

ENERGI TERBARUKAN

Indonesia diberkahi dengan potensi sumber energi terbarukan (*renewable energy*) yang sangat besar, di antaranya surya, biomassa, air, angin, geothermal, gelombang laut, dan lain-lain. Hingga kini baru sebagian kecil dari potensi energi tersebut yang telah dikembangkan dan diaplikasikan. Buku ini memuat sebagian dari potensi energi terbarukan tersebut berikut teknologi yang dapat terpilih yang dapat diaplikasikan. Teknologi energi terbarukan yang sudah dan dalam waktu dekat dapat menjadi temerap diberikan dalam buku ini meliputi pirolisis dan gasifikasi biomassa, biodiesel, biogas, energi air, dan energi angin.

Buku ini ditulis dengan tujuan memberikan *basic knowledge* mengenai teknologi konversi energi terbarukan yang penting dan temerap. Buku ini tidak dirancang untuk memberikan semacam panduan praktis bagi masing-masing teknologi yang terpilih. Oleh karena itu buku ini dapat dijadikan sebagai pegangan, tetapi bukan panduan bagi teknologi konversi energi terbarukan yang penting.



Agus Haryanto menyelesaikan pendidikan S-1 pada bidang Mekanisasi Pertanian, UGM (1991), S-2 di Jurusan Teknik Pertanian UGM (1998) dan studi doctoral di Departemen Agricultural and Biological Engineering, Mississippi State University (USA) (2008). Ia bergabung dengan Universitas Lampung dan menjadi dosen pada Jurusan Teknik Pertanian sejak 1993. Bidang kajiannya saat ini adalah energi terbarukan.

www.innosain.com



ISBN: 978-602-6542-40-3



Diterbitkan Atas Kerjasama dengan



 Innosain

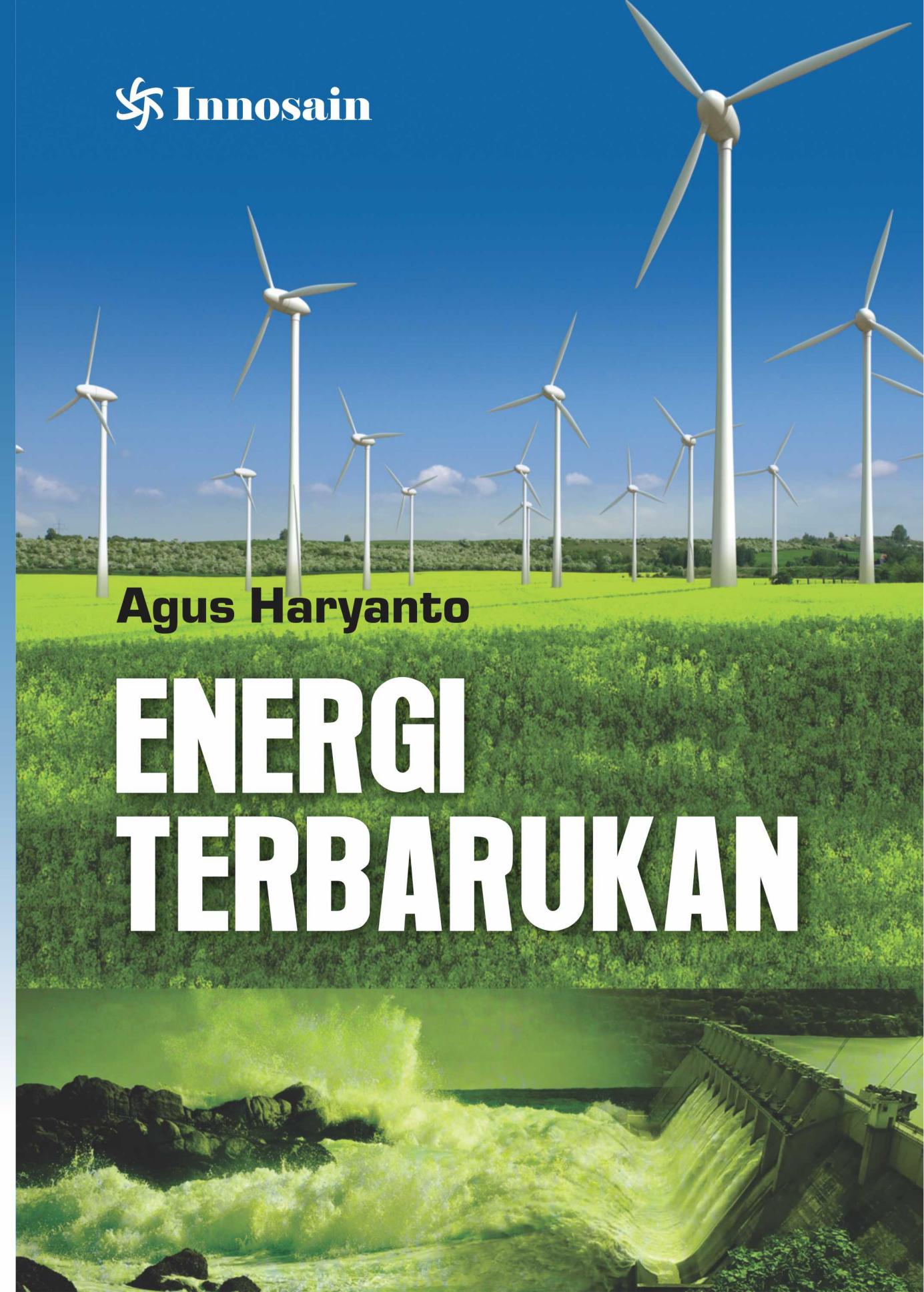
ENERGI TERBARUKAN

Agus Haryanto



Agus Haryanto

ENERGI TERBARUKAN



ENERGI TERBARUKAN

LIA

ENERGI TERBARUKAN

Agus Haryanto

 **Innosain**

ENERGI TERBARUKAN

oleh Agus Haryanto

Hak Cipta © 2017 pada penulis



Ruko Jambusari 7A Yogyakarta 55283

Telp: 0274-889398; 882262 Fax: 0274-889057; E-mail: info@innosain.com

Hak Cipta dilindungi undang-undang. Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apa pun, secara elektronis maupun mekanis, termasuk memfotokopi, merekam, atau dengan teknik perekaman lainnya, tanpa izin tertulis dari penerbit.

Tajuk Entri Utama: Haryanto, Agus

ENERGI TERBARUKAN/Agus Haryanto

- Edisi Pertama. Cet. Ke-1. - Yogyakarta: Innosain, 2017
xiv + 468 hlm.; 25 cm

Bibliografi.: 22-23, 65-68, 121-125, 200-205, 273-280, 353-359, 404-405, 465-468

ISBN : 978-602-6542-40-3

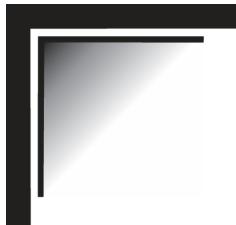
E-ISBN : 978-602-6542-41-0

1. Sumber Energi

I. Judul

621.042

Semua informasi tentang buku ini, silahkan scan QR Code di cover belakang buku ini



KATA PENGANTAR

Energi sudah menjadi salah satu kebutuhan primer hidup manusia. Dari lahir hingga mati, dari bangun tidur hingga tidur lagi, manusia tidak terlepas dari suatu proses konversi energi. Bahkan untuk dapat melanjutkan kehidupannya manusia harus memasok tubuhnya dengan energi kimia yang tersimpan dalam makanan yang dikonsumsinya. Kemajuan suatu bangsa dapat dinilai dari seberapa banyak energi yang digunakan dalam hidupnya.

Seiring dengan pertumbuhan penduduk dan kemajuan industri, kebutuhan energi pun bertambah. Selama bertahun-tahun, sejak ditemukannya minyak yang murah, manusia telah menggantungkan pemenuhan kebutuhan energinya dari bahan bakar fosil (minyak bumi, gas alam dan batubara). Ketergantungan manusia pada bahan bakar fosil telah mengakibatkan masalah yang menyangkut polusi lingkungan dan ketahanan energi (*energy security*). Penggunaan bahan bakar fosil telah mengakibatkan emisi gas rumah kaca yang dapat memicu pemanasan global. Selain itu, cadangan energi fosil yang terus berkurang juga menimbulkan kekhawatiran mengenai aspek ketahanan dan kelestariannya (*sustainability*). Oleh karena itu, energi baru dan terbarukan harus segera dikembangkan.

Indonesia diberkahi dengan berbagai sumber energi terbarukan seperti biomassa, air, angin, surya, dan lain-lain. Hingga saat realisasi

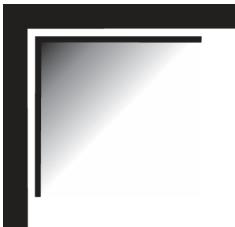
pemanfaatan sumber-sumber energi ini masih sangat terbatas. Buku yang ada di hadapan pembaca ini merupakan salah satu upaya dalam mendokumentasikan potensi dan teknologi energi terbarukan. Buku ini tidak dirancang sebagai panduan praktis pengembangan energi terbarukan, melainkan lebih bersifat akademis untuk memberikan pengetahuan dasar mengenai teknologi energi terbarukan yang sudah dan dapat diaplikasikan dalam waktu dekat.

Atas terbitnya buku ini kami menyampaikan terima kasih dan penghargaan kepada LPPM (Lembaga Penelitian) dan yang telah memberikan dukungan bagi penerbitannya. Kepada para mahasiswa, khususnya dari Jurusan Teknik Pertanian Universitas Lampung, juga disampaikan terima kasih atas masukan yang berharga ketika buku ini masih berupa diktat sederhana. Penghargaan juga disampaikan kepada anak-anak (Reza, Pratiwi, dan Farahdina) serta isteri tercinta saya (Yuliati) yang telah merelakan kebersamaan dan waktu luangnya tersita demi menyelesaikan buku ini.

Akhirnya, kami mengharapkan kritik dan saran untuk perbaikan di masa depan. Kami merencanakan untuk terus memperbaiki buku ini sesuai kebutuhan.

Bandar Lampung, 23 Oktober 2017

AH



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
BAB 1 PENDAHULUAN: POTRET ENERGI INDONESIA DAN POTENSI ENERGI TERBARUKAN	1
1.1 Terminologi	1
1.2 Aliran Energi	3
1.3 Karakteristik Sumber Energi	4
1.4 Satuan Energi	5
1.5 Konsumsi dan Penyediaan Energi Indonesia	9
1.6 Potensi Energi Terbarukan Indonesia	16
1.7 Target dan Kebijakan Energi Terbarukan	17
Daftar Pustaka	22
BAB 2 ENERGI BIOMASA	25
2.1 Definisi Biomasa	25
2.2 Pembentukan Biomasa	26
2.3 Jenis dan Sumber Biomasa	28
2.4 Potensi Biomasa	29
2.5 Struktur dan Komposisi Biomasa Lignoselulosik	34
2.5.1 Selulosa	36
2.5.2 Hemiselulosa	37

2.5.3	Lignin	40
2.6	Sifat-sifat Bahan Bakar Biomasa	42
2.6.1	Kadar Air (<i>Moisture Content</i>)	44
2.6.2	Kadar Abu (<i>Ash Content</i>)	47
2.6.3	Kandungan Bahan Volatil	48
2.6.4	Komposisi Elemental	48
2.6.5	Massa Jenis (<i>Bulk Density</i>)	49
2.6.6	Nilai Energi (<i>Heating Value</i>)	51
2.7	Analisis Proksimat dan Ultimat	57
2.8	Kandungan Elemental dan Polusi Lingkungan	59
2.9	Biaya Listrik Biomassa	60
2.10	Prospek dan Barier	62
	Daftar Pustaka	65
BAB 3	PIROLISIS BIOMASA	69
3.1	Pendahuluan	70
3.2	Latar Belakang Sejarah	71
3.3	Mekanisme Proses Pirolisis	73
3.4	Aspek Fisik Pirolisis	75
3.5	Aspek Kimia	77
3.5.1	<i>Selulosa</i>	77
3.5.2	<i>Hemiselulosa</i>	78
3.5.3	<i>Lignin</i>	78
3.6	Jenis Pirolisis	78
3.6.1	Pirolisis Lambat	80
3.6.2	Pirolisis cepat	81
3.6.3	Pirolisis Flash	81
3.6.4	Pirolisis Ultra-Cepat	82
3.6.5	Pirolisis dengan Medium	82
3.7	Produk Pirolisis	83
3.7.1	Produk Padat (Arang)	84
3.7.2	Produk Gas	84
3.7.3	Produk Cair (<i>Bio-oil</i>)	85

3.8	Faktor-faktor Penting	90
3.8.1	Komposisi Biomasa	91
3.8.2	Ukuran Partikel	92
3.8.3	Suhu Pirolisis	92
3.8.4	Laju Pemanasan	94
3.9	Transfer Panas dan Massa dalam Piroliser	94
3.9.1	Pirolisis Autothermal	96
3.9.2	Transfer Masa	97
3.10	Jenis Piroliser (Reaktor)	97
3.10.1	Piroliser Unggun Tetap	103
3.10.2	Piroliser Unggun Mendidih	103
3.10.3	Piroliser Circulating Fluidized-Bed (CFB)	104
3.10.4	Piroliser Ultra-Cepat	106
3.10.5	Piroliser Ablatif	107
3.10.6	Piroliser Kerucut Berputar	108
3.10.7	Piroliser Vacuum	110
3.11	Pertimbangan Desain Piroliser	111
3.11.1	Produksi Bahan Cair Melalui Pirolisis	111
3.11.2	Produksi Arang Melalui Pirolisis	112
3.12	Aplikasi Bio-oil	113
3.12.1	Pembakaran	116
3.12.2	Pembangkitan Daya Listrik	116
3.12.3	Bahan Kimia	117
	Daftar Pustaka	121
BAB 4	GASIFIKASI BIOMASSA	127
4.1	Sejarah Gasifikasi Biomassa	128
4.2	Tahap Reaksi Gasifikasi	131
4.2.1	Pengerigan	135
4.2.2	Pirolisis	136
4.2.3	Pembakaran	136
4.2.4	Reduksi	137
4.3	Medium Gasifikasi	138
4.3.1	Gasifikasi Langsung: Oksigen atau Udara	141

4.3.2	Gasifikasi Tak Langsung: Uap	142
4.4	Rasio Ekivalen (ER)	143
4.5	Reaksi Gasifikasi Arang	149
4.6	Reaksi Pembakaran Arang	151
4.7	Tipe Gasifier	154
4.7.1	Gasifier Fixed-Bed atau Moving-Bed	158
4.7.2.	Gasifier Fluidized-Bed	171
4.7.3.	Gasifier Entrained-Flow	178
4.8	Tar dan Gas cleaning	182
4.9	Biaya Pembangkit Gasifikasi Biomassa	185
4.10	Status dan Prospek Gasifikasi Biomassa	191
4.11	Barrier	195
	Daftar Pustaka	200
BAB 5	BIODIESEL	207
5.1	Pedahuluan	208
5.2	Sejarah Biodiesel	210
5.3	Minyak Nabati sebagai Bahan Bakar Mesin	211
5.3.1	Penggunaan Minyak Nabati 100%	213
5.3.2	Campuran Minyak Nabati dan Minyak Diesel	216
5.4	Pengertian Biodiesel	221
5.5	Keunggulan Biodiesel	224
5.6	Bahan Baku Biodiesel	225
5.6.1	Trigiliserida	230
5.6.2	Minyak Kelapa Sawit	230
5.6.3	Jarak Pagar (<i>Jatropha curcas Linneaus</i>)	233
5.6.4	Bunga Matahari (<i>Helianthus annus</i>)	235
5.7	Reaksi Pembuatan Biodiesel	236
5.7.1	Esterifikasi	236
5.7.2	Transesterifikasi	238
5.8	Variabel Penting Reaksi Transesterifikasi	242
5.8.1	Pengaruh asam lemak bebas	243
5.8.2	Pengaruh air	244

5.8.3	Bahan baku (Kasar vs. Murni) <i>Crude dan Refined Minyak Nabati</i>	244
5.8.4	Kemurnian reaktan	245
5.8.5	Pengaruh rasio molar alkohol dengan bahan mentah	245
5.8.6	Pengaruh jenis alkohol	248
5.8.7	Pengaruh jenis katalis	252
5.8.8	Tipe dan konsentrasi katalis	252
5.8.9	Pengaruh Suhu	253
5.8.10	Intensitas Pengadukan	254
5.9	Standar Mutu Biodiesel	254
5.10	Teknologi Proses Produksi Biodiesel	255
5.10.1	Proses Biox	256
5.10.2	Proses Lurgi	258
5.10.3	Proses Henkel	261
5.10.4	Proses Oelmühle	264
5.10.5	Proses MPOB (Malaysia)	266
5.10.6	Biodiesel ITB	267
5.10.7	Proses Biodiesel Non-Katalis (Demirbas)	270
	Daftar Pustaka	273
	BAB 6 BIOGAS	281
6.1	Pendahuluan	282
6.2	Sejarah Perkembangan Teknologi Biogas	283
6.3	Manfaat Teknologi Biogas	289
6.3.1	Manfaat bagi masyarakat	290
6.3.2	Manfaat bagi petani	292
6.4	Pemanfaatan Biogas	294
6.5	Mekanisme Degradasi Anaerobik	299
6.5.1	Hidrolisis (likuifikasi) dan fermentasi	301
6.5.2	Acidogenesis	303
6.5.3	Acetogenesis	303
6.5.4	Metanogenesis	304
6.6	Stoikiometri Proses Biogas	305

6.7	Biokimia Proses Biogas	306
6.7.1	Asam Volatil Intermediet	307
6.7.2	Aspek Termodinamika	309
6.7.3	Pembentukan Metana	310
6.8	Karakteristik Air Limbah	316
6.8.1	Keseimbangan COD	317
6.8.2	COD removal	321
6.9	Parameter Penting	323
6.9.1	Suhu	323
6.9.2	Derajat Keasaman (pH)	328
6.9.3	Kandungan TS	331
6.9.4	Laju Pembebanan Organik (OLR)	331
6.9.5	Komposisi Substrat	333
6.9.6	Rasio Karbon/Nitrogen (C/N ratio)	334
6.9.7	Waktu Tinggal Hidrolik (Retention atau Residence Time)	335
6.9.8	Pengadukan (Mixing)	336
6.9.9	Toksisitas	337
6.10	Tipe Digester (<i>Reaktor</i>)	342
6.10.1	Digester UASB	343
6.10.2	Digester Kolam Tertutup (<i>Covered Lagoon</i>)	346
6.10.3	Digester Pengadukan Sempurna (<i>Complete Mix</i>)	347
6.10.4	Digester Temperature-phased Anaerobic (TPAD)	347
6.10.5	Digester Plug-Flow	348
6.10.6	Digester Fixed Film	349
6.10.7	Digester Anaerobik Fluidized Bed	349
6.11	Prospek Teknologi Biogas	351
	Daftar Pustaka	353
Bab 7	ENERGI ANGIN	361
7.1	Sumber Daya Angin	361
7.2	Pertumbuhan Energi Angin	362
7.3	Rotasi Dan Radiasi	366
7.4	Daya Angin	368

7.5	Energi yang Dapat Dipanen	369
7.6	Perkembangan Turbin Angin	374
7.7	Perkembangan Energi Angin Global	381
7.8	Klasifikasi Turbin	382
7.8.1	Turbin Horizontal	382
7.8.2	Turbin Vertikal	384
7.9	Komponen Turbin Angin	387
7.10	Aerodinamika Bilah Rotor	388
7.11	Karakteristik Torsi dan Daya	392
7.12	Koefisien Tak Berdimensi	393
7.13	Bentuk Dasar Karakteristik Kincir Angin	395
7.14	Karakteristik Berbagai Tipe Kincir Angin	396
7.15	Aplikasi Energi Angin	399
7.15.1	Aplikasi Elektrik	400
7.15.2	<i>Output</i> Poros untuk Pemanasan Langsung dan Aplikasi Mekanis	401
7.15.3	Pemanasan Air	402
7.15.4	Refrigerasi	402
7.15.5	Pompa	402
	Daftar Pustaka	404
BAB 8	ENERGI AIR	407
8.1	Potensi Energi Air Global	408
8.2	Perhitungan Potensi Energi Air	412
8.3	Sejarah Perkembangan Kincir Air	417
8.4	Jenis Kincir	430
8.5	Turbin Air Modern	434
8.6	Jenis Turbin	436
8.7	Karakteristik PLTA	443
8.8	Klasifikasi PLTA	444
8.8.1	Klasifikasi PLTA Menurut Ketersediaan Air	445
8.8.2	Klasifikasi Menurut Head Air	448
8.8.3	Klasifikasi Menurut Sifat Beban	449
8.8.4	Klasifikasi Menurut Kapasitas Daya	450

8.9	Plus-Minus PLTA	451
8.10	Makro-, Mini- atau Mikrohidro?	452
8.11	Komponen PLTMH	456
8.12	PLTA Indonesia	458
	Daftar Pustaka	465

-oo0oo-