hasil analisa laboratorium dari sampel batubara dan *sawdust* yang diujikan oleh PT PJB, di dapat seperti Tabel Komparasi karakteristik batubara dengan biomassa *sawdust*. dari data tersebut dapat dihitung rasio 2S/Cl dengan basis molar, didapatkan hasil: batubara: 1,1833 dan *sawdust*: 1,9969.

Dengan nilai tersebut, pembakaran sampel *wood pellet* dan *sawdust* tipikal tersebut memiliki risiko *Cl-induced active oxidation major*. Risiko tersebut perlu dipertimbangkan dalam pengoperasian *boiler* dengan bahan bakar campuran *sawdust*.

Menggunakan data Tabel di atas dan data dimana sampel batubara pada PLTU Paiton memiliki kandungan *Sulphur* 0,11 % dan kandungan *Chlorine* 0,3 % dapat dihitung rasio 2S/Cl dengan basis molar diperoleh nilai sebesar 0,8135. Jika dilakukan *mixing* antara 95% batubara+5% *wood pellet* dan 95% batubara+5% *sawdust*, maka dapat dihitung kandungan *chlorine* dan *sulphur* pada bahan bakar campuran tersebut dengan pendekatan proporsional.

#### Kandungan *Sulphur* Campuran Batubara dan *Sawdust*

$$\begin{aligned}
 &= (0,95 \times S_{\text{batubara}}) + (0,05 \times S_{\text{sawdust}}) \\
 &= (0,95 \times 0,16) + (0,05 \times 0,09) \\
 &= 0,1565\%
 \end{aligned}$$

#### Kandungan *Chlorine* Campuran Batubara dan *Sawdust*

$$\begin{aligned}
 &= (0,95 \times Cl_{\text{batubara}}) + (0,05 \times Cl_{\text{sawdust}}) \\
 &= (0,95 \times 0,30) + (0,05 \times 0,10) \\
 &= 0,29\%
 \end{aligned}$$

Dengan hasil di atas dapat dihitung rasio 2S/Cl dengan basis molar diperoleh nilai sebesar 1,1974 untuk campuran batubara dan *sawdust*. dari perhitungan tersebut didapatkan bahwa penggunaan bahan bakar campuran 95%batubara 5% *sawdust* memiliki risiko *Cl-induced active oxidation major*. Untuk lebih lanjut, perlu dilakukan analisa laboratorium terhadap sampel campuran batubara+ *sawdust* yang digunakan di PLTU Paiton untuk

memetakan potensi risiko korosi dan untuk memetakan besaran persentase biomassa dalam campuran bahan bakar.

### 4.8.16 Evaluasi Hasil Pengujian *Co-firing* di PLTU Paiton 9

Secara umum kesimpulan dari evaluasi teknis operasional adalah sebagaimana berikut:

1. Monitoring **visual mixing** batubara dan *sawdust* hingga 5% sebelum masuk *coal mill* menunjukkan kondisi *sawdust* yang terlihat sudah tidak utuh lagi setelah melalui proses *handling* sejak di ujung *mixing* dengan menggunakan alat berat di *coal yard*, melewati *hooper*, jalur *conveyor*, *feeder* hingga sebelum masuk ke *coal mill*. Setelah *digrinding* di dalam *coal mill*, *mixing* 5% *sawdust* juga masih bisa tercampur dengan baik dengan batubara halus.
2. Monitoring pada sample **material pyrite** menunjukkan hingga 5% *sawdust* bisa tergerinda dengan baik di dalam *coal mill* dan mengalir selanjutnya menuju *coal pipe* dan *coal burner* dengan jumlah *pyrite* yang sangat sedikit. Sehingga meskipun *sawdust* memiliki **HGI** dengan nilai  $\leq 32$  (rendah) yang berpotensi tidak tergerinda sempurna, untuk kasus campuran hingga 5% biomassa masih aman bagi *coal mill*.
3. Monitoring **parameter operasional** pada beban 635 MW gross di PLTU Paiton 9 antara operasi 100% batubara maka operasi *co-firing* 5 % untuk *point critical* seperti *total air flow*, *total coal flow*, *main steam temperature*, *main steam pressure*, *gas economizer outlet temperature*, *gas air heater outlet temperature*, dan *mill outlet temperature* menunjukkan masih dalam batas aman pada pengujian hingga 5% biomassa. Kandungan **volatile matter** pada biomassa yang lebih tinggi dari batubara juga terpantau aman pada *mill outlet temperature*, yang tidak menunjukkan kenaikan signifikan, sehingga aman untuk operasi *coal mill*
4. Hasil monitoring **temperatur FEGT** menunjukkan Co-firing 5% biomassa *sawdust* masih dalam batas aman dimana FEGT co-firing biomass rata rata cenderung turun  $4,2^{\circ}\text{C}$  dibanding kondisi eksisting 100% batubara dari semula  $1084,5^{\circ}\text{C}$  menuju  $1080,3^{\circ}\text{C}$ .
5. Hasil evaluasi potensi korosi dan *slagging* didapatkan dengan analisa menggunakan hasil laboratorium dari sampel batubara dan *sawdust*. dari data tersebut dapat dihitung rasio 2S/Cl dengan basis molar, didapatkan hasil, yaitu: batubara sebesar 1,1833 dan *sawdust* sebesar 1,9969. dengan hasil di atas dapat dihitung rasio 2S/Cl dengan basis molar diperoleh nilai sebesar 1,1974 untuk campuran batubara dan *sawdust*.
6. Secara umum hasil kelayakan operasional dari monitoring *visual mixing*, sample material *pyrite*, monitoring parameter operasional *coal mill*, monitoring FEGT boiler masih aman dan dalam batas normal.

## 4.9 TINDAK LANJUT CO-FIRING

1. Untuk pengujian berikutnya perlu dilakukan pengukuran emisi ulang dan memastikan bahwa *portable flue gas analyzer* berfungsi dengan baik sebelum dilakukan pengujian.
2. Perlu pengujian pengoperasian secara kontinyu dengan periode tertentu untuk mengetahui dampak terhadap keandalan (*durability*) pembangkit. Kemudian dilakukan pemeriksaan visual kondisi daerah *furnace*, *waterwall*, *superheater* dan *air heater* setiap 3.000 jam untuk mengetahui potensi *slagging*, *fouling*, dan korosi . Sebelum dilakukan pengujian *durability* dan peningkatan persentase biomassa, perlu dilakukan pemeriksaan dan kalibrasi peralatan ukur tempertur dan tekanan; pembersihan dan pemeriksaan sudut *tilting nozzle*; pembersihan *tube boiler*; pemeriksaan *particle size distribution* dari batubara, biomassa dan *bed material* yang masuk ke *boiler*; pengaturan komposisi *flow* bahan bakar dan udara pembakaran untuk mendapatkan pembakaran sempurna.
3. Untuk menaikkan persentase biomassa *wood pellet/sawdust* pada co-firing perlu dilihat kecenderungan risiko korosi (dengan rasio 2S/Cl), kecenderungan *slagging* (dengan *slagging index*), dan kemampuan unit *boiler* tanpa melakukan modifikasi (besarnya persentase menggunakan biomassa *wood pellet/sawdust* hingga 5%).
4. Perlu dilakukan analisa laboratorium terhadap campuran bahan bakar yang akan masuk ke dalam *boiler* untuk memastikan kandungan tidak menyebabkan *slagging*, aglomerasi dan korosi *boiler* dalam jangka panjang. Macam pengujian yaitu *Proximate analysis*, *Ultimate analysis*, analisa abu, *Ash Fusion Temperature*, dan *Chlorine analysis*.
5. Perlu dilakukan analisa laboratorium terhadap *fly ash* dan *bottom ash* untuk mengetahui kualitas abu setelah dilakukan co-firing.
6. Perlu penambahan peralatan pencampuran bahan bakar (*fuel mixing*) batubara dan biomassa yang disesuaikan dengan kebutuhan unit jika akan dilakukan pengoperasian unit menggunakan mode *co-firing* jangka panjang dan/atau rasio persentase biomassa yang cukup besar.
7. Untuk pengoperasian jangka panjang, perlu dipertimbangkan pemasangan *coating based NiAl* dan *coating based NiCrAlY* pada *waterwall tube* dan *superheater tube boiler* untuk menangani masalah korosi karena kandungan *chlorine* pada biomassa. dengan penambahan *coating* pada *tube boiler* akan mengurangi *heat transfer* di dalam *boiler* dan menurunkan *power* yang dapat dibangkitkan.
8. Perlu penambahan mesin wood chipper apabila akan dilakukan komersialisasi co-firing PLTU Anggrek dengan biomassa woodchip kayu lamtoro ini. Hal ini dilakukan untuk memenuhi biomass flow yang dibutuhkan selama pengoperasian co-firing hingga 5% woodchip kayu lamtoro.
9. Perlu pengujian pengoperasian secara kontinyu dengan periode tertentu untuk mengetahui dampak terhadap keandalan (*durability*) pembangkit. Kemudian dilakukan pemeriksaan visual kondisi daerah *furnace*, *waterwall*, *superheater* dan *air heater* setiap 3.000 jam untuk mengetahui potensi *slagging*, *fouling*, dan korosi . Sebelum dilakukan

pengujian *durability* dan peningkatan persentase biomassa, perlu dilakukan pemeriksaan dan kalibrasi peralatan ukur temperatur dan tekanan; pembersihan dan pemeriksaan sudut *tilting nozzle*; pembersihan *tube boiler*; pemeriksaan *particle size distribution* dari batubara, biomassa dan *bed material* yang masuk ke *boiler*; pengaturan komposisi *flow* bahan bakar dan udara pembakaran untuk mendapatkan pembakaran sempurna (menunggu hasil simulasi CFD).

10. Untuk menaikkan persentase kayu lamtoro pada co-firing perlu dilihat kecenderungan risiko korosi (dengan rasio 2S/Cl), kecenderungan *slagging* (dengan *slagging index*), dan kemampuan unit boiler tanpa melakukan modifikasi (besarnya persentase kayu lamtoro hingga 25%).
11. Untuk menaikkan persentase Cangkang Kelapa Sawit pada co-firing perlu dilihat kecenderungan risiko korosi (dengan rasio 2S/Cl), kecenderungan *slagging* (dengan *slagging index*), dan kemampuan unit boiler tanpa melakukan modifikasi (besarnya persentase Cangkang Kelapa Sawit hingga 25%).
12. Perlu dilakukan analisa laboratorium terhadap campuran bahan bakar yang akan masuk ke dalam *boiler* untuk memastikan kandungan tidak menyebabkan *slagging*, aglomerasi dan korosi *boiler* dalam jangka panjang. Macam pengujian yaitu *Proximate analysis*, *Ultimate analysis*, analisa abu, *Ash Fusion Temperature*, dan *Chlorine analysis*.
13. Perlu dilakukan analisa laboratorium terhadap gumpalan berwarna putih yang ditemukan pada *bottom ash* untuk memitigasi kemungkinan terbentuknya aglomerasi jika diimplementasikan unit kontinyu operasi jangka panjang menggunakan mode *co-firing* biomassa Cangkang Kelapa Sawit.
14. Perlu penambahan peralatan pencampuran bahan bakar (*fuel mixing*) batubara dan Cangkang Kelapa Sawit yang disesuaikan dengan kebutuhan unit jika akan dilakukan pengoperasian unit menggunakan mode *co-firing* jangka panjang dan/atau rasio persentase biomassa yang cukup besar.
15. Untuk pengoperasian jangka panjang, perlu dipertimbangkan pemasangan *coating based NiAl* dan *coating based NiCrAlY* pada *waterwall tube* dan *superheater tube boiler* untuk menangani masalah korosi karena kandungan *chlorine* pada biomassa. dengan penambahan *coating* pada *tube boiler* akan mengurangi *heat transfer* di dalam *boiler* dan menurunkan *power* yang dapat dibangkitkan.
16. Perlu dilakukan analisa laboratorium terhadap gumpalan berwarna putih yang ditemukan pada *bottom ash* untuk memitigasi kemungkinan terbentuknya aglomerasi jika diimplementasikan unit kontinyu operasi jangka panjang menggunakan mode *co-firing* biomassa woodchips kayu kedondong.
17. Perlu penambahan peralatan pencampuran bahan bakar (*fuel mixing*) batubara dan woodchips kayu kedondong yang disesuaikan dengan kebutuhan unit jika akan dilakukan pengoperasian unit menggunakan mode *co-firing* jangka panjang dan/atau rasio persentase biomassa yang cukup besar.
18. Transportasi melalui laut sangat efisien dibandingkan dengan truk. Tongkang atau vessel pengangkut biomasa dari sumbernya langsung dibawah ke dermaga terdekat dengan PLTU. Mengingat rata-rata bulk density biomassa kayu 200 kg/cm<sup>3</sup> lebih kecil dibandingkan rata-rata bulk

- density batubara sub-bituminous 700 kg/cm<sup>3</sup>, maka untuk mengangkut biomassa kayu yang sama dengan batubara dibutuhkan volume 3.5 kali lebih besar. Hal tersebut menyebabkan jumlah trip transportasi dengan kemampuan volume angkut yang sama membutuhkan jumlah angkutan trip 3.5 kali lebih banyak.
- 19. Jumlah trip yang lebih banyak akan menyebabkan timbulnya emisi Gas Rumah Kaca (GRK) dari proses pengangkutan dan loading serta unloading. Jumlah emisi GRK ini akan mengurangi pengurangan emisi GRK yang berasal dari implementasi co-firing yang menjadi salah satu tujuan dari perencanaan ini.
  - 20. Selain kebutuhan trip yang lebih banyak, Teknik pengangkutan biomassa kayu karena lebih ringan, secara teknis membutuhkan cara tertentu yang berbeda dengan pengangkutan batubara.
  - 21. Untuk pengangkutan darat, perlu diperhatikan jumlah trip truk yang akan meningkat. Kondisi infrastruktur jalan yang memadai, frekuensi tinggi dump truk pengangkut biomassa akan memberikan dampak sosial, lingkungan serta ke masyarakat sekitar. Jika jumlah biomassa yang diangkut dalam jumlah besar dan berasal dari luar Pulau Jawa sangat disarankan agar diangkut menggunakan kapal atau tongkang.

# Pertimbangan Lingkungan dan Keselamatan Kerja



5



# Bab V

## Pertimbangan Lingkungan dan Keselamatan Kerja

### 5.1 CO-FIRING DAN DAMPAKNYA PADA LINGKUNGAN



Di Bab I, kita sudah mengulas bagaimana faktor pertimbangan jangka pendek dan faktor jangka panjang seputar dampak terhadap lingkungan yang memotivasi penggunaan teknologi co-firing. Faktor jangka pendek termasuk pengelolaan emisi udara termasuk opositas, sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ), dan oksida nitrogen ( $\text{NO}_x$ ). Faktor jangka panjangnya termasuk pengelolaan gas rumah kaca, dan berupaya menghadapi tantangan iklim global dengan cara yang hemat biaya. Di bab ini kita akan mengulas lebih dalam bagaimana dampak lingkungan dari pengimplementasian co-firing, bagaimana implementasinya di PJB, berikut aspek keselamatan kerja yang perlu diperhatikan dalam mengimplementasikan co-firing.

Bagaimana Biomass Co-firing memberikan manfaat pada Lingkungan?

Pada dasarnya **Batubara adalah fossil fuel** yang berasal dari pepohonan dan tumbuhan yang telah mati jutaan tahun, sedangkan biomassa dalam perspektif co-firing merupakan bahan organik dari bahan dasar kayu/pepohonan olahan yang digunakan bersama dengan batubara sebagai bahan bakar. Karakteristik biomassa dan batubara sebagai bahan bakar memiliki cukup banyak persamaan. Disisi lingkungan kandungan sulfur batubara subbituminous lebih rendah dari batubara bituminous, hal ini membuat biomassa memiliki **kandungan sulfur yang paling rendah**. Sehingga **emisi SO<sub>x</sub>** yang

terbentuk dari proses pembakaran **cenderung turun**. Pdalam siklus hidupnya biomassa tersebut telah **menyerap CO<sub>2</sub> dari lingkungan** sebelum digunakan sebagai **bioenergy**, sehingga biomassa termasuk EBT dan mendorong **replantasi lahan** dan **utilisasi HTI & HTE**

Pembakaran biomassa mempengaruhi lingkungan terutama melalui emisi ke atmosfer. Bergantung pada komponen emisi, ini dapat mempengaruhi lingkungan lokal, regional dan global. Lingkungan lokal dipengaruhi terutama oleh emisi partikel dan komponen lain yang disebabkan oleh pembakaran yang tidak sempurna. Lingkungan regional dipengaruhi oleh presipitasi asam yang terutama berasal dari emisi NO<sub>x</sub> dan SO<sub>2</sub>, sedangkan lingkungan global dipengaruhi oleh emisi gas rumah kaca langsung atau tidak langsung dan melalui penipisan ozon.

Jumlah polutan yang dilepaskan ke atmosfer dari berbagai jenis aplikasi pembakaran biomassa sangat bergantung pada teknologi pembakaran yang diterapkan, sifat bahan bakar, kondisi proses pembakaran, dan langkah-langkah pengurangan emisi primer dan sekunder yang telah diterapkan.

Karena keragaman bahan bakar biomassa yang luas, dengan komposisi unsur, kadar air, kepadatan dan perilaku termokimia yang sangat bervariasi, banyak jenis aplikasi pembakaran biomassa yang berbeda telah dikembangkan. Aplikasi pembakaran biomassa ini mencakup berbagai macam, dari unit skala kecil untuk pemanas ruangan hingga pembangkit listrik skala besar. Oleh karena itu, teknologi pengendalian polusi udara harus dipilih dengan hati-hati, dan ekonomi akan selalu menjadi faktor pembatas. Namun, penerapan batas emisi yang lebih ketat memaksa pengembangan aplikasi pembakaran biomassa rendah emisi ke depan.

Secara umum, langkah-langkah pengurangan emisi yang dikembangkan untuk pembakaran bahan bakar fosil juga dapat diterapkan untuk aplikasi pembakaran biomassa. Semua aplikasi pembakaran biomassa mendapatkan keuntungan dari proses pembakaran yang dioptimalkan, yang mengurangi emisi dari pembakaran yang tidak sempurna. Namun, untuk mengurangi emisi lebih lanjut atau untuk mengurangi emisi dari pembakaran sempurna, tindakan sekunder biasanya harus diterapkan. Untuk aplikasi pembakaran biomassa skala kecil, langkah-langkah pengurangan emisi sekunder seringkali tidak hemat biaya, dan oleh karena itu peraturan emisi biasanya tidak seketat untuk aplikasi pembakaran biomassa skala besar.

Untuk aplikasi pembakaran biomassa yang menggunakan bahan bakar biomassa murni, peraturan emisi biasanya diterapkan untuk emisi dari pembakaran tidak sempurna, seperti beberapa jenis partikel dan CO. Dalam beberapa kasus, peraturan emisi juga diterapkan untuk NO<sub>x</sub>, yang pada tingkat tertentu juga dapat dikurangi dengan langkah-langkah pengurangan emisi primer. Namun, dalam kasus khusus mungkin perlu untuk menerapkan langkah-langkah pengurangan emisi NO<sub>x</sub> sekunder. Emisi SO<sub>2</sub> biasanya tidak signifikan untuk aplikasi pembakaran kayu karena kandungan sulfur yang rendah pada kayu. Namun, untuk bahan bakar biomassa seperti misanthus, rumput dan jerami, emisi SO<sub>2</sub> mungkin signifikan dan langkah-langkah pengurangan emisi SO<sub>2</sub> harus diterapkan.

### 5.1.1 Manfaat Lingkungan dari Co-firing Biomassa

Ada beberapa manfaat lingkungan dari co-firing biomassa ketika biomassa dibakar pada tingkat 4% sampai 10% dari masukan panas:

- Biomassa umumnya dianggap sebagai sumber bahan bakar terbarukan, yang berasal dari energi matahari.
- Pembangkit listrik tenaga biomassa merupakan sarana pembangkit listrik yang tersedia sekarang, siap untuk digunakan.
- Pembakaran biomassa relatif rendah biaya modalnya. (Perlu dicatat bahwa co-firing biomassa tidak menambah kapasitas baru di MWe, melainkan dihasilkan dari bahan bakar yang berbeda, yang terbarukan, menggunakan kapasitas pembangkit yang ada.)
- Pembakaran biomassa memberikan pengurangan emisi gas rumah kaca.
- Pembakaran biomassa membantu mengurangi dampak lingkungan ketika biomassa yang dibakar akan menjadi sumber masalah pembuangan limbah padat atau masalah pencemaran air.
- Penggunaan biomassa co-firing dengan batubara adalah cara untuk menggunakan teknologi berbasis batubara, aset, dan keahlian untuk membangun industri biomassa yang terbarukan. Industri baru ini dapat tumbuh dari perannya yang kecil saat ini menjadi pemain utama di masa depan. Titik awal berbasis batubara dalam co-firing biomassa dapat memberikan peningkatan teknologi, pilihan biaya yang lebih rendah, dan pasar baru yang menjadi cara untuk mengembangkan dan memperluas infrastruktur pasokan bahan bakar untuk biomassa terbarukan.

Mayoritas bahan bakar biomassa secara signifikan lebih rendah dalam polutan udara potensial daripada kebanyakan batubara. Kebanyakan biomassa hampir tidak memiliki sulfur, merkuri rendah, nitrogen rendah, dan kadar abu rendah. Ada pengecualian, tetapi ini dapat diidentifikasi dan dikontrol melalui pencampuran, misalnya. Limbah konstruksi dan pembongkaran dapat memiliki kandungan sulfur yang sangat tinggi karena adanya gypsum (kalsium sulfat) di wallboard. Kayu yang diolah dapat mengandung sejumlah kecil elemen beracun. Tanaman dengan kadar protein tinggi atau ditanam dengan kadar pupuk tinggi dapat memiliki kandungan nitrogen yang tinggi. Secara keseluruhan, biomassa biasanya jauh lebih unggul daripada batubara dalam hal konsentrasi sulfur, merkuri, nitrogen, abu, dan logamnya (EPRI TR-108952).

Selain itu, co-firing biomassa pada awalnya melibatkan mitigasi emisi gas rumah kaca dari pembangkit listrik tenaga batu bara, menggantikan karbon yang sudah ada di lingkungan dengan karbon yang diserap sebagai batu bara. Jika bahan limbah seperti serbuk gergaji dianggap sebagai bahan bakar, manfaat gas rumah kaca tambahan dari pengurangan pembentukan metana di tempat pembuangan sampah juga dipertimbangkan. Akibatnya, manfaat lingkungan telah menjadi fokus tradisional untuk pembakaran biomassa.

Beberapa masalah lingkungan memiliki konsekuensi ekonomi yang jelas. Pengurangan emisi SO<sub>2</sub> memiliki nilai tunai jika pengurangan emisi tersebut dijual. Saat ini, emisi tersebut memiliki nilai berkisar antara \$ 120 / ton

sampai \$ 130 / ton (2008). Proyeksi adalah agar emisi tersebut meningkat nilainya dari waktu ke waktu. Pengurangan emisi NOx memiliki nilai moneter jika mereka mengizinkan pembangkit listrik untuk menghindari investasi modal yang mahal, atau jika mereka mengizinkan pembangkit listrik untuk mengurangi biaya operasi yang terkait dengan pengendalian NO<sub>x</sub> (misalnya, mengurangi konsumsi amonia untuk pengurangan katalitik selektif atau non-katalitik selektif sistem reduksi, mengurangi konsumsi gas alam untuk sistem *reburn*). Jika pengurangan opasitas membantu mengelola biaya yang terkait dengan pemicu elektrostatik, maka manfaat moneter serupa berlaku.

### 5.1.2 Pengelolaan Emisi Udara

Co-firing PLTU memberikan pengaruh terhadap emisi gas buang. Emisi gas buang pada parameter sulfur Dioksida, nitrogen oksida dan karbon dioksida akan mengalami penurunan, hal tersebut dikarenakan kandungan sulfur, nitrogen dan carbon pada biomassa lebih kecil daripada batubara. Secara umum emisi pada co-firing PLTU masih Memenuhi standard emisi pada peraturan Menteri Lingkungan Hidup No.15 Tahun 2019 tentang baku mutu emisi pembangkit. Penurunan emisi pada parameter karbon Dioksida bisa membantu Pemerintah Indonesia dalam menurunkan beban emisi karbon Dioksida sesuai yang telah disepakati oleh negara-negara dunia dalam *Paris Climate Agreement*.

### 5.1.3 Kepatuhan Regulasi di Indonesia

Pelaksanaan co-firing harus memperhatikan aspek lingkungan, keamanan, kesehatan dan keselamatan kerja. Perencanaan dan pengelolaan lingkungan, keamanan serta kesehatan dan keselamatan kerja (K3) dilakukan berdasarkan peraturan perundangan yang berlaku antara lain: UU 01/1970 tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja, UU 32/2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Co-firing Biomassa pada PLTU telah diakui sebagai salah satu solusi potensial yang efektif dan efisien dalam menurunkan emisi gas rumah kaca (GRK). Jenis biomassa yang digunakan dalam Co-firing PLTU di Indonesia adalah *wood pellet*, wood chips dan pellet sampah (SRF). Pada bab ini kita akan membahas dampak lingkungan dari co-firing biomassa PLTU secara lebih mendalam.

Meningkatnya kekhawatiran tentang dampak lingkungan dari pembangkit listrik dari bahan bakar fosil telah mendorong pengembangan sarana pembangkit listrik yang lebih berkelanjutan. di Indonesia, hal ini diaplikasikan melalui peningkatan porsi energi terbarukan dan berkelanjutan dalam pasokan energi nasional. Sumber energi terbarukan sedang bersaing dengan energi fosil, meskipun dihadapkan pada biaya yang relatif tinggi, dan beberapa risiko teknis yang tinggi.

Co-firing biomassa dengan batubara di boiler berbahan bakar batu bara konvensional dapat memberikan opsi yang cukup menarik untuk pemanfaatan biomassa untuk pembangkit listrik. Co-firing memanfaatkan infrastruktur pembangkit listrik eksisting, dan hanya membutuhkan investasi modal tambahan yang relatif sederhana. Co-firing biomassa adalah salah satu

teknologi paling ekonomis yang tersedia untuk mengurangi CO<sub>2</sub> secara signifikan.

Secara keseluruhan, pendorong utama meningkatnya permintaan akan kemampuan pembangkit untuk dapat melakukan co-firing biomassa dan batubara, baik pada boiler yang baru dan yang sudah ada (eksisting) adalah bahwa co-firing dianggap sebagai pilihan yang sangat menarik dalam pemanfaatan biomassa, dan untuk pemenuhan porsi energi terbarukan. keamanan pasokan bahan bakar pembangkit listrik dan biaya pembangkit.

Manajemen lingkungan, keamanan, kesehatan dan keselamatan kerja di pembangkit listrik merupakan hal yang mutlak harus dilakukan, baik ketika tidak mengaplikasikan co-firing maupun ketika mengaplikasikan co-firing. Hal ini sesuai dengan amanat UU No. 30 Tahun 2009 tentang Keselamatan Ketenagalistrikan dimana meliputi aspek keselamatan kerja, keselamatan umum, keselamatan instalasi, dan keselamatan lingkungan.

Literatur yang perlu menjadi perhatian antara lain:

1. The Handbook of Biomass Combustion & Co-firing, 2008, (Sjaak van Loo and Jaap Koppejan)
2. The potential fire and explosion hazards in biomass co-firing with conventional fossil fuels based on data obtained during testing, 2018 (Bozena Kukfisz)
3. Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction, 2018 (Prabir Basu)

### 5.1.4 Peraturan Lingkungan di Indonesia

Beberapa Peraturan Terkait Lingkungan yang berlaku di Indonesia

1. Undang-Undang No 5 tahun 1990 Tentang Konservasi Sumber Daya Alam Hayati dan Ekosistemnya.
2. Undang-Undang Republik Indonesia No.18 tahun 2008 tentang Pengelolaan Persampahan.
3. Undang-Undang No 32 Tahun 2009 Tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
4. Peraturan Pemerintah No. 41 Tahun 1999, Tentang Pengendalian Pencemaran Udara.
5. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 82 Tahun 2001, Tentang Pengelolaan Kualitas Air Dan Pengendalian Pencemaran Air.
6. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 38 Tahun 2011 Tentang Sungai.
7. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 27 Tahun 2012, Tentang Izin Lingkungan.
8. Peraturan Pemeritah Republik Indonesia No. 101 Tahun 2014, Tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun.
9. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 24 Tahun 2018, tentang pelayanan Perizinan Berusaha Terintegrasi Secara Elektronik.
10. Surat Keputusan Menteri Negara Lingkungan No.48 /MENLH/11 /1996, Tentang Baku Tingkat Kebisingan.

## Bab V Pertimbangan Lingkungan dan Keselamatan Kerja

---

11. Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Laut.
12. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 12 tahun 2006 tentang Persyaratan dan Pedoman Pembuangan Limbah Cair ke Laut.
13. Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 08 Tahun 2009, tentang baku mutu air limbah bagi usaha dan/atau kegiatan pembangkit listrik tenaga termal.
14. Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 17 tahun 2012, tentang Keterlibatan Masyarakat dalam Proses Analisis Mengenai Dampak Lingkungan Hidup dan Izin Lingkungan.
15. Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No 63 Tahun 2016 tentang Penimbunan Limbah Berbahaya dan Beracun di Tempat Penimbunan Akhir.
16. Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 15 Tahun 2019, tentang baku mutu emisi sumber tidak bergerak bagi usaha dan/atau kegiatan pembangkit listrik termal.
17. Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 38 Tahun 2019, tentang Jenis Usaha dan/atau Kegiatan yang Wajib Dilengkapi dengan Analisis Mengenai Dampak Lingkungan Hidup.

### **Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 26, Tahun 2018 (Acuan Izin Lingkungan)**

Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 26, Athun 2018 mengatur tentang pedoman penyusunan dan penilaian serta pemeriksaan dokumen lingkungan hidup dalam pelaksanaan pelayanan perizinan berusaha terintegrasi secara elektronis. Dalam pasal 43 ayat 1 disebutkan bahwa "Pelaku usaha wajib mengajukan permohonan perubahan izin lingkungan, apabila usaha dan/atau kegiatan yang telah memperoleh izin lingkungan direncanakan untuk dilakukan perubahan". Kriteria perubahan yang dimaksud pada ayat satu dijelaskan pada ayat dua antara lain adalah sebagai berikut:

1. Perubahan kepemilikan usaha dan/atau kegiatan
2. Perubahan pengelolaan dan pemantauan lingkungan hidup
3. Perubahan yang berpengaruh terhadap lingkungan hidup
4. Terdapat perubahan dampak dan/atau risiko lingkungan hidup berdasarkan hasil kajian, analisis risiko lingkungan hidup dan/atau audit lingkungan hidup yang diwajibkan
5. Tidak dilaksanakannya rencana usaha dan/atau kegiatan dalam jangka waktu 3 (tiga) tahun sejak diterbitkannya izin lingkungan hidup

Dalam lampiran V pada peraturan disebutkan salah satu contoh perubahan yang berpengaruh pada lingkungan hidup adalah perubahan pada penggunaan bahan bakar.

### Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 15, Tahun 2019 (Acuan Baku Mutu Emisi)

Pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 15, Tahun 2019 baku mutu emisi penggunaan biomassa dan sampah sebagai bahan bakar diatur dalam lampiran VI dan VII, sedangkan untuk bahan bakar campuran di atur dalam lampiran VIII.

### Peraturan Pemerintah No. 101 tahun 2014 dan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 10, Tahun 2020 (Acuan Pengelolaan Limbah B3)

Berdasarkan peraturan PP No 101 tahun 2014, limbah *fly ash* dan *bottom ash* termasuk dalam kategori limbah berbahaya dan beracun dari sumber spesifik khusus. Berdasarkan pasal 3 ayat 1 PP 101 tahun 2014 "setiap orang yang menghasilkan limbah B3 wajib melakukan pengelolaan limbah B3 yang dihasilkannya". Berdasarkan pasal 15 Peraturan Menteri Lingkungan hidup dan Kehutanan No. 10, Tahun 2020, "setiap orang yang menghasilkan limbah B3 dari sumber spesifik dapat dikecualikan dari kewajiban melakukan pengelolaan limbah B3". Dan pada pasal 37 dijelaskan "setiap orang yang menghasilkan Limbah B3 dari sumber spesifik yang akan melakukan Pemanfaatan Limbah B3 dari sumber spesifik sebagai Produk Samping dapat mengajukan permohonan penetapan Limbah B3 dari sumber spesifik sebagai Produk Samping kepada Menteri". dengan melakukan pengecualian atau penetapan sebagai produk samping, maka pengelolaan limbah *fly ash* dan *bottom ash* dari hasil co-firing PLTU dapat lebih mudah dan bisa dimanfaatkan untuk keperluan tertentu.

## 5.2 GAMBARAN DAMPAK LINGKUNGAN

### 5.2.1 Dampak Lingkungan dari Pembakaran Biomassa

Dampak lingkungan dari polusi udara dari sebagian besar aplikasi pembakaran biomassa saat ini jauh dari dapat diabaikan. Namun, dibandingkan dengan aplikasi pembakaran bahan bakar fosil, ada beberapa keunggulan.

Pertama-tama, biomassa adalah bahan bakar terbarukan, dan dianggap sebagai CO<sub>2</sub>- netral sehubungan dengan keseimbangan gas rumah kaca. Namun, ini hanya benar jika kita dapat mencapai tingkat emisi yang sangat rendah dari pembakaran tidak sempurna, dan jika kita tidak memasukkan penggunaan bahan bakar fosil dalam pemanenan dan transportasi bahan bakar biomassa, dan penggunaan listrik yang dihasilkan dari bahan bakar fosil.

Untuk mengevaluasi dampak lingkungan nyata dari pembakaran biomassa, analisis siklus hidup (LCA) idealnya harus dilakukan. Jenis evaluasi ini mencakup berbagai tahapan siklus hidup biomassa, mulai dari pengadaan bahan bakar, pengangkutan, penyimpanan dan konversi hingga pembuangan

dan penanganan abu. Konstruksi, pengoperasian, pemeliharaan, dan dekomisioning teknologi konversi energi juga harus dimasukkan dalam penilaian sesuai dengan metode LCA. Pertukaran dengan lingkungan sekitar dalam hal emisi ke udara, tanah, dan air kemudian diinventarisasi untuk setiap tahap dalam siklus hidup. Pertukaran ini ditambahkan untuk menunjukkan dampak lingkungan seperti pemanasan global, pengasaman dan penipisan ozon dalam penilaian dampak lingkungan.

Sebuah studi LCA disajikan di mana pengadaan dan konversi biomassa dan bahan bakar fosil dibandingkan. Studi tersebut mencakup emisi CO<sub>2</sub> (dinyatakan sebagai ekuivalen CO<sub>2</sub> ), NO<sub>x</sub> dan SO<sub>x</sub>. Disimpulkan bahwa pengadaan bahan bakar biomassa secara umum mengonsumsi lebih sedikit energi dibandingkan pengadaan bahan bakar fosil. Selanjutnya dapat disimpulkan bahwa bahan bakar fosil menyebabkan emisi tertinggi untuk masing-masing parameternya yaitu CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> dan SO<sub>x</sub>.

Banyak kegiatan yang berkaitan dengan pengadaan bahan bakar melibatkan penggunaan bahan bakar fosil. Oleh karena itu, tidak sepenuhnya benar untuk mendefinisikan bahan bakar biomassa sebagai CO<sub>2</sub>- netral ketika mempertimbangkan siklus hidup lengkap. Namun demikian, dapat disimpulkan bahwa kesenjangan antara dampak CO<sub>2</sub> dari biomassa dan bahan bakar fosil semakin besar dengan pertimbangan pengadaan. Kesenjangan ini bahkan lebih besar dalam kasus bahan bakar biomassa favorit.

Aspek lain dari pengadaan idealnya juga harus disertakan dalam penilaian, seperti, misalnya, penggunaan pupuk dan pelepasan N<sub>2</sub>O selama pertumbuhan biomassa. N<sub>2</sub>O adalah gas rumah kaca yang sangat kuat dan oleh karena itu, meskipun dalam jumlah kecil, dapat mengubah gambarannya. Penanganan abu juga harus diperhatikan, baik digunakan kembali / didaur ulang atau harus dikirim ke TPA karena kandungan logam berat seperti kadmium yang tinggi.

Peningkatan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer merupakan insentif utama untuk peningkatan substansial dalam penggunaan biomassa untuk produksi panas dan tenaga listrik di negara-negara IEA saat ini. Sebagai bahan bakar terbarukan, biomassa akan tersedia untuk panas dan produksi listrik dalam jumlah besar setelah sumber bahan bakar fosil berkurang. Cadangan minyak dan gas bumi menurun dengan cepat, sedangkan cadangan batu bara akan tersedia lebih lama. Namun, seperti yang dapat dilihat pada Tabel 27, batubara adalah bahan bakar fosil yang paling tidak menarik untuk produksi panas dan tenaga karena tingkat emisinya yang tinggi.

## Bab V Pertimbangan Lingkungan dan Keselamatan Kerja

Tabel 27 Emisi dari Pembangkit Listrik Berbahan Bakar Fosil 2000mw Menggunakan Batu Bara, Udara

<b>Coal, conventional without flue gas desulphurization [kt/year]</b>	<b>Oil, conventional [kt/year]</b>	<b>Gas, combined cycle [kt/year]</b>
Carbon dioxide	11,000	9000
Airborne particulates	7	3
Sulphur dioxide	150*	170
Nitrogen oxides	45	32
Carbon monoxide	2.5	3.6
Hydrocarbons	0.750	0.260
Hydrochloric acid	5–20	Negligible
Solid waste and ash	840	Negligible
Ionizing radiation (Bq)	$10^{11}$	$10^9$
		$10^{12}$

Catatan: \* Batubara tanpa desulfurisasi bukanlah teknologi mutakhir saat ini, jadi angka ini tidak mewakili praktik terbaik saat ini.

NO<sub>x</sub> dan SO<sub>x</sub> emisi dari aplikasi biomassa pembakaran, secara umum, rendah dibandingkan dengan batubara dan pembakaran minyak. Dalam kebanyakan kasus, tingkat emisi NO<sub>x</sub> dapat dikurangi secara signifikan dengan menggunakan langkah-langkah pengurangan emisi primer, dan selanjutnya dapat dikurangi dengan menerapkan langkah-langkah pengurangan emisi sekunder. Emisi SO<sub>x</sub> dapat dengan mudah dikurangi dengan langkah-langkah pengurangan emisi sekunder, dan dalam beberapa kasus juga dengan langkah-langkah pengurangan emisi primer. Namun, untuk banyak aplikasi pembakaran biomassa, langkah-langkah pengurangan emisi sekunder untuk NO<sub>x</sub> dan SO<sub>x</sub> tidak hemat biaya karena fakta bahwa aplikasi pembakaran biomassa biasanya jauh lebih kecil daripada aplikasi pembakaran bahan bakar fosil.

Kerugian utama dari aplikasi pembakaran biomassa, terutama aplikasi skala kecil seperti furnace kayu, perapian, dan boiler kayu, adalah tingkat emisinya yang tinggi dari pembakaran tidak sempurna dibandingkan dengan aplikasi pembakaran bahan bakar fosil. Banyak dari unit pembakaran biomassa skala kecil ini didasarkan pada rancangan alami dan juga dioperasikan sebagai sistem batch atau semi-kontinyu. Selain itu, sistem kendali proses pembakaran biasanya tidak hemat biaya.

Salah satu keuntungan utama dari pembakaran biomassa untuk menghasilkan panas dan tenaga adalah pemanfaatan sumber bahan bakar terbarukan, yang dalam banyak kasus tersedia secara lokal, dan yang dalam banyak kasus memiliki nilai alternatif yang sangat rendah atau bahkan negatif. Tindakan pengurangan emisi diketahui dan tersedia untuk semua komponen emisi berbahaya; itu hanya tergantung pada batas emisi dan efektivitas biaya apakah langkah-langkah pengurangan emisi diterapkan atau tidak. dengan meningkatkan ukuran aplikasi pembakaran biomassa, kemungkinan pengurangan emisi yang lebih baik akan menjadi hemat biaya. Namun, ketersediaan lokal bahan bakar biomassa dan biaya transportasi biasanya akan menjadi faktor pembatas untuk ukuran aplikasi pembakaran biomassa. Kemungkinan biomassa dengan co-firing dan bahan bakar fosil

cukup menjanjikan, baik dalam hal pemanfaatan biomassa yang efektif untuk panas dan produksi listrik dan untuk mencapai tingkat emisi yang rendah.

Singkatnya, biomassa adalah bahan bakar ramah lingkungan untuk panas dan produksi listrik yang penting saat ini dan akan semakin penting di tahun-tahun mendatang. Teknologi untuk mengurangi emisi dan meningkatkan efisiensi pembakaran terus dikembangkan. dengan demikian dampak lingkungan negatif dari pembakaran biomassa yang ada saat ini akan berkurang di plant masa depan.

### 5.2.2 Dampak Lingkungan dari Co-firing di Boiler Siklon

Co-firing biomassa dalam boiler siklon telah dievaluasi dengan pengujian dan pemodelan komputer. Hasil ini mendokumentasikan manfaat lingkungan dari pencampuran biomassa ke dalam aliran umpan bahan bakar. Manfaat ini termasuk kriteria polutan, emisi logam jejak, dan emisi gas rumah kaca.

#### Kriteria Polutan

Pengujian co-firing biomassa yang ekstensif ditambah dengan pemodelan komputer yang terkait dengan tes siklon lainnya, telah menunjukkan dampak positif dari biomassa co-firing dengan batubara dalam boiler siklon. Emisi SO<sub>2</sub> telah terbukti menurun sebagai fungsi substitusi bahan bakar. Dampaknya paling dramatis ketika menggabungkan limbah kayu dengan batubara timuran. Namun, dampaknya dapat diukur saat bekerja sama dengan batubara barat.

Opasitas adalah area lain yang dapat ditingkatkan dengan co-firing, meskipun opasitas lebih kompleks daripada sekadar emisi partikulat. Komponen opasitas termasuk partikulat, Plume NO<sub>x</sub>, dan SO<sub>3</sub>. Pengukuran opasitas selama pengujian co-firing cenderung menunjukkan bahwa co-firing membuat pengurangan sederhana dalam nilai-nilai ini, meskipun pengurangan itu tidak selalu sekuisten yang diinginkan.

Terdapat bukti signifikan bahwa menyatukan biomassa kayu dengan batu bara dapat secara dramatis mengurangi emisi NO<sub>x</sub>, terutama jika pengoperasian boiler dirancang untuk mencapai tujuan ini.

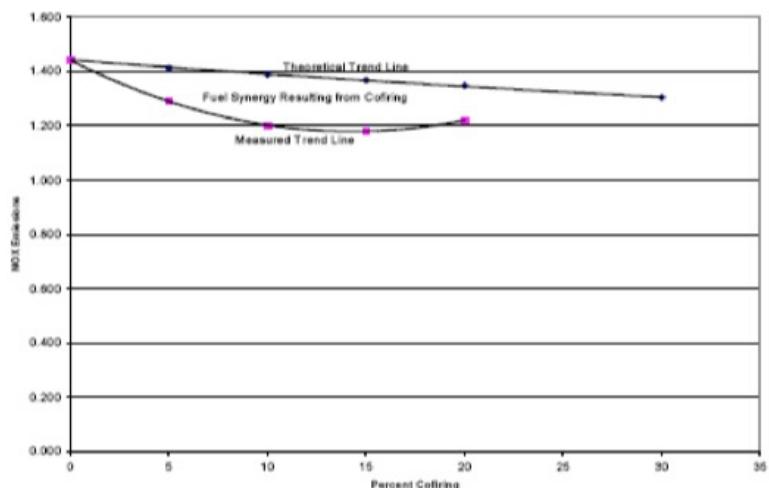
Co-firing dengan biomassa dapat mempengaruhi emisi NO<sub>x</sub> melalui jalur berikut:

- Spesies biomassa biasanya mengandung sejumlah besar uap air, yang menurunkan suhu nyala api dan menurunkan tingkat termal NO<sub>x</sub>.
- Secara umum, biomassa mengandung kandungan volatil yang tinggi, yang dapat mengubah karakteristik nyala api dengan menyediakan zona awal yang kaya bahan bakar pada nyala api. Jadi, NO yang dihasilkan dari bahan bakar nitrogen bereaksi dengan HCN dan NH<sub>3</sub>, menghasilkan N<sub>2</sub>, bukan NO<sub>x</sub>.
- Pada fase gas, nitrogen bahan bakar biomassa yang mudah menguap cenderung membentuk NH berbeda dengan HCN yang dibentuk oleh

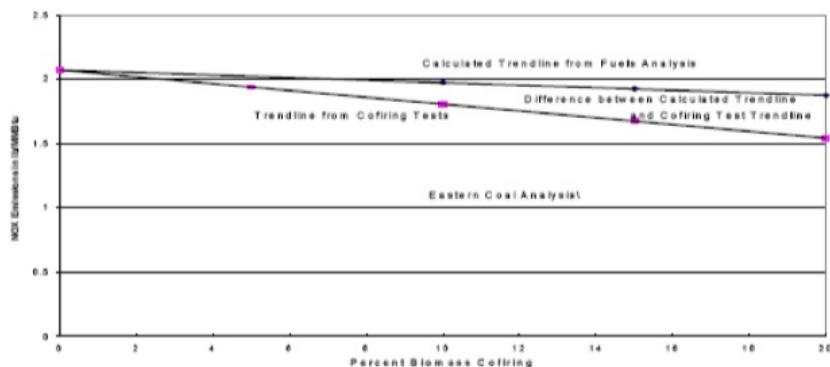
- nitrogen batubara bituminous, yang dapat menghasilkan emisi NO<sub>x</sub> yang lebih rendah.
- Karena volatilitasnya yang tinggi, biomassa dapat digunakan sebagai bahan bakar reburn pada boiler berbahan bakar batubara untuk menurunkan emisi NO<sub>x</sub>.

Pengurangan NO<sub>x</sub> memberikan manfaat lingkungan yang paling signifikan dari biomassa co-firing dalam boiler siklon. Gambar 5-1 dan 5-2 menunjukkan tingkat NO<sub>x</sub> yang diukur terkait dengan co-firing di plant Fosil Allen dibandingkan dengan emisi NO<sub>x</sub> yang secara teoritis dihitung menggunakan bahan bakar campuran. Gambar 101 menggunakan batubara Subbituminous Powder River Basin, sedangkan Gambar 102 menggunakan batubara bituminous timur (EPRI TR-108952).

Di luar penggunaan co-firing biomassa untuk pengurangan NO<sub>x</sub> dalam aplikasi tradisional, Reaction Engineering Internasional melakukan studi laboratorium tentang penggunaan biomassa sebagai bahan bakar reburn potensial. Pemodelan ekstensif selama proyek tersebut telah digabungkan dengan pekerjaan laboratorium untuk menunjukkan bahwa biomassa dapat seefektif gas alam atau batu bara dalam aplikasi reburn di mana pengurangan NO<sub>x</sub> pada urutan 50% telah diidentifikasi.



Gambar 101 Tingkat NO<sub>x</sub> dari Boiler Berbahan Bakar Siklon yang Menggunakan Biomassa Dan Batubara Subbituminous



Gambar 102 Tingkat NO<sub>x</sub> dari Boiler Berbahan Bakar Siklon yang Menggunakan Biomassa Dan Batubara Bituminous Timur

### Lacak Emisi Logam

Karena suhu yang sangat tinggi dalam boiler berbahan bakar siklon (3000 ° F hingga 355°F), sebagian besar trace metal memasuki fase uap dan mengondensasi *fly ash* di daerah yang lebih dingin dari boiler dan / atau pembangkit listrik (misalnya, *economizer*, pemanas udara, atau pengendap elektrostatik). Selain itu, karena siklon menangkap ~ 70–75% bahan abu dalam bahan bakar sebagai terak dan abu dasar, dan hanya melepaskan ~ 25–30% sebagai *fly ash*, terdapat pengayaan logam yang signifikan yang terjadi di boiler siklon. Bahan bakar biomassa biasanya memiliki konsentrasi trace metal lebih rendah daripada batubara, terutama jika trace metal dinyatakan sebagai lb / 106 Btu.

Bahan bakar biomassa juga memiliki konsentrasi abu 1-3%. Akibatnya, sementara emisi logam jejak dapat dikurangi tergantung pada batubara dan biomassa yang terbakar, konsentrasi pada *fly ash* mungkin atau mungkin tidak berkurang tergantung pada hubungan antara konsentrasi logam dalam bahan bakar dan persentase abu dalam bahan bakar campuran.

### Emisi Gas Rumah Kaca

Co-firing dalam boiler siklon telah terbukti efektif pada level hingga 20% massa, atau sekitar 9% dengan input panas. di tingkat plant, ini berarti pengurangan CO<sub>2</sub> fosil hingga sekitar 7,5 atau 8% dapat dicapai. Namun, co-firing dalam boiler siklon biasanya melibatkan limbah biomassa. Akibatnya, bahan-bahan ini bisa berakhir di tempat pembuangan sampah, menghasilkan tambahan metana yang akan dilepaskan. Dalam kondisi ini, pengurangan emisi gas rumah kaca bisa mencapai 15% ketika pihak utilitas menangkap manfaat ganda yang terkait dengan penggunaan kayu bekas, bahan pertanian, atau bahan bakar nabati lainnya daripada mengirimnya ke TPA.

### 5.2.3 Dampak Lingkungan dari Co-firing di Boiler *Pulverized coal*

Manfaat lingkungan dari co-firing biomassa dalam boiler *pulverized coal* menguntungkan. Sementara co-firing pada persentase rendah dalam boiler *pulverized coal* menggunakan pengumpanan biomassa dan batubara secara simultan melalui *pulverizer* memiliki dampak lingkungan yang kecil, co-firing pada persentase yang lebih tinggi dengan menggunakan pengumpanan terpisah cukup menguntungkan. Satu-satunya manfaat lingkungan dari co-firing persentase rendah dalam boiler *pulverized coal* yang menggunakan pengumpanan simultan dikaitkan dengan mitigasi gas rumah kaca. Pengurangan 1–3% dalam fosil CO<sub>2</sub> dan metana setara dari tempat pembuangan sampah dapat diproyeksikan menggunakan teknik ini. Dampak lingkungan yang terkait dengan co-firing menggunakan umpan terpisah untuk biomassa, bagaimanapun, meluas ke semua kriteria polutan dan jejak logam serta emisi gas rumah kaca.

#### Kriteria Polutan

Emisi SO<sub>2</sub> dari co-firing merupakan fungsi dari kandungan sulfur dalam bahan bakar. Saat kandungan sulfur bahan bakar berkurang, maka emisi SO<sub>2</sub> harus dikurangi. Data uji tentang hal ini tidak konsisten; Namun, hal itu disebabkan oleh variabilitas dalam kandungan sulfur batubara yang menutupi hasil.

Hasil opasitasnya lebih disukai. Tes co-firing dengan *switchgrass* menunjukkan penurunan 62% dalam opacity ketika co-firing pada 10% massa. di hampir semua kasus, terdapat sinergi antara batubara dan biomassa yang dapat dicapai dengan co-firing.

#### Lacak Emisi Logam

Dampak co-firing pada emisi trace metal sebagian besar merupakan fungsi dari konsentrasi trace metal dalam batubara dan biomassa serta suhu di mana pembakaran terjadi. Seperti yang telah dibahas sebelumnya, dampak co-firing melibatkan penggantian bahan bakar dengan logam jejak konsentrasi rendah untuk bahan bakar dengan konsentrasi logam jejak yang lebih tinggi. Dampak lainnya adalah suhu nyala api dan suhu furnace.

Seperti yang telah diperlihatkan sebelumnya, suhu nyala api yang terkait dengan co-firing tidak berbeda secara signifikan dari suhu nyala api saat menembakkan batu bara saja. Akibatnya, salah satu pengaruhnya adalah mengganti bahan bakar dengan konsentrasi logam jejak yang berpotensi lebih rendah untuk bahan bakar dengan kemungkinan konsentrasi logam jejak yang lebih tinggi. Karena sekitar 80% bahan anorganik dalam bahan bakar dilaporkan sebagai *fly ash* dalam boiler *pulverized coal*, potensi pengayaan *fly ash* dengan unit-unit ini lebih kecil dibandingkan dengan boiler siklon. Pada aspek lain, dampaknya serupa.

### Emisi Gas Rumah Kaca

Prinsip fundamental yang terkait dengan emisi gas rumah kaca telah dibahas sehubungan dengan boiler siklon; a Btu dari bahan bakar biomassa dapat diganti dengan Btu batubara setelah dilakukan penyesuaian untuk kehilangan efisiensi boiler. Mengingat potensi terjadinya kebakaran bersama sekitar 15 hingga 20% secara massal (7–10% berdasarkan masukan panas), terdapat potensi untuk mengurangi emisi CO<sub>2</sub> fosil dari plant sekitar 4–7%. Penalti efisiensi yang terkait dengan co-firing *pulverized coal* tampaknya sedikit lebih tinggi daripada penalti efisiensi yang terkait dengan co-firing batu bara siklon. Jika penghindaran pembentukan metana TPA dimasukkan dalam persamaan, maka pengurangan emisi gas rumah kaca dari co-firing dalam boiler *pulverized coal* menggunakan sistem umpan terpisah dan level co-firing sedang dapat berada pada urutan 8–15%. Ini adalah angka yang signifikan ketika mempertimbangkan co-firing sebagai cara untuk mitigasi gas rumah kaca.

### 5.3 PERALATAN PEMBERSIH GAS BUANG

Terlepas dari jenis boiler, co-firing biomassa akan berdampak pada peralatan pembersihan gas buang. Dalam boiler pembangkit listrik tenaga batu bara modern, peralatan pengendali emisi gas dan gas utama saat ini berkaitan dengan pengendalian spesies berikut:

- Kontrol emisi partikulat total, terutama menggunakan presipitator elektrostatik kering atau filter kain
- Kontrol emisi NO<sub>x</sub>, dengan pengukuran primer dan sekunder, dengan reduksi katalitik selektif (SCR) menjadi pengukuran sekunder yang paling umum diterapkan
- Pengendalian emisi SO<sub>x</sub> terutama dengan teknik desulfurisasi gas buang (FGC) basah, kering, dan semi-kering

Semua teknologi pembersihan gas buang yang tercantum di atas telah terbukti secara industri untuk penggunaan batu bara pada berbagai kualitas batu bara dan untuk semua skala operasi yang relevan.

### Dampak Co-firing pada Perangkat Koleksi Partikulat

Ketika mempertimbangkan efek co-firing biomassa pada elektrostatik presipitator (ESP) dan / atau kinerja baghouse dan pada tingkat emisi partikulat, perhatian teknis utama adalah bahwa partikel *fly ash* yang dihasilkan dari pembakaran biomassa cenderung berbeda secara kimia dari abu *pulverized coal*, secara signifikan lebih kecil daripada yang berasal firing batu bara, dan memiliki kecenderungan lebih besar untuk menghasilkan asap dan uap submikron dalam jumlah yang signifikan. Oleh karena itu, mungkin ada kecenderungan efisiensi penangkapan partikel di ESPs dan baghouse menurun dengan meningkatnya rasio co-firing dan untuk tingkat emisi partikulat total meningkat sesuai.

Di sebagian besar negara, perlu untuk menunjukkan kepada regulator lingkungan bahwa bahan biomassa co-firing tidak memiliki dampak lingkungan negatif tambahan yang signifikan dibandingkan dengan firing batubara. Penting juga untuk menunjukkan bahwa semakin banyak bukti bahwa, pada rasio co-firing biomassa yang relatif rendah (kurang dari 10% berdasarkan masukan panas), hanya ada sedikit insiden peningkatan signifikan dalam tingkat emisi partikulat total yang dapat dikaitkan dengan aktivitas co-firing biomassa. Namun, ada kekhawatiran bahwa ini mungkin tidak berlaku pada rasio co-firing yang lebih tinggi dan modifikasi pada peralatan pengumpul partikulat yang dipasang mungkin diperlukan. Namun, perlu dicatat bahwa, hingga saat ini, pengalaman industri yang menggunakan bahan biomassa pada tingkat di atas 10% dengan basis masukan panas masih terbatas.

### 5.4 PENGELOLAAN LIMBAH CO-FIRING

#### 5.4.1 Air Limbah

Pada co-firing PLTU efek terhadap penambahan air limbah tidak terlalu signifikan dan bersifat irregular. Air limbah dihasilkan dari run-off air hujan di daerah storage biomassa. Air limbah dari proses tersebut akan disalurkan ke *waste water treatment plant* untuk selanjutnya diolah. Standar efluen air limbah mengacu pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 8 tahun 2009 tentang standar kualitas air limbah untuk kegiatan pembangkit listrik.

#### 5.4.2 Limbah Padat

Pada co-firing PLTU timbulan limbah padat yang dihasilkan tidak terlalu signifikan. Limbah padat dihasilkan dari proses *handling* biomassa. Tumpahan biomassa dari akan dibersihkan secara berkala dan dikembalikan ke tempat penyimpanan biomassa.

#### 5.4.3 Kebisingan

Co-firing PLTU tidak memberikan dampak terlalu signifikan pada Kebisingan. Standar Kebisingan mengacu pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 48, tahun 1996 tentang baku mutu Kebisingan. Hal-hal yang bisa dilakukan untuk mengurangi dampak Kebisingan adalah sebagai berikut:

- Memasang *enclosure* pada peralatan seperti pompa, dan dan blower
- Memasang muffler pada peralatan seperti compressors, generator dan blower
- Menggunakan *absorptive* panel pada bangunan atau area yang menghasilkan tingkat Kebisingan tinggi
- Memasang *noise barriers* seperti tembok atau pagar tanaman

### 5.4.4 Limbah B3 dan FABA

Co-firing PLTU tidak memberikan dampak signifikan pada timbulan limbah B3. Jumlah produksi *fly ash* dan *bottom ash* akan berkurang jika co-firing menggunakan biomassa kayu karena kandungan abu yang lebih kecil pada *wood pellet* dibandingkan dengan batu bara, sedangkan produksi *fly ash* dan *bottom ash* akan bertambah jika menggunakan biomassa sampah karena kandungan ash pada biomassa sampah lebih tinggi dibanding batubara. Namun pertambahan dan pengurangan produksi *fly ash* dan *bottom ash* masih dalam jumlah yang tidak signifikan karena persentase co-firing yang masih kecil. Yang perlu diperhatikan pada co-firing PLTU adalah perubahan karakteristik pada *fly ash* dan *bottom ash* sebagai akibat dari pencampuran bahan bakar batubara dan biomassa. Perubahan karakteristik bisa berpengaruh terhadap penjualan *fly ash* dan *bottom ash* kepada pihak pemanfaat. Tes terhadap *fly ash* dan *bottom ash* hasil co-firing PLTU perlu dilakukan untuk mengetahui ada atau tidaknya perubahan karakteristik pada hasil pembakaran co-firing.

Untuk Pengelolaan *fly ash* dan *bottom ash*, tempat Penimbunan atau ash yard disiapkan untuk menampung *fly ash* dan *bottom ash* yang masih belum bisa dikelola oleh pihak pemanfaat. Desain fasilitas Penimbunan *fly ash* dan *bottom ash* mengacu pada peraturan Menteri lingkungan hidup No. 63 tahun 2016 tentang Persyaratan dan Prosedur Penimbunan limbah B3. Tempat Penimbunan limbah B3 sekurang kurangnya didesain memiliki fasilitas dan peralatan sebagai berikut:

1. Sistem pelapisan
  - a. Lapisan dasar  
Terdiri dari tanah liat yang dipadatkan dengan konduktivitas hidrolik maksimal  $1 \times 10^{-7}$  cm/s dan ketebalan maksimum 1m.
  - b. Sistem Pengumpul dan penyalur air lindi kedua  
Terdiri dari material drainase dengan konduktivitas hidrolik maksimal  $1 \times 10^{-2}$  cm/s and dan ketebalan minium 30 cm.
  - c. Lapisan utama  
Terdiri dari lapisan impermeable
  - d. Sistem pengumpul dan penyalur air lindi pertama  
Terdiri dari material drainase dengan konduktivitas hidrolik maksimal  $1 \times 10^{-2}$  cm/s and dan ketebalan minium 30 cm.
  - e. Lapisan atas
  - f. Tanah dengan minimum ketebalan 30cm
2. Drainase
3. Bak pengumpul air lindi
4. Pengolahan air lindi
5. Sumur monitoring
6. Posisi sumur pantau diletakan pada upstream dan downstream aliran air tanah.
7. Jumlah sumur pantau minimal satu unit pada daerah upstream dan dua unit pada daerah downstream aliran air tanah.
8. Buffer area
9. Jalan akses

## 5.5 IMPLEMENTASI EVALUASI LINGKUNGAN

### 5.5.1 Baku Mutu Emisi di PLTU Paiton 1-2

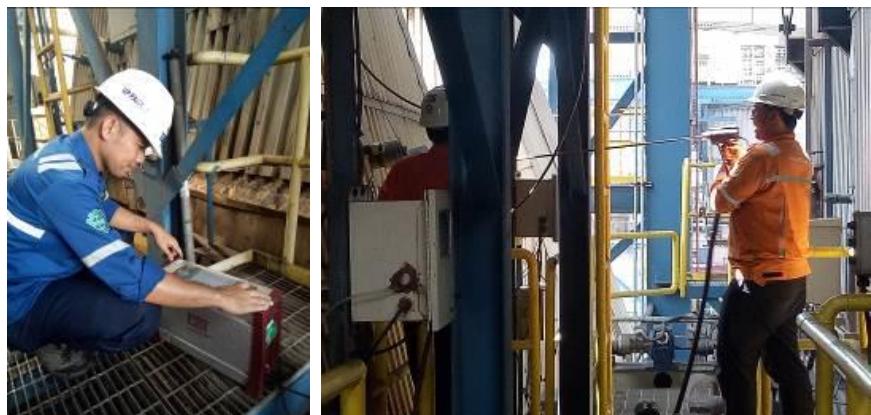
Baku mutu emisi PLTU mengacu pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 15 Tahun 2019 seperti ditunjukkan pada tabel di bawah. Pencampuran bahan bakar, batubara dengan biomassa pada co-firing akan berpengaruh pada emisi gas buang yang dihasilkan, untuk itu dilakukan pengujian emisi gas buang untuk mengamati perubahan yang terjadi selama pengujian co-firing.

Tabel 28 Baku Mutu Emisi PLTU

No	Parameter	Kadar Maksimum		
		Batubara (mg/Nm <sup>3</sup> )	Minyak Solar (mg/Nm <sup>3</sup> )	Gas (mg/Nm <sup>3</sup> )
1	Sulfur Dioksida (SO <sub>2</sub> )	550	650	50
2	Nitrogen Oksida (NO <sub>x</sub> )	550	450	320
3	Partikulat (PM)	100	75	30
4	Merkuri (Hg)	0,03	-	-

### 5.5.2 Pengujian Emisi Gas Buang di PLTU Paiton 1-2

Pengujian emisi gas buang dilakukan pada 5 taping point di area *air heater* menggunakan *flue gas analyzer portable*. Lokasi pengambilan dapat dilihat pada Gambar 103.



Gambar 103. Pengambilan Data Emisi Gas Buang

## Bab V Pertimbangan Lingkungan dan Keselamatan Kerja

Tabel 29 Data Pengukuran Emisi Gas Buang pada Pengujian Co-firing PLTU Paiton

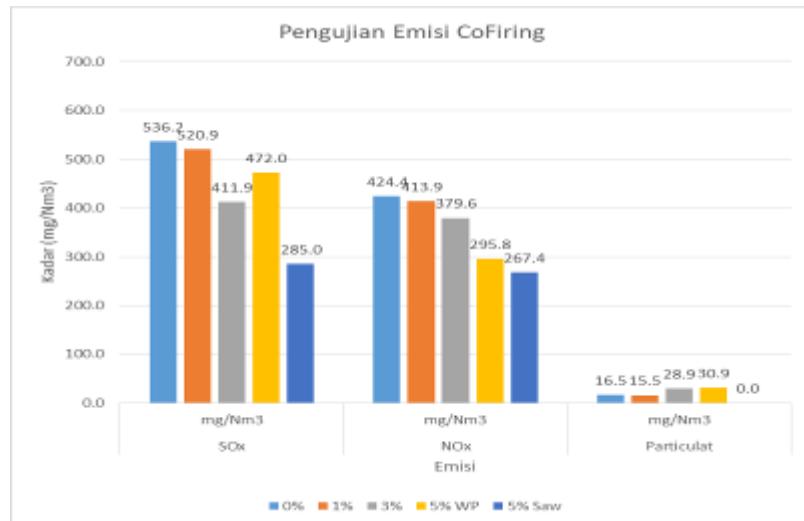
Daily report : Daily60mnt_Stack1												10/8/2019 - 0%											
	1 SO2-Stack 1	2 NOx-Stack 1	3 NO-Stack 1	4 NO2-Stack 1	5 CO-Stack 1	6 CO2-Stack 1	7 O2-Stack 1	8 FLOW- Stack 1	9 VELOCI- Stack 1	10 OPACITY- Stack 1	11 PARTIC- Stack 1	12 TEMP.- Stack 1											
Sample 1	526.43	431.36	286.97	16.36	11.64	14.67	6.21	1198.58	20.15	9.34	16.02	179.91											
Sample 2	533.85	425.05	282.46	16.97	10.85	14.53	6.30	1198.26	20.15	10.31	16.44	179.87											
Sample 3	548.17	416.67	277.43	16.31	10.96	14.66	6.22	1197.77	20.16	10.56	16.99	179.90											
Daily report : Daily60mnt_Stack1												10/9/2019 - 1%											
	1 SO2-Stack 1	2 NOx-Stack 1	3 NO-Stack 1	4 NO2-Stack 1	5 CO-Stack 1	6 CO2-Stack 1	7 O2-Stack 1	8 FLOW- Stack 1	9 VELOCI- Stack 1	10 OPACITY- Stack 1	11 PARTIC- Stack 1	12 TEMP.- Stack 1											
Sample 1	530.90	373.41	248.64	17.19	12.04	14.59	6.25	1198.38	20.15	9.40	14.99	179.96											
Sample 2	525.17	411.09	273.84	16.23	11.73	14.62	6.26	1198.94	20.15	9.73	15.50	179.90											
Sample 3	506.58	457.12	303.86	16.22	10.94	14.42	6.42	1198.91	20.15	9.53	16.13	179.90											
Daily report : Daily60mnt_Stack1												10/11/2019 - 3%											
	1 SO2-Stack 1	2 NOx-Stack 1	3 NO-Stack 1	4 NO2-Stack 1	5 CO-Stack 1	6 CO2-Stack 1	7 O2-Stack 1	8 FLOW- Stack 1	9 VELOCI- Stack 1	10 OPACITY- Stack 1	11 PARTIC- Stack 1	12 TEMP.- Stack 1											
Sample 1	409.74	350.81	234.50	16.26	20.38	14.50	6.37	1198.71	20.16	15.50	25.97	179.91											
Sample 2	409.23	403.36	268.68	16.42	11.16	14.62	6.29	1198.68	20.16	15.02	26.13	179.90											
Sample 3	416.72	384.58	256.03	17.02	11.17	14.62	6.26	1198.03	20.15	16.35	27.54	179.93											
Daily report : Daily_ST1_60m												'11/13/2019' - 5% WP											
	1 SO2 Stack 1	2 NO Stack 1	3 NO2 Stack 1	4 NOx Stack 1	5 CO Stack 1	6 CO2 Stack 1	7 O2 Stack 1	8 Flow Stack 1	9 Velocity Stack1	10 Temp. Stack 1	11 Opacity Stack 1	12 Dust Stack 1											
Sample 1	456.62	205.89	39.81	308.46	12.87	26.28	6.20	1199.67	20.16	179.90	16.53	29.81											
Sample 2	471.74	197.54	39.78	295.62	10.17	26.22	6.23	1199.42	20.16	179.92	18.32	31.32											
Sample 3	487.76	189.28	39.99	283.17	14.34	26.39	6.15	1184.75	19.95	179.88	17.26	31.69											
Daily report : Daily_ST1_60m												5/6/2020 - 5% Sawdust											
	1 SO2 Stack 1	2 NO Stack 1	3 NO2 Stack 1	4 NOx Stack 1	5 CO Stack 1	6 CO2 Stack 1	7 O2 Stack 1	8 Flow Stack 1	9 Velocity Stack1	10 Temp. Stack 1	11 Opacity Stack 1	12 Dust Stack 1											
Sample 1	281.71	188.83	44.08	286.57	90.29	14.24	-0.49H	53.31	29.14	6.53	44.83												
Sample 2	286.62	172.05	44.17	260.93	165.35	14.56	-0.49H	53.30	29.14	6.53	43.12												
Sample 3	286.70	168.16	43.83	254.63	303.55	14.61	-0.49H	53.27	29.14	6.53	41.17												

Atau dalam bentuk yang lebih sederhana setelah dirata-ratakan menjadi sebagaimana berikut:

Tabel 30 Rekap Data Pengukuran Emisi Gas Buang pada Pengujian Co-firing PLTU

Emisi	Satuan	0%	1%	3%	5%WP	5%Saw	SME
SO <sub>2</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	536.2	520.9	411.9	472.0	285.0	550
NO <sub>x</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	424.4	413.9	379.6	295.8	267.4	550
Particulat	mg/Nm <sup>3</sup>	16.5	15.5	28.9	30.9	N/A	100

Sehingga apabila disajikan dalam bentuk grafik akan menjadi seperti:



Gambar 104 Resume Pengujian Emisi Co-firing PLTU Paiton 1-2

Hasil pengujian pada 5% Co-firing PLTU Paiton 1-2 dengan menggunakan sawdust pada 6 Mei 2020 dari daily report CEMS didapatkan kesimpulan sebagaimana berikut:

1. Emisi SOx rata rata 285 mg/Nm<sup>3</sup>, maksimum tercatat dari 3 sample 286.7 mg/Nm<sup>3</sup>, sedangkan baku mutu emisi KLHK 550 mg/Nm<sup>3</sup>, sehingga memenuhi baku mutu emisi (BME)
2. Emisi NOx rata rata 267.4 mg/Nm<sup>3</sup>, maksimum tercatat 286.57 mg/Nm<sup>3</sup>, sedangkan baku mutu emisi KLHK 550 mg/Nm<sup>3</sup>, sehingga memenuhi baku mutu emisi (BME)

### 5.5.3 Baku Mutu Emisi di PLTU Pacitan

Baku mutu emisi PLTU mengacu pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 15 Tahun 2019 seperti ditunjukkan pada Tabel di bawah. Pencampuran bahan bakar, batubara dengan Serbuk Kayu pada *co-firing* akan berpengaruh pada emisi gas buang yang dihasilkan, untuk itu dilakukan pengujian emisi gas buang untuk mengamati perubahan yang terjadi selama pengujian *co-firing*.

Tabel 31 Baku Mutu Emisi PLTU Batubara

No	Parameter	Kadar Maksumum		
		Batubara (mg/Nm <sup>3</sup> )	Minyak Solar (mg/Nm <sup>3</sup> )	Gas (mg/Nm <sup>3</sup> )
1	Sulfur Dioksida (SO <sub>2</sub> )	550	650	50
2	Nitrogen Oksida (NO <sub>x</sub> )	550	450	320
3	Partikulat (PM)	100	75	30
4	Merkuri (Hg)	0,03	-	-

#### 5.5.4 Pengujian Emisi Gas Buang di PLTU Pacitan

Pengujian emisi gas buang dilakukan pada 8 tapping di area *air heater* menggunakan *flue gas analyzer portable*. Lokasi pengambilan dapat dilihat pada Gambar 105, daerah di dalam batas garis merah pada gambar menunjukkan *hole* pengambilan sampel emisi gas buang



Gambar 105 Pengujian Emisi Gas Buang di PLTU Pacitan

Hasil pengamatan emisi gas buang melalui CEMS selengkapnya ditunjukkan pada Tabel berikut:

Tabel 32 Pengujian Emisi Operasi Co-firing 0%

##### FLUE GAS MONITORING (CEMS)

Tanggal: 3 September 2020

Persentasi Biomassa: 0% (Unit2)

PARAMETER		STD	SATUAN	TIME					AVG
OPERASI				09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	
CEMS	SO <sub>2</sub>	550	mg/Nm <sup>3</sup>	417,85	406,12	406,41	468,18	375,52	414,81
	CO <sub>2</sub>		%	15,59	15,81	15,02	15,77	14,73	15,38
	NOx	550	mg/Nm <sup>3</sup>	279,83	256,87	232,68	253,18	323,49	269,21
	Particulate	100	mg/Nm <sup>3</sup>	35,59	36,62	36,61	36,61	36,89	36,46

## Bab V Pertimbangan Lingkungan dan Keselamatan Kerja

Tabel 33 Pengujian Emisi Operasi Co-firing 5%

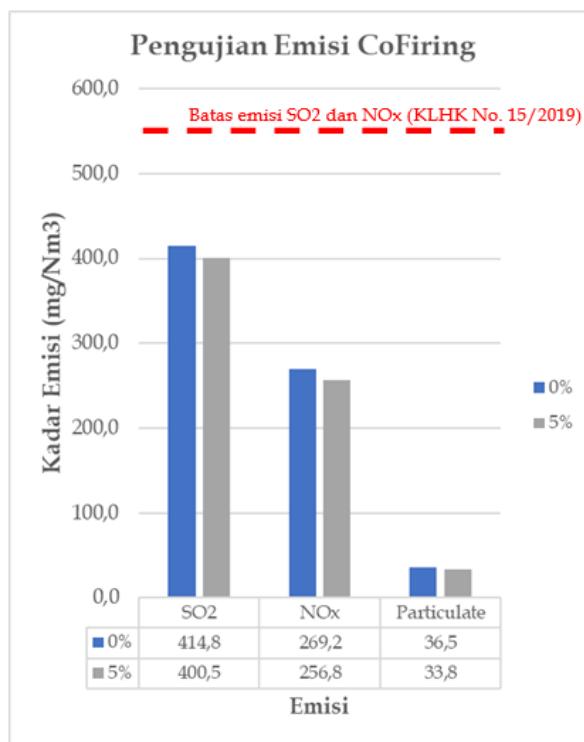
### FLUE GAS MONITORING (CEMS)

Tanggal: 2 September 2020

Persentasi Biomassa: 5% (Unit2)

PARAMETER		550	SATUAN	TIME					AVG
OPERASI				09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	
CEMS	SO <sub>2</sub>	550	mg/Nm <sup>3</sup>	365,51	397,25	379,81	447,30	412,41	400,46
	CO <sub>2</sub>		%	15,71	15,78	14,85	15,78	14,85	15,39
	NOx	550	mg/Nm <sup>3</sup>	267,12	257,48	241,90	252,97	264,66	256,82
	Particulate	100	mg/Nm <sup>3</sup>	41,38	33,76	32,85	30,77	30,31	33,81

Apabila dalam bentuk grafik adalah sebagai berikut:



Gambar 106 Hasil Pengujian Emisi Co-firing 0% - 5% di PLTU Pacitan

Keterangan: data operasi 0% mewakili data operasi 100% batubara,  
data operasi 5% mewakili data operasi *co-firing* 5%.

Berdasarkan hasil pengukuran emisi gas buang didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Emisi SO<sub>2</sub> rata-rata menunjukkan kecenderungan turun dari 414,8 mg/Nm<sup>3</sup> pada pengujian operasi 100% batubara menjadi 400,5 mg/Nm<sup>3</sup> pada pengujian Co-firing 5%, sedangkan baku mutu emisi KLHK sebesar 550 mg/Nm<sup>3</sup>.
2. Emisi NOx rata-rata menunjukkan kecenderungan turun dari 269,3 mg/Nm<sup>3</sup> pada pengujian operasi 100% batubara menjadi 256,8 mg/Nm<sup>3</sup> pada pengujian Co-firing 5%, sedangkan baku mutu emisi KLHK sebesar 550 mg/Nm<sup>3</sup>.
3. Emisi Particulate rata-rata menunjukkan kecenderungan turun dari 36,5 mg/Nm<sup>3</sup> pada pengujian operasi 100% batubara menjadi 33,8 mg/Nm<sup>3</sup> pada pengujian Co-firing 5%, sedangkan baku mutu emisi KLHK sebesar 100 mg/Nm<sup>3</sup>.
4. Besarnya emisi gas buang baik SO<sub>2</sub> maupun NOx dan Particulate pada pengujian Co-firing 5% Serbuk Kayu di PLTU Pacitan masih memenuhi batasan Baku Mutu Lingkungan sesuai Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 15 Tahun 2019.

### 5.5.5 Baku Mutu Emisi di PLTU Paiton 9

Baku mutu emisi PLTU mengacu pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 15 Tahun 2019 seperti ditunjukkan pada Tabel 34. Pencampuran bahan bakar, batubara dengan *sawdust* pada *co-firing* akan berpengaruh pada emisi gas buang yang dihasilkan, untuk itu dilakukan pengujian emisi gas buang untuk mengamati perubahan yang terjadi selama pengujian *co-firing*.

Tabel 34 Baku Mutu Emisi PLTU Batubara

No	Parameter	Kadar Maksimum		
		Batubara (mg/Nm <sup>3</sup> )	Minyak Solar (mg/Nm <sup>3</sup> )	Gas (mg/Nm <sup>3</sup> )
1	Sulfur Dioksida (SO <sub>2</sub> )	550	650	50
2	Nitrogen Oksida (NO <sub>x</sub> )	550	450	320
3	Partikulat (PM)	100	75	30
4	Merkuri (Hg)	0,03	-	-

### 5.5.6 Pengujian Emisi Gas Buang di PLTU Paiton 9

PLTU Paiton 9 dilengkapi dengan fasilitas CEMS. Pengujian emisi gas buang dilakukan dengan membandingkan data emisi gas buang saat dilakukan pengujian 100% batubara dengan pengujian co-firing 5% *sawdust*. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel di bawah sebagaimana berikut:

Tabel 35 Pengujian Emisi Operasi Co-firing 0%

Parameter	Satuan	Hasil Pengukuran				
		17.00-18.00	18.00-19.00	19.00-20.00	20.00-21.00	Average
SO <sub>2</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	274,64	276,28	266,73	272,41	272,52
NO <sub>x</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	202,76	208,02	210,28	209,51	207,64
CO	mg/Nm <sup>3</sup>	31,86	29,61	29,85	31,71	30,76
O <sub>2</sub>	%	4,02	4,00	4,02	4,00	4,01

Keterangan: data operasi co-firing 0% mewakili data operasi 100% batubara.

Tabel 36 Pengujian Emisi Operasi Co-firing 5%

Parameter	Satuan	Hasil Pengukuran				
		17.00-18.00	18.00-19.00	19.00-20.00	20.00-21.00	Average
SO <sub>2</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	268,34	270,26	270,71	254,65	265,99
NO <sub>x</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	209,29	204,28	197,34	191,90	200,70
CO	mg/Nm <sup>3</sup>	28,12	29,02	31,33	32,03	30,13
O <sub>2</sub>	%	4,20	4,12	4,05	4,02	4,10

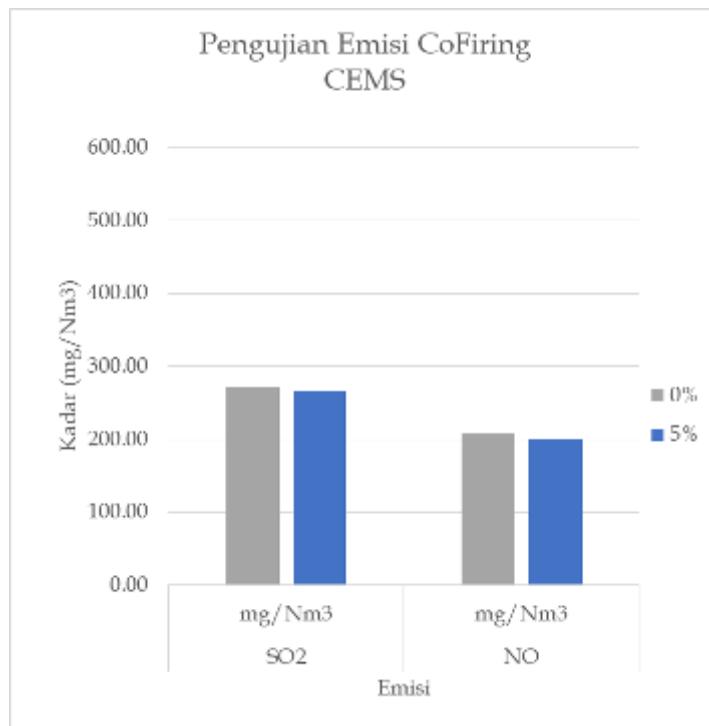
Sehingga rata-rata emisi adalah data beberapa titik pengukuran di atas adalah seperti tampak pada tabel berikut:

Tabel 37 Resume Pengujian Emisi Co-firing 0% dan 5%

Parameter	Satuan	0%	5%	Baku Mutu
SO <sub>2</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	272,52	265,99	550
NO <sub>x</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	207,64	200,70	550
CO	mg/Nm <sup>3</sup>	30,76	30,13	-

Keterangan: data operasi 0% mewakili data operasi 100% batubara, data operasi 5% mewakili data operasi co-firing 5 %.

Apabila dalam bentuk grafik untuk emisi sulfur dioksida dan nitrogen monoksida adalah sebagaimana berikut:



Gambar 107 Resume Pengujian Emisi Co-firing 0% - 5% di PLTU Paiton 9

Keterangan: data operasi 0% mewakili data operasi 100% batubara, data operasi 5% mewakili data operasi *co-firing* 5%.

Berdasarkan hasil pengukuran emisi gas buang didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Emisi SO<sub>2</sub> rata-rata menunjukkan kecenderungan turun dari 272,52 mg/Nm<sup>3</sup> pada pengujian operasi 100% batubara menjadi 265,99 mg/Nm<sup>3</sup> pada pengujian Co-firing 5%, sedangkan baku mutu emisi KLHK sebesar 550 mg/Nm<sup>3</sup>.
2. Emisi NOx rata-rata menunjukkan kecenderungan naik dari 207,64 mg/Nm<sup>3</sup> pada pengujian operasi 100% batubara menjadi 200,70 mg/Nm<sup>3</sup> pada pengujian Co-firing 5%, sedangkan baku mutu emisi KLHK sebesar 550 mg/Nm<sup>3</sup>.
3. Besarnya emisi gas buang baik SO<sub>2</sub> maupun NOx pada pengujian Co-firing 5% *sawdust* di PLTU Paiton 9 masih memenuhi batasan Baku Mutu Lingkungan sesuai Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 15 Tahun 2019.

### 5.5.7 Hasil dan Lesson Learned dari Evaluasi Lingkungan di PLTU Paiton

1. Bertambahnya persentase co-firing cenderung menurunkan emisi gas buang SO<sub>2</sub>. Emisi SO<sub>2</sub> rata-rata menunjukkan kecenderungan turun dari 554,3 mg/Nm<sup>3</sup> pada pengujian operasi 100% batubara menjadi 413,8 mg/Nm<sup>3</sup> pada pengujian Co-firing 5%, sedangkan baku mutu emisi KLHK sebesar 550 mg/Nm<sup>3</sup>.
2. Emisi NOx rata-rata menunjukkan kecenderungan naik dari 251 mg/Nm<sup>3</sup> pada pengujian operasi 100% batubara menjadi 257,8 mg/Nm<sup>3</sup> pada pengujian Co-firing 5%, sedangkan baku mutu emisi KLHK sebesar 550 mg/Nm<sup>3</sup>.
3. Besarnya emisi gas buang baik SO<sub>2</sub> maupun NOx pada pengujian co-firing 5% kayu lamtoro di PLTU Anggrek masih memenuhi batasan Baku Mutu Lingkungan sesuai Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 15 Tahun 2019.
4. Kandungan sulfur biomassa kayu lamtoro sangat rendah sekitar 0,05 % dibandingkan batubara yang berkisar 0,1 – 0,7 %, sehingga *co-firing* kayu lamtoro berpotensi menghasilkan emisi SO<sub>x</sub> lebih rendah. Unit pembangkit yang mengimplementasikan *co-firing* biomassa juga termasuk kategori *carbon neutral* yang lebih ramah lingkungan dibandingkan PLTU eksisting yang termasuk *carbon positive*.
5. Hasil pengujian pada 5% Co-firing PLTU Paiton 1-2 dengan menggunakan *sawdust* pada 6 Mei 2020 didapatkan data emisi SO<sub>x</sub> rata rata 285 mg/Nm<sup>3</sup>, maksimum tercatat dari 3 sample 286.7 mg/Nm<sup>3</sup>, sedangkan baku mutu emisi KLHK 550 mg/Nm<sup>3</sup>, sehingga memenuhi baku mutu. Emisi NOx rata rata 267.4 mg/Nm<sup>3</sup>, maksimum tercatat 286.57 mg/Nm<sup>3</sup>, sedangkan baku mutu emisi KLHK 550 mg/Nm<sup>3</sup>, sehingga memenuhi baku mutu. Hal yang sama juga untuk *wood pellet* yang masih memenuhi ketentuan emisi SO<sub>x</sub> dan NOx dari KLHK.
6. Hasil kajian kelayakan lingkungan Hasil pengujian pada Co-firing 5% dengan *wood pellet* dan *sawdust* di PLTU paiton 1-2 data emisi SO<sub>2</sub>, NOx dan partikulat masih memenuhi baku mutu Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 15 Tahun 2019. Hasil uji kandungan sulfur biomass sangar rendah sekitar 0.05% dibandingkan batubara yang berkisar 0.1-0.7%, sehingga potensi timbulnya emisi SO<sub>2</sub> lebih rendah. Unit pembangkit yang mengimplementasikan co-firing biomass juga termasuk kategori carbon netral yang lebih ramah lingkungan dibandingkan PLTU eksisting yang termasuk carbon positif.
7. Emisi Particulate rata-rata menunjukkan kecenderungan turun dari 36,5 mg/Nm<sup>3</sup> pada pengujian operasi 100% batubara menjadi 33,8 mg/Nm<sup>3</sup> pada pengujian Co-firing 5%, sedangkan baku mutu emisi KLHK sebesar 100 mg/Nm<sup>3</sup>.
8. Emisi SO<sub>2</sub> terbaca nol di portable *flue gas analyzer*, untuk pengujian berikutnya perlu dilakukan pengukuran emisi ulang dan memastikan bahwa portable *flue gas analyzer* berfungsi dengan baik sebelum dilakukan pengujian ulang.

9. Emisi NOx rata-rata menunjukkan kecenderungan turun dari 146,3 mg/Nm<sup>3</sup> pada pengujian operasi 100% batubara menjadi 131,8 mg/Nm<sup>3</sup> pada pengujian Co-firing 5%, sedangkan baku mutu emisi KLHK sebesar 550 mg/Nm<sup>3</sup>.
10. Emisi CO<sub>2</sub> rata-rata menunjukkan kecenderungan turun dari 19,1 mg/Nm<sup>3</sup> pada pengujian operasi 100% batubara menjadi 17,9 mg/Nm<sup>3</sup> pada pengujian Co-firing 5%.
11. Besarnya emisi gas buang NOx pada pengujian Co-firing 5% Cangkang Kelapa Sawit di PLTU Belitung masih memenuhi batasan Baku Mutu Lingkungan sesuai Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 15 Tahun 2019.
12. Kandungan sulfur biomassa Cangkang Kelapa Sawit sangat rendah sekitar 0,06% dibandingkan batubara yang berkisar 0,1 – 1,7 %, sehingga *co-firing* Cangkang Kelapa Sawit berpotensi menghasilkan emisi SO<sub>x</sub> lebih rendah. Unit pembangkit yang mengimplementasikan *co-firing* biomassa juga termasuk kategori *carbon neutral* yang lebih ramah lingkungan dibandingkan PLTU eksisting yang termasuk *carbon positive*.
13. Bertambahnya persentase co-firing cenderung menurunkan emisi gas buang SO<sub>2</sub>. Emisi SO<sub>2</sub> rata-rata menunjukkan kecenderungan turun dari 362,2 mg/Nm<sup>3</sup> pada pengujian operasi 100% batubara menjadi 312,1 mg/Nm<sup>3</sup> pada pengujian Co-firing 5%, sedangkan baku mutu emisi KLHK sebesar 550 mg/Nm<sup>3</sup>.
14. Emisi NOx rata-rata menunjukkan kecenderungan naik dari 55,1 mg/Nm<sup>3</sup> pada pengujian operasi 100% batubara menjadi 68,6 mg/Nm<sup>3</sup> pada pengujian Co-firing 5%, sedangkan baku mutu emisi KLHK sebesar 550 mg/Nm<sup>3</sup>.
15. Besarnya emisi gas buang baik SO<sub>2</sub> maupun NOx pada pengujian co-firing 5% cangkang sawit di PLTU Teluk Balikpapan masih memenuhi batasan Baku Mutu Lingkungan sesuai Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 15 Tahun 2019.
16. Kandungan sulfur biomassa cangkang sawit sangat rendah sekitar 0,08-0,29 % dibandingkan batubara PLTU yang berkisar 0,55 %, sehingga *co-firing* cangkang sawit berpotensi menghasilkan emisi SO<sub>x</sub> lebih rendah. Unit pembangkit yang mengimplementasikan *co-firing* biomassa juga termasuk kategori *carbon neutral* yang lebih ramah lingkungan dibandingkan PLTU eksisting yang termasuk *carbon positive*.
17. Bertambahnya persentase co-firing cenderung menurunkan emisi gas buang SO<sub>2</sub>. Emisi SO<sub>2</sub> rata-rata menunjukkan kecenderungan turun dari 48,1 mg/Nm<sup>3</sup> pada pengujian operasi 100% batubara menjadi 35,8 mg/Nm<sup>3</sup> pada pengujian Co-firing 5%, sedangkan baku mutu emisi KLHK sebesar 550 mg/Nm<sup>3</sup>.
18. Emisi NOx rata-rata menunjukkan kecenderungan turun dari 77,4 mg/Nm<sup>3</sup> pada pengujian operasi 100% batubara menjadi 41,7 mg/Nm<sup>3</sup> pada pengujian Co-firing 5%, sedangkan baku mutu emisi KLHK sebesar 550 mg/Nm<sup>3</sup>.
19. Besarnya emisi gas buang baik SO<sub>2</sub> maupun NOx pada pengujian co-firing 5% woodchips kayu kedondong di PLTU Bolok masih

memenuhi batasan Baku Mutu Lingkungan sesuai Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 15 Tahun 2019.

20. Kandungan sulfur biomassa woodchips kayu kedondong sangat rendah sekitar 0,08% dibandingkan batubara yang berkisar 0,1 – 0,7 %, sehingga co-firing woodchips kayu kedondong berpotensi menghasilkan emisi SOx lebih rendah. Unit pembangkit yang mengimplementasikan co-firing biomassa juga termasuk kategori *carbon neutral* yang lebih ramah lingkungan dibandingkan PLTU eksisting yang termasuk carbon positive.

### 5.6 KESEHATAN & KESELAMATAN KERJA SEPUTAR CO-FIRING BIOMASSA

Bagaimana *Biomass Co-firing* bisa diimplementasikan **Aman secara teknis, operasional dan minim risiko** di PLTU?

PJB menerapkan tahapan implementasi yang terukur, terdiri dari **5 tahap** sejak review teknologi sampai dengan implementasi komersial secara **sinergi bersama** dengan PLN Group (Puslitbang, Pusenlis dan Div EBT) maupun Lembaga penelitian dan sinergi Perguruan Tinggi. Terdapat 4 aspek utama yang dikaji, yakni **Teknis Operasional, Lingkungan, Finansial dan Risiko**.

#### 5.6.1 Peraturan Tentang Kesehatan dan Keselamatan Kerja

Beberapa daftar peraturan tentang kesehatan dan keselamatan kerja yang berlaku di Indonesia:

1. Undang-undang Republik Indonesia No 01 Tahun 1970 tentang keselamatan kerja.
2. Undang-undang Republik Indonesia No. 36 Tahun 2009 tentang Kesehatan.
3. UU No 30 Tahun 2009 tentang Keselamatan Ketenagalistrikan.
4. Undang-undang Republik Indonesia No. 13 Tahun 2003 tentang Ketenagakerjaan.
5. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 50 Tahun 2012 tentang Penerapan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja.
6. Peraturan Menaker No. 04/1980; Syarat-syarat pemasangan dan pemeliharaan APAR.
7. Peraturan Menaker No. 02/1983; Instalasi Alarm Automatik.
8. Peraturan Menaker No. 04/1987; Panitia Pembina K3.
9. Peraturan Menaker No. 04/1987; P2K3 serta tata cara penunjukan ahli K3.
10. Peraturan Menaker No. 02/1992; Tata Cara Penunjukan Kewajiban dan Wewenang Ahli K3.
11. Peraturan Menaker No. 04/1995; Perusahaan Jasa K3.
12. Peraturan Menaker No. 05/1995; Sistem Manajemen K3.

13. Keputusan Menaker No. 186/1999; Penanggulangan Kebakaran di tempat kerja.
14. Keputusan Menaker No. 187/1999; Pengendalian Bahan Kimia Berbahaya di tempat kerja.
15. Instruksi Menaker No. 11/M/BW/1997; Pengawas Khusus K3 Penanggulangan Kebakaran.

### 5.6.2 Pengelolaan Keselamatan dan Kesehatan

Perkembangan teknologi pembakaran co-firing masih terus berlangsung. Tujuan utamanya adalah untuk meminimalkan total biaya produksi listrik, kemudahan operasi, meningkatkan efisiensi dan untuk memaksimalkan keamanan (*safety*).

Tujuan masa depan adalah, misalnya, untuk meningkatkan efisiensi dengan cara meningkatkan suhu dan tekanan uap yang lebih tinggi dan material yang lebih baik untuk *superheater*.

Tujuan utama termasuk pengembangan teknologi pembakaran baru untuk bahan bakar biomassa baru (mis. bahan bakar dari tanaman/rumput, bahan limbah pertanian, bahan bakar pellet), dan pengembangan boiler dengan fleksibilitas tinggi terkait kualitas bahan bakar biomassa (sistem pembakaran *multifuel*).

#### Persyaratan keselamatan terkait kebakaran

Mencegah kebakaran terjadi di konveyor (*handling system*) dan penyimpanan (hopper) merupakan masalah keamanan utama untuk bahan bakar biomassa berbasis pellet/chip.

Peralatan tersebut dapat dilengkapi dengan sejumlah sistem keselamatan independen seperti:

- Sistem sprinkler;
- Luncuran jatuh ke ruang bakar;
- Sensor termal dalam feed system;
- Tempat penyimpanan bahan bakar yang kedap udara; dan
- Feed system yang ganda dengan sekat bakar antara keduanya.

Penggunaan biomassa untuk co-firing dengan persentase/rasio yang lebih besar, membutuhkan pengaturan infrastruktur terpisah di area powerplant untuk penyimpanan, pemrosesan awal dan sistem umpan bahan bakar ke boiler. Mempertimbangkan bahaya penyalakan sendiri (*self-ignition*), tidak disarankan untuk membuat cadangan biomassa bertipe serbuk/butiran untuk periode lebih lama dari 2-3 hari operasi boiler. Jika tidak mungkin untuk mendapatkan biomassa yang sesuai spesifikasi, perlu mempertimbangkan pengembangan infrastruktur sistem bahan bakar. Ini terutama harus terdiri dari area penyimpanan biomassa beratap atau bunker biomassa, sistem hidran kebakaran, alat transportasi, *belt conveyor*, pengumpan ember, mill biomassa jika menggunakan *wood pellet*, chopper

dalam hal boiler menggunakan woodchip, dan dryer jika *moisture content* tinggi dalam biomassa.

Co-firing biomassa dengan batubara menimbulkan beberapa masalah keselamatan (safety) yang melibatkan potensi tambahan kebakaran dan ledakan. Ada tiga bahaya utama penanganan batubara di pembangkit listrik yang melakukan co-firing. Secara singkat dapat dijelaskan sebagai berikut:

### **1. Debu yang Mudah Terbakar (*Combustible Dust*)**

Batubara, ketika dipindahkan melalui *conveyor belt* atau dimuat ke dalam bunker, menghasilkan debu. Debu semacam itu merupakan bahaya ledakan. Potensi ledakan tergantung pada beberapa faktor, termasuk indeks deflagration. Semakin tinggi indeks defligrasi, semakin besar pula ledakannya. Deflagrasi adalah pembakaran yang merambat melalui gas atau melintasi permukaan bahan peledak dengan kecepatan subsonik, digerakkan oleh transfer panas.

### **2. Pembakaran Spontan (*Spontaneous Combustion*)**

Penyalaan sendiri (self ignition) menyebabkan pembakaran spontan bahan bakar yang tersimpan. Meskipun sangat sedikit data yang tersedia dalam literatur yang diterbitkan tentang biomassa, mudah untuk berspekulasi bahwa biomassa bertumpuk memiliki risiko penyalaan sendiri sama seperti batubara.

### **3. Campuran Biomassa-batubara (*Biomass-coal Mixture*)**

Biomassa menjadi reaktif, pencampurannya dengan debu batubara menambah dimensi lain pada masalah ledakan. Biomassa memang lebih reaktif daripada kebanyakan batubara, petcoke, atau antrasit. dengan demikian bahaya ledakan untuk campuran tersebut harus dievaluasi. Saat ini, sangat sedikit data yang tersedia yang memaksa engineer untuk menganggap campuran itu semua batubara atau semua biomassa dalam penilaian mereka. Perilaku ledakan campuran batubara-biomassa saat ini sebagian besar belum dijelajahi.

Aspek K3 (Kesehatan dan Keselamatan Kerja) dan K2 (Keselamatan Ketenagalistrikan) sangat penting untuk diperhatikan dalam implementasi co-firing baik ketika ujicoba maupun saat komersialisasi (continuous co-firing). Aspek K2 meliputi keselamatan kerja, keselamatan umum, keselamatan instalasi, dan keselamatan lingkungan (UU No 30 Tahun 2009).

Jika implementasi co-firing biomassa-batubara masih memanfaatkan peralatan eksisting batubara seperti coal *handling*, *coal yard*, dll; maka tidak diperlukan penambahan instalasi untuk safety seperti fire detection. Karena sudah *embedded* pada peralatan eksisting, seperti sprinkler di conveyor, outdoor hidran, dll. Tetapi jika sudah menggunakan persentase biomassa yang lebih besar dimana diperlukan sistem *handling* dan penyimpanan terpisah, maka perlu ditambahkan juga sistem fire protection sesuai dengan penambahan peralatan.

Literatur yang perlu diperhatikan:

1. The Handbook of Biomass Combustion & Co-firing, 2008, (Sjaak van Loo and Jaap Koppejan)
2. The potential fire and explosion hazards in biomass co-firing with conventional fossil fuels based on data obtained during testing, 2018 (Bozena Kukfisz)
3. Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction, 2018 (Prabir Basu)

### 5.6.3 Rekomendasi untuk K3 Co-firing

#### Aspek K3 Co-firing

Persyaratan keselamatan terkait kebakaran

Mencegah kebakaran terjadi di konveyor (*handling system*) dan penyimpanan (hopper) merupakan masalah keamanan utama untuk bahan bakar biomassa berbasis pellet/chip.

Peralatan tersebut dapat dilengkapi dengan sejumlah sistem keselamatan independen seperti:

- Sistem sprinkler;
- Luncuran jatuh ke ruang bakar;
- Sensor termal dalam feed system;
- Tempat penyimpanan bahan bakar yang kedap udara; dan
- Feed system yang ganda dengan sekat bakar antara keduanya.

Jika implementasi co-firing biomassa-batubara masih memanfaatkan peralatan eksisting batubara seperti coal *handling*, *coal yard*, dll; maka tidak diperlukan penambahan instalasi untuk safety seperti fire detection. Karena sudah embedded pada peralatan eksisting, seperti sprinkler di conveyor, outdoor hidran, dll. Tetapi jika sudah menggunakan persentase biomassa yang lebih besar dimana diperlukan sistem *handling* dan penyimpanan terpisah, maka perlu ditambahkan juga sistem fire protection sesuai dengan penambahan peralatan.

#### Aspek Lingkungan Co-firing

1. Menyediakan penutup pada tempat penyimpanan biomassa
2. Mempersiapkan ijin-ijin di bidang lingkungan yang diperlukan, seperti:
  - a. Ijin Lingkungan (jika diperlukan)
  - b. Ijin penyimpanan limbah B3 (jika diperlukan)
  - c. Ijin Penimbunan limbah B3 (jika diperlukan)
  - d. Ijin pemanfaatan limbah B3 (jika diperlukan)
3. Mempersiapkan Rencana Manajemen Kesehatan dan keamanan lingkungan kerja Secara detail.
4. Membuat Rencana untuk pelibatan masyarakat atau CSR dalam menyediakan suplai biomassa.

# Daftar Pustaka





# Daftar Pustaka

- An Ha Truong. (2015) Feasibility and Sustainability of Co-firing biomass in coal power plants in Vietnam. Environmental studies. Vietnam
- C. McGowin, 2010, Engineering and Economic Evaluation of Biomass Power Plants, Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA
- D. Vaughan, H. Krause and W. Boyd, Chloride corrosion and its inhibition in refuse firing. Ash Deposits and Corrosion Due to Impurities in Combustion Gas, New York: Hemisphere Publishing Corporation, 1978
- David A. Tillman (2001) Final Report: EPRI-USDOE Cooperative Agreement Co-firing Biomass with Coal, Perryville Corporate Park, Clinton, New Jersey
- David A. Tillman, 2001, Final Report: EPRI-USDOE Cooperative Agreement: Co-firing Biomass With Coal, Foster Wheeler
- Final Report Mercury Emissions From Coal Fired Power Plants in Indonesia, Basel Convention Regional Centre For South East Asia/ Stockholm Convention Regional Centre Indonesia, Jakarta, Indonesia, 2017.
- Foster Wheeler Environmental Corporation, 1997, Biomass Co-firing Guidelines, Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA
- H. Asteman and M. Spiegel, "Investigation of the HCl (g) attack on pre-oxidized pure Fe, Cr, Ni and commercial 304 steel at 400°C," Corrosion Science, vol. 49, p. 3626–3637, 2007
- H. Grabke, E. Reese and M. Spiegel, "The effects of chlorides, hydrogen chloride, and sulfur dioxide in the oxidation of steels below deposits," Corrosion Science, vol. 37, no. 7, pp. 1023-1043, 1995
- <http://www.coaltech.com.au/LinkedDocuments/Slagging%20%26%20Fouling.pdf>
- Julien Phother-Simon (2019), High Temperature Corrosion of Superheaters in Biomass and Waste Fired Boilers: Combat on two fronts, Chalmers University of Technology, Sweden.
- K. Kautz and J. Tichatschke, "Zusammenhänge zwischen Rauchgasverhältnissen, Kesselbelastung und Korrosionen in einer kommunalen Müllverbrennungsanlage," VGB Kraftwerkstechnik, pp. 249-263, 1972

---

K. Salmenoja, "Field and laboratory studies on chlorine-induced superheater corrosion in boilers fired with biofuels," PhD-thesis, Abo Akademi, Turku, 2000

L.D. Reardon, 2009, Biomass Co-firing Handbook, Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA

M. Sadjak, M. Kmiec, B.Micek, J. Hrabak , Determination of the optimal ratio of coal to biomass in the co-firing process: feed mixture properties, International Journal of Environmental Science and Technology (2019) 16: 2989-3000

Nigel Burdett - Head Of Environment (2010) The Development of the 500MW Co-firing facility at Drax Power Station, North Yorkshire, England

Operation Manual of Steam Turbine 2x400MW of Paiton Coal-Fired Power Plant.

P. Sommersacher, T. Brunner and I. Obernberger, "Fuel Indexes: A Novel Method for the Evaluation of Relevant Combustion Properties of New Biomass Fuels," Energy & Fuels, p. 11, 2011

P. Sommersacher, T. Brunner and I. Obernberger, "Fuel Indexes: A Novel Method for the Evaluation of Relevant Combustion Properties of New Biomass Fuels," Energy & Fuels, p. 11, 2011

Pakamon Pintana, Nakorn Tippayawong (2016), Predicting Ash Deposit Tendency in Thermal Utilization of Biomass, Engineering Journal Volume 20 Issue 5.

Prabowo, Giri (2019), Laporan Kajian Co-firing Bahan Bakar Batubara dengan Biomassa pada PLTU Paiton 1-2, ITS Tekno Sains, Surabaya

R. Antunes and M. de Oliveira, "Corrosion in biomass combustion: A materials selection analysis and its interaction with corrosion mechanisms and mitigation strategies," Corrosion Science, vol. 76, pp. 6-26, 2013

Seng-Rung Wu, Ph.D, (2017) Heating Applications of Bio-pellet to Enhance Utilization of Renewable Energy in the APEC Region, Principal Researcher Green Energy and Environment Research Lab. Industrial Technology Research Institute Bldg. 64, 195, Sec. 4, Chung Hsing Rd.,Chutung Hsinchu 31040, Chinese Taipei

Sjaak van Loo and Jaap Koppejan, 2008, The Handbook of Biomass Combustion and Co-firing, Quicksilver Drive, Sterling

Stefan Retschitzegger (2017), High Temperature Corrosion in Biomass-Fired Fixed Bed Boilers, Graz University of Technology.

---

Sugiyanto, Mustofa Abdillah, Ardi Nugroho (2019), Pengujian dan Simulasi Co-firing Bahan Bakar Batubara dengan Biomassa pada PLTU Paiton 2x400MW, Journal EBTKE ESDM

T. Brunner, F. Biedermann, W. Kanzian, N. Evic and I. Obernberger, "Advanced Biomass Fuel Characterization Based on Tests with a Specially Designed Lab-Scale Reactor," Energy & Fuels, pp. 5691-5698, 23 July 2013

T. Gruber, K. Schulze, R. Scharler and I. Obernberger, "Investigation of the corrosion behaviour of 13CrMo4-5 for biomass fired boilers with coupled online corrosion and deposit probe measurements," Fuel, vol. 144, pp. 15-24, 2015







Perkembangan Implementasi  
**CO-FIRING**  
di Pembangkitan Jawa Bali

Regional Jawa Bali Madura



Hak Cipta © 2021 - PJB Academy  
PT Pembangkitan Jawa-Bali  
Jalan Raya Jemursari No. 185,  
Surabaya, Jawa Timur, Indonesia