

Konversi Energi

OLEH :

TEKNIK ENERGI LISTRIK

TEKNIK ELEKTRO

2012

UNIVERSITAS HASANUDDIN

KATA PENGANTAR

Buku Kumpulan Makalah Konversi Energi ini memaparkan jenis-jenis pembangkit listrik dan ditambah dengan penjelasan proses kerja dari berbagai jenis pembangkit listrik pada setiap bab. Fokus pembahasan didalam buku ini adalah mesin mesin yang mengkonversi sumber-sumber energi yang tersedia di alam untuk menghasilkan energi yang dapat dimanfaatkan. Dengan demikian, mesin-mesin seperti penukar kalor, pompa, dan kompresor, tidak dibahas detail dalam buku ini. Mesin-mesin tersebut dianggap sebagai alat bantu untuk pengoperasian mesin-mesin konversi dan dibahas pada perkuliahan awal. Mesin-mesin panas, seperti motor bakar, turbin gas, dan turbin uap dibahas lebih awal, kemudian turbin air dan mesin refrigerasi.

Pada kesempatan ini kami menyampaikan penghargaan kepada semua pihak yang telah terlibat dalam penyusunan buku ini, yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu. Semoga Tuhan Yang Maha Esa membalas semua kebaikan dan jerih payah saudara-saudara sekalian.

Dalam penyusunan buku ini, kami akui masih jauh dari sempurna. Untuk itu saran dan kritik yang membangun kearah penyempurnaan buku ini kami terima dengan tangan terbuka.

Akhirnya, mudah-mudahan buku ini dapat berguna dan membantu siapa saja yang membaca dan membutuhkan materi konversi energi.

Gowa, 28 Mei 2014
penyusun

DAFTAR ISI

Kata Pengantar

Daftar Isi

BAB 1 Energi Nuklir

| | | |
|-------|------------------------------------|----|
| 1.1 | Pengertian Energi Nuklir | 5 |
| 1.2 | Reaksi Nuklir | 5 |
| 1.3 | Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir | |
| 1.3.1 | Prinsip Kerja | |
| 1.3.2 | Radiasi dan Hasil Belahan..... | 8 |
| 1.3.3 | Keselamatan Nuklir | 9 |
| 1.3.4 | Pengolahan Limbah Radioaktif | 10 |

BAB 2 Energi Angin

| | | |
|-----|---------------------------------------|----|
| 2.1 | Pengertian Energi Angin | 12 |
| 2.2 | Proses Terjadinya Angin | 12 |
| 2.3 | Pembangkit Listrik Tenaga Angin | 12 |
| 2.4 | Potensi di Indonesia..... | 15 |

BAB 3 Sel Bahan Bakar (*Fuel Cell*)

| | | |
|-----|---|----|
| 3.1 | Pengertian Sel Bahan Bakar | 17 |
| 3.2 | Jenis-Jenis Sel Bahan Bakar | 17 |
| 3.3 | Kelebihan dan Kekurangan Sel Bahan Bakar..... | 21 |

BAB 4 Energi Panas Bumi

| | | |
|-------|---|----|
| 4.1 | Pengertian Geothermal | 26 |
| 4.2 | Geothermal Sebagai Pengganti energy terbarukan | 26 |
| 4.3 | Potensi panas Bumi di Indonesia..... | 26 |
| 4.4 | Proses Terjadinya Energi Panas Bumi di Indonesia..... | 27 |
| 4.5 | Skema Terjadinya Sumber Air Panas Dan Uap..... | 27 |
| 4.6 | Energi panas yang ada di Indonesia | 27 |
| 4.7 | Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi | |
| 4.7.1 | Sistem Pembangkitan..... | 31 |
| 4.7.2 | Macam Teknologi Pembangkitan | 32 |
| 4.7.3 | Peralatan – Peralatan Penting di PLTP | 32 |
| 4.7.4 | Proses Sinkron Generator pada PLTP..... | 33 |
| 4.7.5 | Prosedur Sinkronisasi..... | 33 |
| 4.8 | Kelebihan dan Kelemahan Energi Panas Bumi | 33 |

BAB 5 Penyimpanan Energi

BAB 6 Energi Gelombang Laut

| | | |
|-------|--|----|
| 6.1 | Pengertian PLTGL | 35 |
| 6.2 | Prinsip Kerja PLTGL..... | |
| 6.3 | Teknologi yang digunakan pada PLTGL | |
| 6.3.1 | Teknologi Tapered Channel (Tapchan) | 35 |
| 6.3.2 | Teknik osilasi kolom air (<i>oscillating water column</i>) | 36 |
| 6.3.3 | Wave dragon | 36 |

BAB 7 Energi Surya

| | | |
|-----|---------------------------------|----|
| 7.1 | Pengertian Energi Surya | 37 |
| 7.2 | Prinsip Kerja Tenaga Surya..... | 37 |
| 7.3 | Perhitungan Energi Surya..... | 38 |
| 7.4 | Sudut surya | 39 |
| 7.5 | Tabel Absorpsivitas | 42 |
| 7.6 | Pemanfaatan Energi Surya | 43 |
| 7.7 | Cara sel Fotovoltaik | 43 |

BAB 8 Biomassa

| | | |
|-----|-------------------------------------|----|
| 8.1 | Pengertian Biomassa | 45 |
| 8.2 | Potensi Biomassa di Indonesia | 46 |
| 8.3 | Proses Pembentukan Biomassa | 47 |

Lampiran

BAB 1

ENERGI NUKLIR

1.1 Pengertian Energi Nuklir

Energi Nuklir adalah energi yang dihasilkan dengan mengendalikan reaksi nuklir. Energi nuklir merupakan salah satu sumber energi di alam ini yang diketahui manusia bagaimana mengubahnya menjadi energi panas dan listrik. Sejauh ini, energi nuklir adalah sumber energi yang paling padat dari semua sumber energi di alam ini yang bisa dikembangkan manusia. Artinya, kita dapat mengekstrak lebih banyak panas dan listrik dari jumlah yang diberikan dibandingkan sumber lainnya dengan jumlah yang setara.

Masyarakat pertama kali mengenal tenaga nuklir dalam bentuk bom atom yang dijatuhkan di Hiroshima dan Nagasaki dalam Perang Dunia II tahun 1945. Sedemikian dahsyatnya akibat yang ditimbulkan oleh bom tersebut sehingga pengaruhnya masih dapat dirasakan sampai sekarang. Di samping sebagai senjata pamungkas yang dahsyat, sejak lama orang telah memikirkan bagaimana cara memanfaatkan tenaga nuklir untuk kesejahteraan umat manusia. Sampai saat ini tenaga nuklir, khususnya zat radioaktif telah dipergunakan secara luas dalam berbagai bidang antara lain bidang industri, kesehatan, pertanian, peternakan, sterilisasi produk farmasi dan alat kedokteran, pengawetan bahan makanan, bidang hidrologi, yang merupakan aplikasi teknik nuklir untuk non energi. Salah satu pemanfaatan teknik nuklir dalam bidang energi saat ini sudah berkembang dan dimanfaatkan secara besar-besaran dalam bentuk Pembangkit Listrik Tenaga nuklir (PLTN), dimana tenaga nuklir digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik yang relatif murah, aman dan tidak mencemari lingkungan. Sebagai pembandingan, 1 kg batu bara dan uranium yang sama² berasal dari perut bumi. Jika kita mengekstrak energi listrik dari 1 kg batubara, kita dapat menyalakan lampu bohlam 100W selama 4 hari. Dengan 1 kg uranium, kita dapat menyalakan bohlam paling sedikit selama 180 tahun.

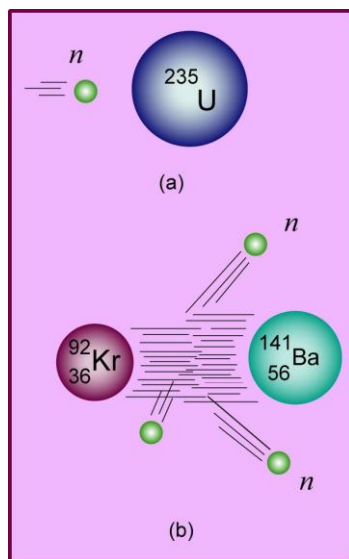
1.2 Reaksi Nuklir

Dalam fisika nuklir, sebuah **reaksi nuklir** adalah sebuah proses di mana dua nuklei atau partikel nuklir bertubrukan, untuk memproduksi hasil yang berbeda dari produk awal. Pada prinsipnya sebuah reaksi dapat melibatkan lebih dari dua partikel yang bertubrukan, tetapi kejadian tersebut sangat jarang. Bila partikel-partikel tersebut bertabrakan dan berpisah tanpa berubah (kecuali mungkin dalam level energi), proses ini disebut tabrakan dan bukan sebuah reaksi.

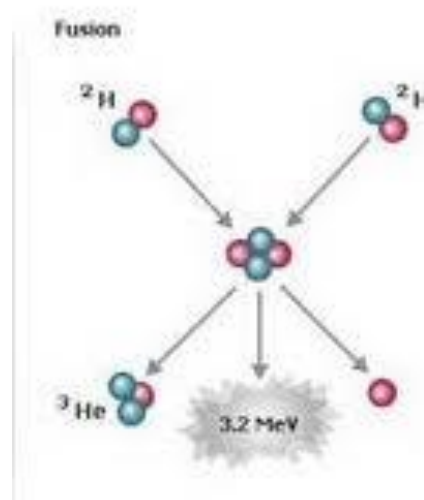
Secara umum, energi nuklir dapat dihasilkan melalui dua macam mekanisme, yaitu pembelahan inti atau **reaksi fisi** dan penggabungan beberapa inti melalui **reaksi fusi**. Reaksi fusi nuklir adalah reaksi peleburan dua atau lebih inti atom menjadi atom baru dan menghasilkan energi, juga dikenal sebagai reaksi yang bersih. Reaksi fisi nuklir adalah

reaksi pembelahan inti atom akibat tubrukan inti atom lainnya, dan menghasilkan energi dan atom baru yang bermassa lebih kecil, serta radiasi elektromagnetik. Reaksi fusi juga menghasilkan radiasi sinar alfa, beta dan gamma yang sangat berbahaya bagi manusia.

Contoh reaksi fusi nuklir adalah reaksi yang terjadi di hampir semua inti bintang di alam semesta. Senjata bom hidrogen juga memanfaatkan prinsip reaksi fusi tak terkendali. Sedangkan contoh reaksi fisi adalah ledakan senjata nuklir dan pembangkit listrik tenaga nuklir. Unsur yang sering digunakan dalam reaksi fisi nuklir adalah Plutonium dan Uranium (terutama Plutonium-239, Uranium-235), sedangkan dalam reaksi fusi nuklir adalah hidrogen.



Reaksi Fisi

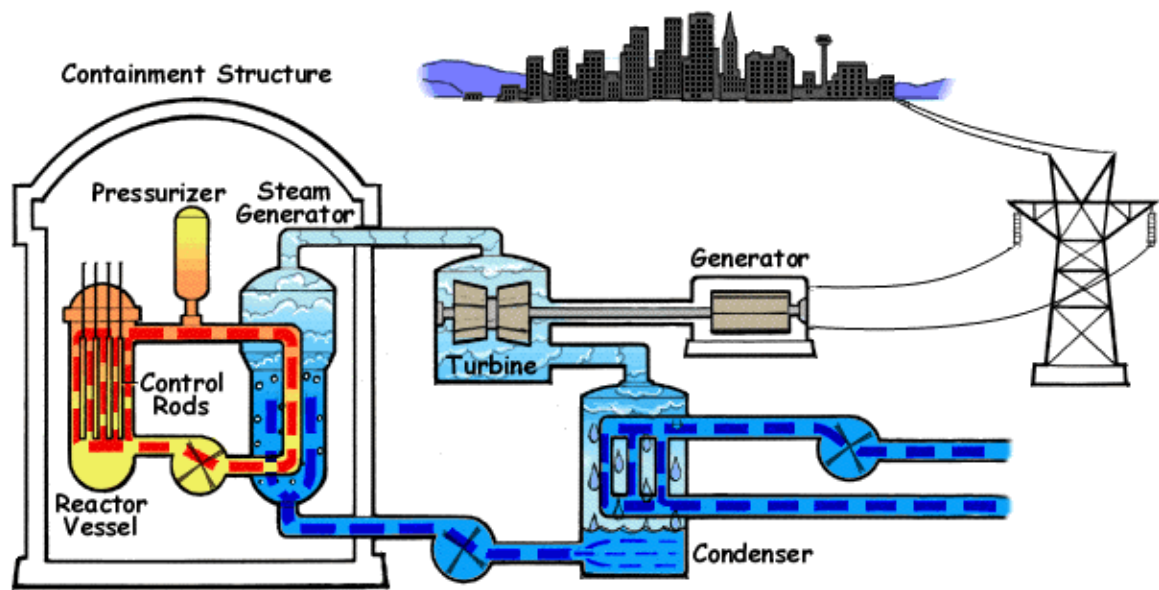


Reaksi Fusi

1.3 Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir

1.3.1 Prinsip Kerja

Pemanfaatan tenaga nuklir dalam bentuk PLTN mulai dikembangkan secara komersial sejak tahun 1954. Pada waktu itu di Rusia (USSR), dibangun dan dioperasikan satu unit PLTN air ringan bertekanan tinggi (VVER = PWR) yang setahun kemudian mencapai daya 5 Mwe. Pada tahun 1956 di Inggris dikembangkan PLTN jenis Gas Cooled Reactor (GCR + Reaktor berpendingin gas) dengan daya 100 Mwe. Pada tahun 1997 di seluruh dunia baik di negara maju maupun negara sedang berkembang telah dioperasikan sebanyak 443 unit PLTN yang tersebar di 31 negara dengan kontribusi sekitar 18 % dari pasokan tenaga listrik dunia dengan total pembangkitan dayanya mencapai 351.000 Mwe dan 36 unit PLTN sedang dalam tahap konstruksi di 18 negara.



PLTN beroperasi dengan prinsip yang sama seperti Pembangkit Listrik Konvensional, hanya panas yang digunakan untuk menghasilkan uap tidak dihasilkan dari pembakaran bahan fosil, tetapi dihasilkan dari reaksi pembelahan inti bahan fisil (uranium) dalam suatu reaktor nuklir. Tenaga panas tersebut digunakan untuk membangkitkan uap di dalam sistem pembangkit uap (Steam Generator) dan selanjutnya sama seperti pada PLK, uap digunakan untuk menggerakkan turbin generator sebagai pembangkit tenaga listrik. Sebagai pemindah panas biasa digunakan air yang disirkulasikan secara terus menerus selama PLTN beroperasi.

Proses pembangkitan listrik ini tidak membebaskan asap atau debu yang mengandung logam berat yang dibuang ke lingkungan atau melepaskan partikel yang berbahaya seperti CO_2 , SO_2 , NO_x ke lingkungan, sehingga PLTN ini merupakan pembangkit listrik yang ramah lingkungan. Limbah radioaktif yang dihasilkan dari pengoperasian PLTN adalah berupa elemen bakar bekas dalam bentuk padat. Elemen bakar bekas ini untuk sementara bisa disimpan di lokasi PLTN sebelum dilakukan penyimpanan secara lestari.

Panas yang digunakan untuk membangkitkan uap diproduksi sebagai hasil dari pembelahan inti atom yang dapat diuraikan sebagai berikut :

Apabila satu neutron (dihasilkan dari sumber neutron) tertangkap oleh satu inti atom uranium-235, inti atom ini akan terbelah menjadi 2 atau 3 bagian/fragmen. Sebagian dari energi yang semula mengikat fragmen-fragmen tersebut masingmasing dalam bentuk energi kinetik, sehingga mereka dapat bergerak dengan kecepatan tinggi. Oleh karena fragmen-fragmen itu berada di dalam struktur kristal uranium, mereka tidak dapat bergerak jauh dan gerakannya segera diperlambat.

Dalam proses perlambatan ini energi kinetik diubah menjadi panas (energi termal). Sebagai gambaran dapat dikemukakan bahwa energi termal yang dihasilkan dari reaksi pembelahan 1 kg uranium-235 murni besarnya adalah 17 milyar kilo kalori, atau setara dengan energi termal yang dihasilkan dari pembakaran 2,4 juta kg (2400 ton) batubara.

Selain fragmen-fragmen tersebut reaksi pembelahan menghasilkan pula 2 atau 3 neutron yang dilepaskan dengan kecepatan lebih besar dari 10.000 km per detik. Neutron-neutron ini disebut neutron cepat yang mampu bergerak bebas tanpa dirintangi oleh atom-atom uranium atau atom-atom kelongsongnya. Agar mudah ditangkap oleh inti atom uranium guna menghasilkan reaksi pembelahan, kecepatan neutron ini harus diperlambat. Zat yang dapat memperlambat kecepatan neutron disebut *moderator*.

Panas yang dihasilkan dari reaksi pembelahan, oleh air yang bertekanan 160 atmosfer dan suhu 300 °C secara terus menerus dipompakan ke dalam reaktor melalui saluran pendingin reaktor. Air bersirkulasi dalam saluran pendingin ini tidak hanya berfungsi sebagai pendingin saja melainkan juga bertindak sebagai moderator, yaitu sebagai medium yang dapat memperlambat neutron. Neutron cepat akan kehilangan sebagian energinya selama menumbuk atom-atom hidrogen. Setelah kecepatan neutron turun sampai 2000 m per detik atau sama dengan kecepatan molekul gas pada suhu 300° C, barulah ia mampu membelah inti atom uranium-235. Neutron yang telah diperlambat disebut neutron termal.

Untuk mendapatkan keluaran termal yang mantap, perlu dijamin agar banyaknya reaksi pembelahan inti yang terjadi dalam teras reaktor dipertahankan pada tingkat tetap, yaitu 2 atau 3 neutron yang dihasilkan dalam reaksi itu hanya satu yang dapat meneruskan reaksi pembelahan. Neutron lainnya dapat lolos keluar reaktor, atau terserap oleh bahan lainnya tanpa menimbulkan reaksi pembelahan atau diserap oleh batang kendali. Batang kendali dibuat dari bahan-bahan yang dapat menyerap neutron, sehingga jumlah neutron yang menyebabkan reaksi pembelahan dapat dikendalikan dengan mengatur keluar atau masuknya batang kendali ke dalam teras reaktor.

Sehubungan dengan uraian di atas perlu digarisbawahi bahwa :

- a. Reaksi pembelahan berantai hanya dimungkinkan apabila ada moderator.
- b. Kandungan uranium-235 di dalam bahan bakar nuklir maksimum adalah 3,2 %.

Kandungan ini kecil sekali dan terdistribusi secara merata dalam isotop uranium-238, sehingga tidak mungkin terjadi reaksi pembelahan berantai secara tidak terkendali di dalamnya.

1.3.2 Radiasi dan Hasil Belahan

Fragmen-fragmen yang diproduksi selama reaksi pembelahan inti disebut hasil belahan, yang kebanyakan berupa atom-atom radioaktif seperti xenon-133, kripton-85 dan iodine-131. Zat radioaktif ini meluruh menjadi atom lain dengan memancarkan radiasi alpha, beta, gamma atau neutron. Selama proses peluruhan, radiasi yang dipancarkan dapat diserap oleh bahan-bahan lain yang berada di dalam reaktor, sehingga energi yang dilepaskan berubah menjadi panas. Panas ini disebut panas peluruhan yang akan terus diproduksi walaupun reaktor berhenti beroperasi. Oleh karena itu reaktor dilengkapi dengan suatu sistem pembuangan panas peluruhan. Selain hasil belahan, dalam reaktor dihasilkan pula bahan radioaktif lain sebagai hasil aktivitas neutron. Bahan radioaktif ini terjadi karena bahan-bahan lain yang berada di dalam reaktor (seperti kelongsongan atau bahan struktur) menangkap neutron sehingga berubah menjadi unsur lain yang bersifat radioaktif.

Radioaktif adalah sumber utama timbulnya bahaya dari suatu PLTN, oleh karena itu semua sistem pengamanan PLTN ditujukan untuk mencegah atau menghalangi terlepasnya

zat radioaktif ke lingkungan dengan aktivitas yang melampaui nilai batas ambang yang diizinkan menurut peraturan yang berlaku.

1.3.3 Keselamatan Nuklir

Berbagai usaha pengamanan dilakukan untuk melindungi kesehatan dan keselamatan masyarakat, para pekerja reaktor dan lingkungan PLTN. Usaha ini dilakukan untuk menjamin agar radioaktif yang dihasilkan reaktor nuklir tidak terlepas ke lingkungan baik selama operasi maupun jika terjadi kecelakaan. Tindakan protektif dilakukan untuk menjamin agar PLTN dapat dihentikan dengan aman setiap waktu jika diinginkan dan dapat tetap dipertahankan dalam keadaan aman, yakni memperoleh pendinginan yang cukup. Untuk ini panas peluruhan yang dihasilkan harus dibuang dari teras reaktor, karena dapat menimbulkan bahaya akibat pemanasan lebih pada reaktor.

- ***Keselamatan terpasang***

Keselamatan terpasang dirancang berdasarkan sifat-sifat alamiah air dan uranium. Bila suhu dalam teras reaktor naik, jumlah neutron yang tidak tertangkap maupun yang tidak mengalami proses perlambatan akan bertambah, sehingga reaksi pembelahan berkurang. Akibatnya panas yang dihasilkan juga berkurang. Sifat ini akan menjamin bahwa teras reaktor tidak akan rusak walaupun sistem kendali gagal beroperasi.

- ***Penghalang Ganda***

PLTN mempunyai sistem pengaman yang ketat dan berlapis-lapis, sehingga kemungkinan terjadi kecelakaan maupun akibat yang ditimbulkannya sangat kecil. Sebagai contoh, zat radioaktif yang dihasilkan selama reaksi pembelahan inti uranium sebagian besar (> 99%) akan tetap tersimpan di dalam matriks bahan bakar, yang berfungsi sebagai penghalang pertama. Selama operasi maupun jika terjadi kecelakaan, kelongsongan bahan bakar akan berperan sebagai penghalang kedua untuk mencegah terlepasnya zat radioaktif tersebut keluar kelongsongan. Dalam hal zat radioaktif masih dapat keluar dari dalam kelongsongan, masih ada penghalang ketiga yaitu sistem pendingin. Lepas dari sistem pendingin, masih ada penghalang keempat berupa bejana tekan dibuat dari baja dengan tebal ± 20 cm. Penghalang kelima adalah perisai beton dengan tebal 1,5-2 m.

Bila zat radioaktif itu masih ada yang lolos dari perisai beton, masih ada penghalang keenam, yaitu sistem pengungkung yang terdiri dari pelat baja setebal ± 7 cm dan beton setebal 1,5-2 m yang kedap udara. Jadi selama operasi atau jika terjadi kecelakaan, zat radioaktif benar-benar tersimpan dalam reaktor dan tidak dilepaskan ke lingkungan. Walaupun masih ada zat radioaktif yang terlepas jumlahnya sudah sangat diperkecil sehingga dampaknya terhadap lingkungan tidak berarti.



Gambar Sistem Keselamatan Reaktor dengan Penghalang Ganda

- **Pertahanan Berlapis**

Disain keselamatan suatu PLTN menganut falsafah pertahanan berlapis (*defence in depth*). Pertahanan berlapis ini meliputi : lapisan keselamatan pertama, PLTN dirancang, dibangun dan dioperasikan sesuai dengan ketentuan yang sangat ketat, mutu yang tinggi dan teknologi mutakhir; lapis keselamatan kedua, PLTN dilengkapi dengan sistem pengaman/keselamatan yang digunakan untuk mencegah dan mengatasi akibat-akibat dari kecelakaan yang mungkin dapat terjadi selama umur PLTN dan lapis keselamatan ketiga, PLTN dilengkapi dengan sistem pengamanan tambahan, yang dapat diperkirakan dapat terjadi pada suatu PLTN. Namun demikian kecelakaan tersebut kemungkinan terjadinya sedemikian sehingga tidak akan pernah terjadi selama operasi PLTN.

1.3.4 Pengolahan Limbah Radioaktif

Selama operasi PLTN, pencemaran yang disebabkan oleh zat radioaktif terhadap lingkungan dapat dikatakan tidak ada. Air laut atau sungai yang dipergunakan untuk membawa panas dari kondensator sama sekali tidak mengandung zat radioaktif, karena tidak bercampur dengan air pendingin yang bersirkulasi di dalam reaktor. Gas radioaktif yang dapat keluar dari sistem reaktor tetap terkungkung di dalam sistem pengungkung PLTN dan sudah melalui sistem ventilasi dengan filter yang berlapis-lapis. Gas yang dilepas melalui cerobong aktivitasnya sangat kecil (sekitar 2 milicurie/tahun), sehingga tidak menimbulkan dampak terhadap lingkungan.

Pada PLTN sebagian besar limbah yang dihasilkan adalah limbah aktivitas rendah (70 – 80 %). Sedangkan limbah aktivitas tinggi dihasilkan pada proses daur ulang elemen bakar nuklir bekas, sehingga apabila elemen bakar bekasnya tidak didaur ulang, limbah aktivitas tinggi ini jumlahnya sangat sedikit. Penanganan limbah radioaktif aktivitas rendah, sedang maupun aktivitas tinggi pada umumnya mengikuti tiga prinsip, yaitu :

- Memperkecil volumenya dengan cara evaporasi, insenerasi, kompaksi/ditekan.

- Mengolah menjadi bentuk stabil (baik fisik maupun kimia) untuk memudahkan dalam transportasi dan penyimpanan.
- Menyimpan limbah yang telah diolah, di tempat yang terisolasi.

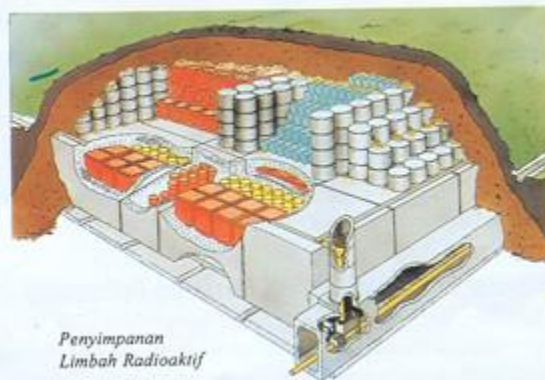
Pengolahan limbah cair dengan cara evaporasi/pemanasan untuk memperkecil volume, kemudian dipadatkan dengan semen (sementasi) atau dengan gelas masif (vitrifikasi) di dalam wadah yang kedap air, tahan banting, misalnya terbuat dari beton bertulang atau dari baja tahan karat.

Pengolahan limbah padat adalah dengan cara diperkecil volumenya melalui proses insenerasi/pembakaran, selanjutnya abunya disementasi. Sedangkan limbah yang tidak dapat dibakar diperkecil volumenya dengan kompaksi/penekanan dan dipadatkan di dalam drum/beton dengan semen. Sedangkan limbah padat yang tidak dapat dibakar atau tidak dapat

dikompaksi, harus dipotong-potong dan dimasukkan dalam beton kemudian dipadatkan dengan semen atau gelas masif. Selanjutnya limbah radioaktif yang telah diolah disimpan secara sementara (10-50 tahun) di gudang penyimpanan limbah yang kedap air sebelum disimpan secara lestari. Tempat penyimpanan limbah lestari dipilih di tempat/lokasi khusus, dengan kondisi geologi yang stabil dan secara ekonomi tidak bermanfaat.



Kolam Penyimpanan Bahan Bakar Bekas



Penyimpanan Limbah Radioaktif

BAB 2

ENERGI ANGIN

2.1 Pengertian Energi Angin

Karena matahari memanaskan permukaan bumi secara tidak merata, maka terbentuklah angin. Energy kinetic dari angin dapat digunakan untuk menjalankan turbin angin. Beberapa mampu memproduksi tenaga 5 MW. Keluaran tenaga Kubus adalah fungsi dari kecepatan angin, maka Turbin tersebut paling tidak membutuhkan angin dalam kisaran 5,5 m / d (20 km/j), dan dalam praktek sangat sedikit wilayah yang memiliki angin yang bertiup terus menerus. Namun begitu di daerah Pesisir atau daerah di ketinggian, angin yang cukup Tersedia konstan.

Tenaga angin menunjuk kepada pengumpulan energi yang berguna dari angin. Pada 2005, kapasitas generator tenaga-angin adalah 58.982 MW, hasil tersebut kurang dari 1% penggunaan listrik dunia. Meskipun masih berupa sumber energi listrik minor di kebanyakan negara, penghasilan tenaga angin lebih dari empat kali lipat antara 1999 dan 2005.

2.2 Proses Terjadinya Angin

Angin terjadi bila terdapat pemanasan permukaan bumi yang tak sama oleh sinar matahari. Di siang hari udara di atas lautan relatif lebih dingin daripada daratan. Sinar matahari menguapkan air lautan dan diserap lautan. Penguapan dan absorpsi sinar matahari di daratan kurang sehingga udara di atas daratan lebih panas. Dengan demikian udara di atas mengembang, jadi ringan dan naik ke atas.

Udara dingin yang lebih berat turun mengisi kekurangan udara di daratan, maka terjadilah aliran udara yang disebut angin dari lautan ke daratan tepi pantai. Di malam hari peristiwa yang sebaliknya terjadi, angin di permukaan laut mengalir dari pantai ke tengah lautan dan peristiwa inilah yang dimanfaatkan oleh para nelayan untuk mencari ikan di lautan. Angin di lereng gunung juga terjadi demikian. Pada sekitar puncak pegunungan lebih dulu panas dibandingkan dengan daerah lembah. Karena perbedaan panas ini sehingga menimbulkan perbedaan tekanan yang akhirnya timbul angin biasa yang disebut angin lembah dan angin gunung.

2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Angin

Pembangkit listrik tenaga angin adalah suatu pembangkit listrik yang menggunakan angin sebagai sumber energi untuk menghasilkan energi listrik. Pembangkit ini dapat mengkonversikan energi angin menjadi energi listrik dengan menggunakan turbin angin atau kincir angin. Sistem pembangkitan listrik menggunakan angin sebagai sumber

energi merupakan sistem alternatif yang sangat berkembang pesat, mengingat angin merupakan salah satu energi yang tidak terbatas di alam.

Menurunnya tinggi muka air di berbagai bendungan-terutama yang dimanfaatkan sebagai sumber pembangkit listrik tenaga air (PLTA)-telah menurunkan pasokan listrik di Jawa hingga 500 megawatt. Sebagai salah satu sumber pemasok listrik, PLTA bersama pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) dan pembangkit listrik tenaga gas (PLTG) memang memegang peran penting terhadap ketersediaan listrik terutama di Jawa, Madura, dan Bali. Energi angin yang sebenarnya berlimpah di Indonesia ternyata belum dimanfaatkan sebagai alternatif penghasil listrik.

Padahal, di berbagai negara, pemanfaatan energi angin sebagai sumber energi alternatif nonkonvensional sudah semakin mendapatkan perhatian. Hal ini tentu saja didorong oleh kesadaran terhadap timbulnya krisis energi dengan kenyataan bahwa kebutuhan energi terus meningkat sedemikian besarnya. Di samping itu, angin merupakan sumber energi yang tak ada habisnya sehingga pemanfaatan sistem konversi energi angin akan berdampak positif terhadap lingkungan.

Tenaga angin telah lama dimanfaatkan di tanah air kita sejak ratusan mungkin ribuan tahun yang lalu, khususnya untuk menggerakkan kapal layar sampai sekarang, dan yang banyak kita lihat sekarang digunakan dalam tambak-tambak ikan di tepi pantai untuk menggerakkan baling-baling (atau turbin angin) untuk menjalankan memompaan air. Namun baiklah kalau kita di Indonesia mulai mempopulerkan PTLTA, khususnya ukuran kecil. PTLTA ukuran kecil adalah istilah yang biasanya diberikan kepada unit 50 KW atau lebih kecil. Tempat-tempat terpencil yang biasanya menggunakan diesel-generator dapat menggantikannya atau menambahkannya dengan PTLTA ukuran kecil ini.



Komponen-komponen PTLTA dari ukuran besar, pada umumnya dapat terlihat dalam gambar #2, sbb; sedangkan untuk ukuran kecil biasanya tidak semua komponen ada seperti yang terlihat dalam gambar #2

- Anemometer: Mengukur kecepatan angin, dan mengirim data angin ini ke Alat Pengontrol.

- **Blades (Bilah Kipas):** Kebanyakan turbin angin mempunyai 2 atau 3 bilah kipas. Angin yang menghembus menyebabkan turbin tersebut berputar.
- **Brake (Rem):** Suatu rem cakram yang dapat digerakkan secara mekanis, dengan tenaga listrik atau hidrolik untuk menghentikan rotor atau saat keadaan darurat.
- **Controller (Alat Pengontrol):** Alat Pengontrol ini menstart turbin pada kecepatan angin kira-kira 12-25 km/jam, dan mematikannya pada kecepatan 90 km/jam. Turbin tidak beroperasi di atas 90 km/jam, karena angin terlalu kencang dapat merusakkannya.
- **Gear box (Roda Gigi):** Roda gigi menaikkan putaran dari 30-60 rpm menjadi kira-kira 1000-1800 rpm yaitu putaran yang biasanya disyaratkan untuk memutar generator listrik.
- **Generator:** Generator pembangkit listrik, biasanya sekarang alternator arus bolak-balik.
- **High-speed shaft (Poros Putaran Tinggi):** Menggerakkan generator.
- **Low-speed shaft (Poros Putaran Rendah):** Poros turbin yang berputar kira-kira 30-60 rpm.
- **Nacelle (Rumah Mesin):** Rumah mesin ini terletak di atas menara. Di dalamnya berisi gear-box, poros putaran tinggi / rendah, generator, alat pengontrol, dan alat pengereman.
- **Pitch (Sudut Bilah Kipas):** Bilah kipas bisa diatur sudutnya untuk mengatur kecepatan rotor yang dikehendaki, tergantung angin terlalu rendah atau terlalu kencang.
- **Rotor:** Bilah kipas bersama porosnya dinamakan rotor.
- **Tower (Menara):** Menara bisa dibuat dari pipa baja, beton, rangka besi. Karena kencangnya angin bertambah dengan ketinggian, maka makin tinggi menara makin besar tenaga yang didapat.
- **Wind direction (Arah Angin):** Gambar #2 adalah turbin yang menghadap angin, desain turbin lain ada yang mendapat hembusan angin dari belakang.
- **Wind vane (Tebeng Angin):** Mengukur arah angin, berhubungan dengan penggerak arah yang memutar arah turbin disesuaikan dengan arah angin.
- **Yaw drive (Penggerak Arah):** Penggerak arah memutar turbin ke arah angin untuk desain turbin yang menghadap angin. Untuk desain turbin yang mendapat hembusan angin dari belakang tak memerlukan alat ini.

- Yaw motor (Motor Penggerak Arah): Motor listrik yang menggerakkan penggerak arah.
- Data kekuatan angin Untuk keperluan perencanaan pemasangan PTLTA skala besar atau menengah, sebaiknya data kekuatan angin di suatu daerah perlu diperoleh, agar dapat mendesain ukuran PTLTA yang tepat dan ekonomis. Salah satu contoh data yang diambil di suatu tempat (Lee Ranch, Colorado) di Amerika Serikat pada tahun 2002 adalah sebagai berikut:

Demikianlah secara sangat singkat tulisan mengenai Pembangkit Listrik Tenaga Angin. Tulisan ini dimaksudkan hanya untuk menggugah gagasan para pembaca untuk dapat mengembangkan pembuatan PTLTA skala kecil di Indonesia, baik dengan cara membuat sendiri atau mungkin membeli dari beberapa pembuat turbin angin yang ada di dunia, untuk dipasang di daerah-daerah, di mana potensi angin memang mencukupi.

2.4 Potensi di Indonesia

Selama beberapa tahun terakhir pemasangan kapasitas angin meningkat melebihi 30%. Hal tersebut membuat target untuk menjadikan tenaga angin mampu memenuhi kebutuhan energi dunia hingga 12 persen pada tahun 2020 menjadi realistis. Di saat bersamaan hal tersebut juga akan membuka kesempatan terbukanya lapangan pekerjaan hingga dua juta dan mengurangi emisi CO₂ hingga 10.700 juta ton. Berkah terus meningkatnya ukuran dan kapasitas rata-rata turbin, pada tahun 2020 biaya pembangkit listrik tenaga angin pada wilayah yang menunjang akan turun hingga 2.45 sen per KWh- lebih murah 36 persen dari biaya pada tahun 2003 yang mencapai 3.79 euro/KWh. Sambungan kabel listrik tidak termasuk dalam biaya ini.

Sumber angin dunia sangat besar dan menyebar dengan baik di semua kawasan dan negara. Menggunakan teknologi saat ini, tenaga angin diperkirakan dapat menyediakan 53.000 Terawat/jam setiap tahunnya. Yang berarti dua kali lebih besar dari proyeksi permintaan energi pada tahun 2020-meninggalkan tempat yang penting untuk tumbuhnya industri bahkan dalam 1 dekade kedepan. Amerika Serikat sendiri mempunyai potensi angin yang cukup untuk menyediakan pasokan kebutuhan energinya bahkan tiga kali lebih besar daripada kebutuhannya.

Variable

Variable angin menimbulkan masalah manajemen sistem jaringan listrik lebih sedikit daripada yang diharapkan oleh pihak-pihak yang skeptis. Ketidakstabilan permintaan energi dan kebutuhan untuk melindungi gagalnya pembangkit listrik konvensional memenuhi kebutuhan tersebut, sesungguhnya membutuhkan sistem jaringan listrik yang lebih fleksibel daripada tenaga angin, dan pengalaman dunia nyata telah menunjukkan bahwa sistem pembangkit listrik nasional mampu menjalankan tugas tersebut. Pada malam berangin, sebagai contoh, turbin angin 50% pembangkit listrik di bagian barat Denmark, tapi kekuatannya telah terbukti dapat diatur. Penciptaan jaringan listrik yang super mengurangi

masalah ketidakstabilan angin. Caranya dengan membiarkan perubahan pada kecepatan di wilayah-wilayah berbeda untuk diseimbangkan satu sama lain.

Mekanisme Turbin Angin

Sebuah pembangkit listrik tenaga angin dapat dibuat dengan menggabungkan beberapa turbin angin sehingga menghasilkan listrik ke unit penyalur listrik. Listrik dialirkan melalui kabel transmisi dan didistribusikan ke rumah-rumah, kantor, sekolah, dan sebagainya. Turbin angin dapat memiliki tiga buah bilah turbin. Jenis lain yang umum adalah jenis turbin dua bilah. Angin akan memutar sudut turbin, kemudian memutar sebuah poros yang dihubungkan dengan generator, lalu menghasilkan listrik. Turbin untuk pemakaian umum berukuran 50-750 kilowatt. Sebuah turbin kecil, kapasitas 50 kilowatt, digunakan untuk perumahan, piringan parabola, atau pemompaan air.

Dalam perkembangannya, turbin angin dibagi menjadi jenis turbin angin propeler dan turbin angin Darrieus. Kedua jenis turbin inilah yang kini memperoleh perhatian besar untuk dikembangkan. Pemanfaatannya yang umum sekarang sudah digunakan adalah untuk memompa air dan pembangkit tenaga listrik. Jumlah putaran per menit dari poros anemometer dihitung secara elektronik. Biasanya, anemometer dilengkapi dengan sudut angin untuk mendeteksi arah angin. Jenis anemometer lain adalah anemometer ultrasonik atau jenis laser yang mendeteksi perbedaan fase dari suara atau cahaya koheren yang dipantulkan dari molekul-molekul udara. Cara kerja PLTB cukup sederhana, energi angin yang memutar turbin angin, diteruskan untuk memutar rotor pada generator di bagian belakang turbin angin, sehingga akan menghasilkan energi listrik. Energi Listrik ini biasanya akan disimpan ke dalam baterai sebelum dapat dimanfaatkan. Indonesia adalah negara kepulauan yang 2/3 wilayahnya adalah lautan dan mempunyai garis pantai terpanjang di dunia yaitu $\pm 80.791,42$ Km merupakan wilayah potensial untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga angin. Tapi masih sedikit yg diberdayakan, baru 80 kw di seluruh Indonesia. (Bandingkan Jepang th 2005 1.040 MW). Tahun 2025 ditargetkan mencapai 250 megawatt (MW).

Tipe Kincir/Turbin/Rotor Angin :

- Konvensional
- Savonius
- Windside

BAB 3

SEL BAHAN BAKAR (FUEL CELL)

3.1 Pengertian Sel Bahan Bakar



Fuel Cell adalah divais elektrokimia yang dapat mengkonversi energi kimia menjadi energi listrik secara terus-menerus selama suplai bahan bakar diberikan. Berdasarkan jenis elektrolitnya *fuel cell* dikelompokkan menjadi lima jenis, yaitu *polymer electrolyte fuel cell* (PEFC), *alkaline fuel cell* (AFC), *phosphoric fuel cell* (PAFC), *molten carbonate fuel cell* (MCFC), dan *solid oxide fuel cell* (SOFC). PEFC sendiri terdiri dari dua jenis, yaitu yang berbahan bakar hidrogen dinamakan PEMFC (*Proton Exchange Membran Fuel Cell*) dan yang berbahan bakar metanol disebut DMFC (*Direct Methanol Fuel Cell*). PEMFC memiliki beberapa keunggulan dibandingkan jenis lainnya, yaitu suhu operasinya lebih rendah (40°C - 80°C), densitas dan efisiensi energinya lebih tinggi, serta dapat dibuat dalam bentuk yang lebih kompak dan portable.

Fuelcell jenis PEMFC memiliki efisiensi konversi energi yang tinggi (40% – 70%), tidak menimbulkan efek getaran pada saat beroperasi, dan tidak menimbulkan emisi gas rumah kaca. Karena keunggulan tersebut, PEMFC sangat potensial untuk diaplikasikan dalam teknologi transportasi dan sumber listrik perumahan pada rumah mandiri energi. PEMFC sangat cocok dikombinasikan dengan pembangkit listrik ramah lingkungan lainnya seperti solar sel atau pembangkit listrik tenaga angin. PEMFC dapat berfungsi sebagai penyimpan energi atau baterai jika dikombinasikan dengan sumber pembangkit energi terbarukan lainnya. Selain itu, PEMFC juga dapat digunakan sebagai pembangkit energi listrik tersendiri dengan memakai bahan bakar hidrogen. Dengan demikian, PEMFC sangat menguntungkan jika digunakan sebagai sumber energi listrik pada beragam kebutuhan karena sangat fleksibel dan kompak.

3.2 Jenis-Jenis Sel Bahan Bakar

Berdasarkan atas perbedaan elektrolit yang digunakan, *fuel cell* dapat dibagi menjadi empat tipe. Keempat tipe tersebut, suhu dan skala energi yang dihasilkan berbeda. Dari empat tipe tersebut dapat dibagi lagi menjadi dua tipe, yaitu yang bekerja pada suhu tinggi (dua tipe) dan pada suhu rendah (dua tipe):

1. Tipe pada suhu tinggi adalah MCFC (Molten Carbonate Fuel Cell) dan SOFC (Solid Oxide Fuel Cell). Kedua tipe ini bekerja pada suhu 500°C - 1000°C . Suhu tinggi akan mempercepat reaksi sehingga katalis (Pt) tidak diperlukan pada tipe ini. MCFC bekerja pada suhu 650°C , dan elektrolit yang digunakan adalah garam karbonat (Li_2CO_3 , K_2CO_3 , dll) dalam bentuk larutan. Sedangkan SOFC, bekerja pada suhu 1000°C , dengan keramik padat (misal, ZrO_2) sebagai elektrolitnya.
2. Tipe pada suhu rendah adalah PAFC (Phosphoric Acid Fuel Cell) dan PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell). Kedua tipe ini bekerja pada suhu dibawah 200°C . Tipe ini cepat teraktifasi karena beroperasi pada suhu yang lebih rendah,

namun karena suhu rendah tersebut tipe ini membutuhkan katalis (Pt) sebagai elektrodanya yang harganya cukup mahal. PAFC bekerja pada suhu 200°C, dan asam fosfat (H₃PO₄) sebagai elektrolitnya. PEMFC bekerja pada suhu dibawah 100°C, membran polimer sebagai elektrolitnya.

Berdasarkan material elektrolitnya terdapat beberapa jenis fuel cell, yaitu:

- A. Alkaline Fuel Cell (AFC)
- B. Phosphoric Acid Fuel Cell (PAFC)
- C. Molten Carbonate Fuel Cell (MCFC)
- D. Solid Oxide Fuel Cell (SOFC)
- E. Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC)
- F. Direct Methanol Fuel Cell (DMFC)

A. Alkaline Fuel Cell (AFC)

Alkali Fuel Cell (AFC) ini, menggunakan elektrolit larutan kalium hidroksida atau larutan alkali. Suhu pengoperasian antara 150°C-200°C dengan menggunakan bahan bakar hidrogen dan oksigen murni.

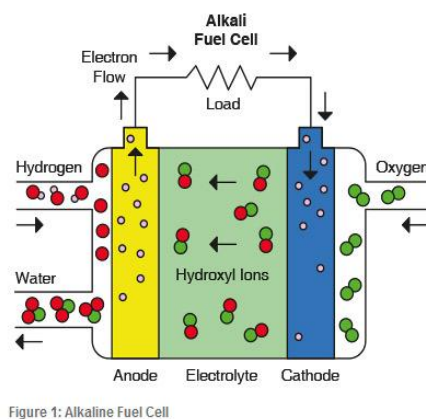
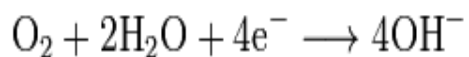
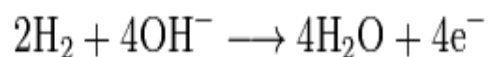


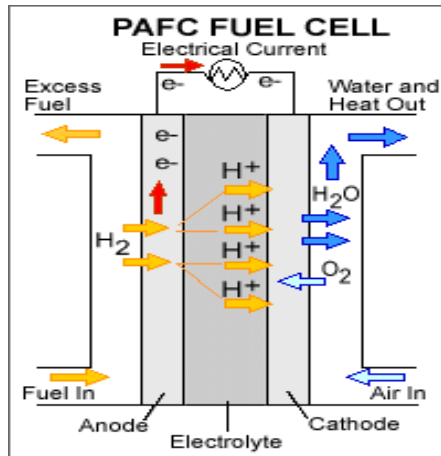
Figure 1: Alkaline Fuel Cell



Mekanisme kerjanya dimulai dari reaksi air. Oksigen di katoda menghasilkan ion hidroksil (OH⁻) yang melewati elektrolit menuju sisi anoda. Di anoda hidrogen akan bereaksi dengan ion hidroksil menghasilkan air dan membebaskan elektron. Elektron dari anoda keluar sebagai tenaga listrik kemudian kembali ke sisi katoda. Di sisi katoda elektron bereaksi dengan oksigen dan air menghasilkan ion hidroksil kembali. Sel bahan bakar alkali dapat mencapai efisiensi pembangkitan listrik sampai 70 persen. Namun, mereka sangat rentan terhadap pencemaran karbon, sehingga membutuhkan hidrogen murni dan oksigen murni.

B. Phosphoric Acid Fuel Cell (PAFC)

Pada sel bahan bakar asam fosfat (PAFC), asam fosfat digunakan sebagai elektrolit dan emas putih (Pt) sebagai anoda dan katoda. Bahan bakarnya menggunakan hidrogen dan oksigen. Suhu pengoperasiannya 120°C-200°C.

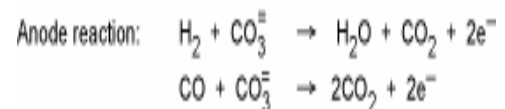
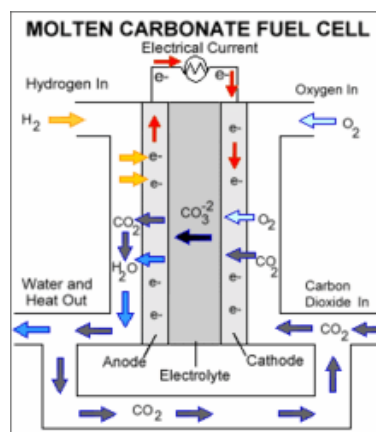


Prinsip kerjanya adalah: hidrogen pada sisi anoda dioksidasi menjadi proton dan elektron. Melalui elektrolit, proton berpindah dari anoda ke katoda. Elektron keluar dari sel melalui external circuit sebagai energi listrik dan kemudian kembali ke katoda. Di sisi katoda, elektron, proton, dan oksigen bereaksi menghasilkan air. Efisiensi PAFC ini rendah sekitar 40% - 50%, tetapi sudah mulai dikomersialkan untuk menghasilkan listrik 200 kW sampai dengan 11MW.

C. Molten Carbonate Fuel Cell (MCFC)

Molten Carbonate Fuel Cell (MCFC) menggunakan garam natrium karbonat sebagai elektrolit. Garam karbonat dipanaskan 650°C sehingga meleleh. Lelehan garam dapat menghantarkan ion karbonat melalui elektrolit dari katoda ke anoda. Di sisi anoda ion karbonat bereaksi dengan hidrogen menghasilkan air, karbondioksida, dan electron MCFC.

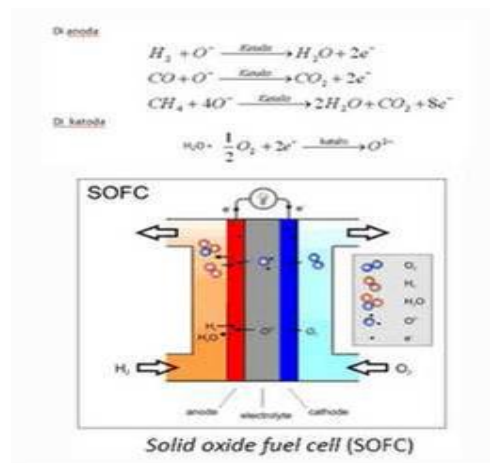
Electron ini sebagai tenaga listrik dan kembali ke katoda. Oksigen dari udara dan karbondioksida bereaksi dengan elektron membentuk ion karbonium yang dihantar oleh elektrolit menuju ke sisi anoda kembali. Reaksi berlangsung pada suhu 650°C. MCFC ini menggunakan katalis Nikel yang lebih murah dari pada platina. Pada suhu operasi 650°C batu bara lebih sesuai untuk bahan bakar sel. MCFC telah dibuat untuk memproduksi energi listrik sebesar 2 MW.



D. Solid Oxide Fuel Cell (SOFC)

Elektrolit SOFC menggunakan bahan keramik seperti kalsium oksida atau zirkonium oksida. Suhu operasi 700°C-1000°C. Pada suhu tinggi ion oksigen bermuatan negatif bergerak melalui kristal menuju anoda. Sementara itu, molekul hidrogen di anoda dioksidasi oleh ion oksigen menghasilkan ion hidrogen dan membebaskan elektron. Elektron keluar dari sistem melalui external circuit untuk listrik dan masuk ke sisi katoda.

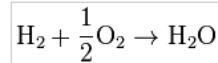
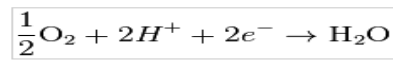
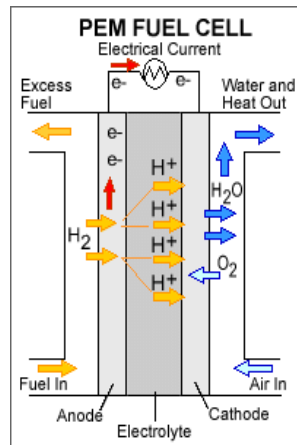
Kelemahan dari SOFC adalah bekerja pada suhu tinggi yang mengakibatkan waktu start up dan start down lama. Selain itu, suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan oksida padat pecah. Sedangkan keunggulannya adalah limbah panas dapat digunakan kembali sebagai pembangkit listrik.



E. Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC)

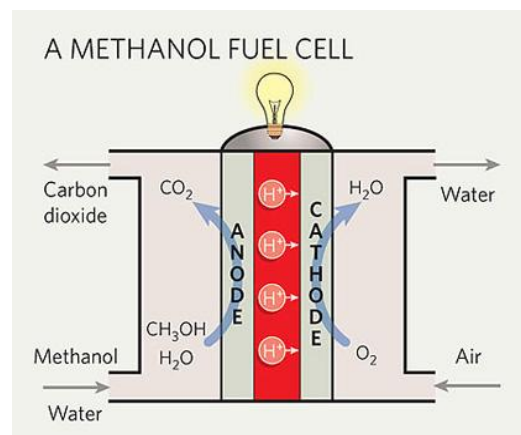
Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) adalah PEMFC yang berbahan bakar hidrogen. PEMFC menggunakan dua katoda sehingga reaksi di masing-masing elektroda adalah reaksi setengah sel, sedangkan bila reaksi terjadi antara anoda dan katoda dinamakan reaksi total sel. Elektrolit PEMFC adalah membran pertukaran proton, yaitu material yang berbentuk seperti plastik pembungkus yang hanya dapat mengalirkan ion bermuatan positif. Sedangkan elektron yang bermuatan negative tidak akan melalui membran ini. Katalis yang digunakan adalah lembaran kertas karbon yang diberi selapis tipis bubuk platina.

Pada satu unit sel bahan bakar terjadi reaksi di anoda dan katoda. Reaksi yang terjadi pada anoda adalah $2H_2 \rightarrow 4H^+ + 4e^-$. Sementara reaksi yang terjadi pada katoda adalah $O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$. Hasil samping reaksi ini adalah aliran elektron yang menghasilkan arus listrik serta energi panas dari reaksi.



F. Direct Methanol Fuel Cell (DMFC)

Direct Methanol Fuel Cell (DMFC) adalah sel bahan bakar yang menggunakan membran penukar proton sebagai penghubung antara reaksi di katoda dan anoda. Membran ini menggunakan metanol sebagai sumber energi. Maksud dari kat direct pada direct methanol fuel cell adalah sel bahan bakar ini langsung memanfaatkan metanol untuk menghasilkan energi. Komponen dasar DMFC adalah satu set elektroda (katoda dan anoda) yang dipisahkan oleh sebuah membran. Katoda disini juga berfungsi sebagai katalis. Katoda yang biasa digunakan adalah Platina (Pt).



| | Equation |
|------------------|--|
| Anode | $\text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 6\text{H}^+ + 6\text{e}^- + \text{CO}_2$ oxidation |
| Cathode | $\frac{3}{2}\text{O}_2 + 6\text{H}^+ + 6\text{e}^- \rightarrow 3\text{H}_2\text{O}$ reduction |
| Overall reaction | $\text{CH}_3\text{OH} + \frac{3}{2}\text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ redox reaction |

3.3 Kelebihan dan Kekurangan Sel Bahan Bakar

3.3.1 Kelebihan

1. Tidak Mengeluarkan Emisi Berbahaya (*Zero Emission*)

Sebuah sistem *fuel cell* hanya akan mengeluarkan uap air apabila memakai hidrogen murni. Tetapi ketika memakai hidrogen hasil dari *reforming*

hidrokarbon/fosil (misal: batu bara, gas alam, dll) maka harus dilakukan uji emisi untuk menentukan apakah sistem tersebut masih dapat dikategorikan *zero emission*. Menurut standar yang dikeluarkan *United Technologies Corporation* (UTC) pada tahun 2002, maka sebuah sistem *fuel cell* dapat dikategorikan *zero emission* ketika mengeluarkan emisi pencemar udara yang sangat rendah, dengan kriteria sbb: NO_x =< 1 ppm, SO₂ =< 1 ppm, CO₂ =< 2 ppm.

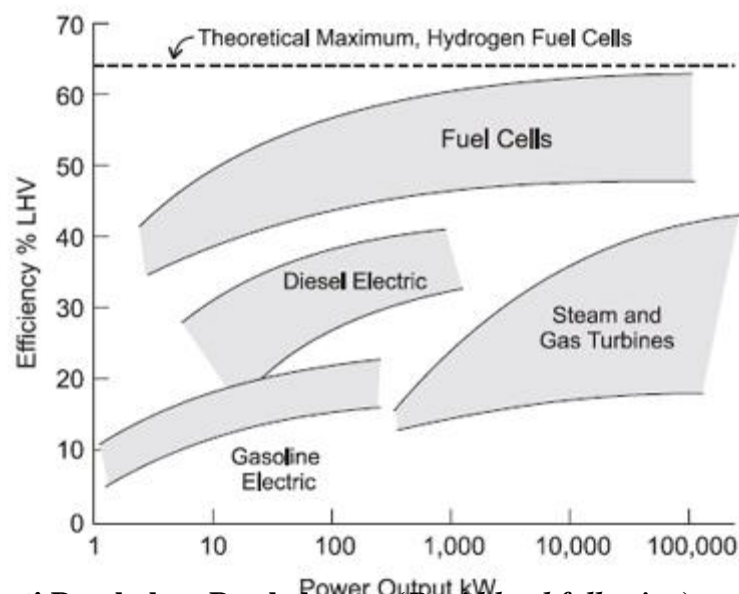
Tabel 1. Emisi Pencemar Udara dari Jenis-Jenis *Fuel Cell* (Bluestein, 2002)

| | PEM | PAFC | SOFC | MCFC |
|--------------------------|-------|-------|-------|------|
| NO _x (lb/MWh) | 0.06 | 0.03 | 0.01 | 0.05 |
| SO ₂ (lb/MWh) | TBD | 0.006 | 0.005 | TBD |
| PM-10 (lb/MWh) | TBD | 0 | 0 | TBD |
| CO ₂ (lb/MWh) | 1,360 | 1,078 | 950 | ~900 |

2. Efisiensi Tinggi (*High efficiency*)

Oleh sebab *fuel cell* tidak menggunakan proses pembakaran dalam konversi energi, maka efisiensinya tidak dibatasi oleh batas maksimum temperatur operasional (tidak dibatasi oleh efisiensi siklus Carnot). Hasilnya, efisiensi konversi energi pada *fuel cell* melalui reaksi elektrokimia lebih tinggi dibandingkan efisiensi konversi energi pada mesin kalor (konvensional) yang melalui reaksi pembakaran.

Gambar 1. Perbandingan Efisiensi *Fuel Cell* dengan Mesin Konvensional (micro-vett.it, 09/10/2006)



3. Cepat Mengikuti Perubahan Pembebanan (*Rapid load following*)

Fuel cell memperlihatkan karakteristik yang baik dalam mengikuti perubahan beban. Sistem *Fuel cell* yang menggunakan hidrogen murni dan digunakan pada sebagian besar peralatan mekanik (misal: motor listrik) memiliki kemampuan untuk merespon perubahan pembebanan dengan cepat.

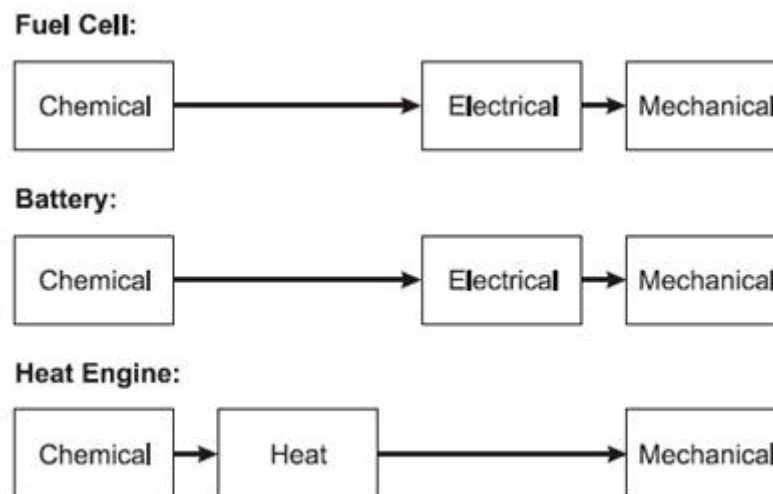
4. Temperatur Operasional Rendah

Sistem *fuel cell* sangat baik diaplikasikan pada industri otomotif yang beroperasi pada temperatur rendah. Keuntungannya adalah *fuel cell* hanya memerlukan sedikit waktu pemanasan (*warmup time*), resiko operasional pada temperatur tinggi dikurangi, dan efisiensi termodinamik dari reaksi elektrokimia lebih baik.

5. Reduksi Transformasi Energi

Ketika *fuel cell* digunakan untuk menghasilkan energi listrik maka *fuel cell* hanya membutuhkan sedikit transformasi energi, yaitu dari energi kimia menjadi energi listrik. Bandingkan dengan mesin kalor yang harus mengubah energi kimia menjadi energi panas kemudian menjadi energi mekanik yang akan memutar generator untuk menghasilkan energi listrik. *Fuel cell* yang diaplikasikan untuk menggerakkan motor listrik memiliki jumlah transformasi energi yang sama dengan mesin kalor, tetapi transformasi energi pada *fuel cell* memiliki efisiensi yang lebih tinggi.

Gambar 2. Transformasi Energi Untuk Keluaran Energi Mekanik (micro-vett.it, 09/10/2006)



6. Waktu Pengisian Hidrogen Singkat

Sistem *fuel cell* tidak perlu penyetruman (*recharge*) layaknya baterai. Tetapi sistem *fuel cell* harus diisi ulang dengan hidrogen, dimana prosesnya lebih cepat dibandingkan penyetruman baterai. Selain itu, baterai tidak dapat dipasang dalam

jumlah besar pada mesin otomotif untuk meningkatkan performance karena akan semakin menambah beban pada kendaraan tersebut.

3.3.2 Kekurangan

1. Hidrogen

Hidrogen sulit untuk diproduksi dan disimpan. Saat ini proses produksi hidrogen masih sangat mahal dan membutuhkan input energi yang besar (artinya: efisiensi produksi hidrogen masih rendah). Untuk mengatasi kesulitan ini, banyak negara menggunakan teknologi *reforming* hidrokarbon/fosil untuk memperoleh hidrogen. Tetapi cara ini hanya digunakan dalam masa transisi untuk menuju produksi hidrogen dari air yang efisien.

2. Sensitif pada Kontaminasi Zat-asing

Fuel cell membutuhkan hidrogen murni, bebas dari kontaminasi zat-asing. Zat-asing yang meliputi sulfur, campuran senyawa karbon, dll dapat menonaktifkan katalisator dalam *fuel cell* dan secara efektif akan menghancurkannya. Pada mesin kalor pembakaran dalam (*internal combustion engine*), masuknya zat-asing tersebut tidak menghalangi konversi energi melalui proses pembakaran.

3. Harga Katalisator Platinum Mahal

Fuel cell yang diaplikasikan pada industri otomotif memerlukan katalisator yang berupa Platinum untuk membantu reaksi pembangkitan listrik. Platinum adalah logam yang jarang ditemui dan sangat mahal. Berdasarkan survei geologis ahli USA, total cadangan logam platinum di dunia hanya sekitar 100 juta kg (Bruce Tonn and Das Sujit, 2001). Dan pada saat ini, diperkirakan teknologi *fuel cell* berkapasitas 50 kW memerlukan 100 gram platinum sebagai katalisator (DEO, 2000). Misalkan penerapan teknologi *fuel cell* berjalan baik (meliputi: penghematan pemakaian platinum pada *fuel cell*, pertumbuhan pasar *fuel cell* rendah, dan permintaan platinum rendah) maka sebelum tahun 2030 diperkirakan sudah tidak ada lagi logam platinum (Anna Monis Shipley and R. Neal Elliott, 2004). Untuk itulah diperlukan penelitian untuk menemukan jenis katalisator alternatif yang memiliki kemampuan mirip katalisator dari platinum.

4. Pembekuan

Selama beroperasi, sistem *fuel cell* menghasilkan panas yang dapat berguna untuk mencegah pembekuan pada temperatur normal lingkungan. Tetapi jika temperatur lingkungan terlampau sangat dingin (-10 s/d -20 C) maka air murni yang dihasilkan akan membeku di dalam *fuel cell* dan kondisi ini akan dapat merusak membran *fuel cell* (David Keenan, 10/01/2004). Untuk itu harus didesain sebuah sistem yang dapat menjaga *fuel cell* tetap berada dalam kondisi temperatur normal operasi.

Gambar-011 Tes Mobil Bermesin *Fuel Cell* pada Kondisi Bersalju



5. Teknologi Tinggi & Baru

Perlu dikembangkan beberapa material alternatif dan metode konstruksi yang baru sehingga dapat mereduksi biaya pembuatan sistem *fuel cell* (harga komersial saat ini untuk pembangkit listrik dengan *fuel cell* ~\$4000/kW) (Javit Drake, 29/03/2005).

Tabel-007 Biaya Investasi, Operasional, Pemeliharaan Jenis Jenis *Fuel Cell* (Anna Monis Shipley and R. Neal Elliott, 2004)

| | PEM | PAFC | SOFC | MCFC |
|--------------------------|-------|-------|-------|------|
| NO _x (lb/MWh) | 0.06 | 0.03 | 0.01 | 0.05 |
| SO ₂ (lb/MWh) | TBD | 0.006 | 0.005 | TBD |
| PM-10 (lb/MWh) | TBD | 0 | 0 | TBD |
| CO ₂ (lb/MWh) | 1,360 | 1,078 | 950 | ~900 |

6. Ketiadaan Infrastruktur

Infrastruktur produksi hidrogen yang efektif belum tersedia. Tersedianya teknologi manufaktur dan produksi massal yang handal merupakan kunci penting usaha komersialisasi sistem *fuel cell*.

BAB 4

ENERGI PANAS BUMI

4.1 PENGERTIAN GEOTHERMAL

Geothermal adalah salah satu sumber energi alami bumi yang terdapat di dalam perut bumi. Berasal dari interaksi panas batuan dan air yang mengalir di sekitarnya. Panas yang terkandung di aliran air tersebut mengandung energi yang dapat dimanfaatkan. Energi Geo (Bumi) thermal (panas) berarti memanfaatkan panas dari dalam bumi. Inti planet kita sangat panas- estimasi saat ini adalah 500°C (9,932° F) jadi tidak mengherankan jika tiga meter teratas permukaan bumi tetap konstan mendekati 10°C-16°C (50°F-60°F) setiap tahun. Berkat berbagai macam proses geologi, pada beberapa tempat temperatur yang lebih tinggi dapat ditemukan beberapa macam energy Geothermal, yaitu:

4.2 GEOTHERMAL SEBAGAI PENGANTI ENERGI TERBARUKAN

- a. Geothermal termasuk sumber energy yang terbarukan (*renewable*) sebab panas tersebut berasal dari batuan panas di perut bumi yang akan selalu ada selama bumi juga ada.
- b. Energi geothermal juga sangat ramah lingkungan sebab nihil polutan.

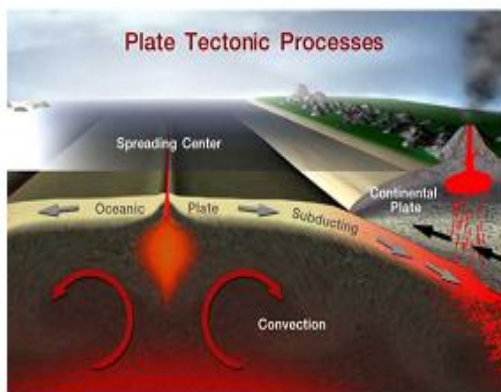
4.3 POTENSI PANAS BUMI DI INDONESIA

- a. PLTP Kamojang di dekat Garut, memiliki unit 1, 2, 3 dengan kapasitas total 140MW. Potensi yang masih dapat dikembangkan sekitar 60MW.
- b. PLTP Darajat, 60Km sebelah tenggara Bandung dengan kapasitas 55MW.
- c. PLTP Gunung Salak di Sukabumi, terdiri dari unit 1, 2, 3, 4, 5, 6 dengan kapasitas total 330MW.
- d. PLTP Wayang Windu di Panggalengan dengan kapasitas 110MW.

4.4 PROSES TERJADINYA ENERGI PANAS BUMI DI INDONESIA

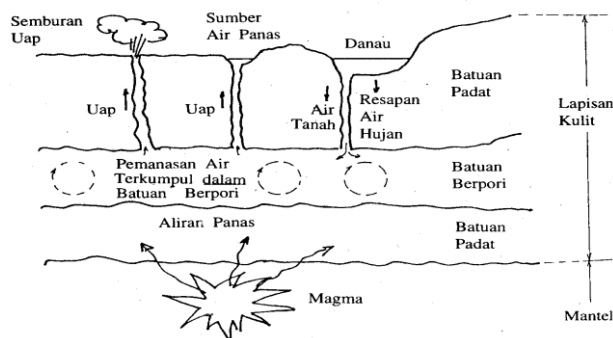
Terjadinya sumber energi panas bumi di Indonesia serta karakteristiknya dijelaskan Budihardi (1998), yaitu ada tiga lempengan yang berinteraksi di Indonesia yaitu:

- Lempeng Pasifik
- Lempeng India-Australia
- Lempeng Eurasia



Tumbukan antarlempeng India-Australia di selatan dan lempeng Eurasia di utara menghasilkan zona penunjaman di kedalaman 160 – 210km di bawah Pulau Jawa–Nusatenggara dan 100km di bawah Pulau Sumatera.

4.5 SKEMA TERJADINYA SUMBER AIR PANAS DAN SUMBER UAP

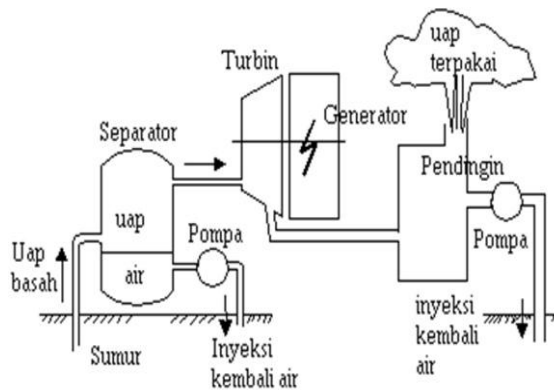


Gambar di atas menunjukkan skema terjadinya sumber air panas dan sumber uap.

4.6 ENERGI PANAS YANG ADA DI INDONESIA

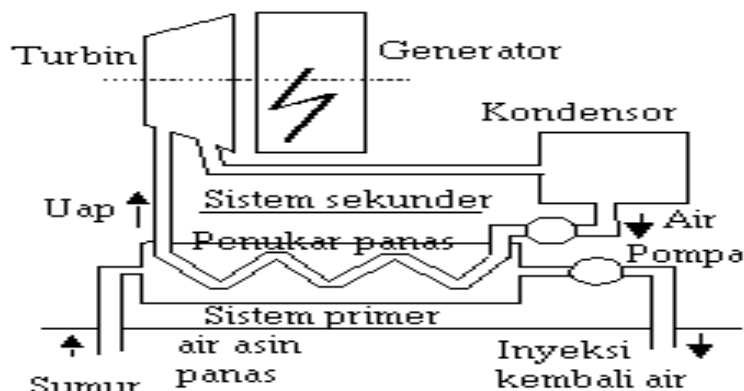
- Energi Panas Bumi “Uap Basah”

Pemanfaatan energy panas bumi yang ideal adalah bila panas bumi yang keluar dari perut bumi berupa uap kering, sehingga dapat digunakan langsung untuk menggerakkan turbin generator listrik. Namun uap kering yang demikian ini jarang ditemukan termasuk di Indonesia dan pada umumnya uap yang keluar berupa uap basah yang mengandung sejumlah air yang harus dipisahkan terlebih dulu sebelum digunakan untuk menggerakkan turbin.



b. Energi panas Bumi “Air Basah”

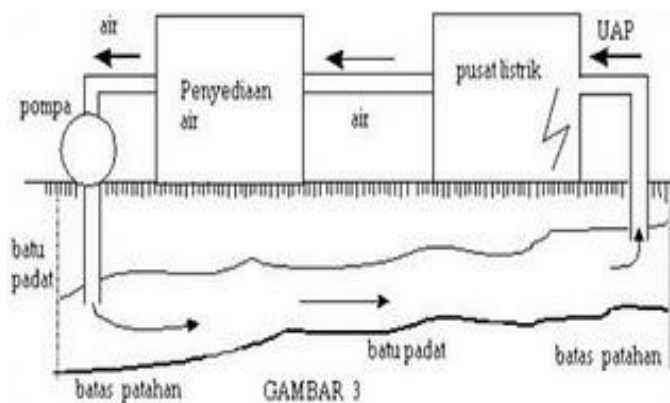
Uap basah yang keluar dari perut bumi berupa air panas bertekanan tinggi. Untuk memanfaatkan jenis uap basah ini diperlukan separator untuk memisahkan antara uap dan air. Uap yang dipisahkan diteruskan ke turbin untuk menggerakkan generator listrik dan airnya disuntikkan ke dalam bumi. Air panas dari perut bumi umumnya berupa air asin panas “brine” dan mengandung banyak mineral. Hal ini dapat menimbulkan penyumbatan pada pipa – pipa system pembangkit tenaga listrik. Sehingga dibutuhkan system biner (dua system utama yaitu wadah air panas sebagai system primernya dan system sekundernya berupa alat penukar panas yang akan menghasilkan uap untuk menggerakkan turbin).



GAMBAR 2

c. Energi panas Bumi “Batuan Panas”

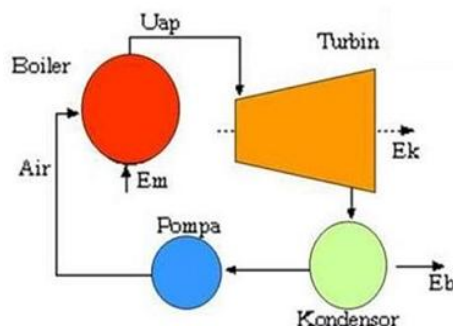
Energi jenis ini berupa batuan panas dalam perut bumi akibat berkontakd engan sumber panas bumi (magma). Energi ini harus diambil sendiri dengan cara menyuntikkan air ke dalam batuan panas dan dibiarkan menjadi uap panas, kemudian diusahakan dapat diambil sebagai uap panas untuk menggerakkan turbin. Karena letak sumber batuan panas jauh di dalam perut bumi diperlukan teknik pengeboran khusus untuk pemanfaatannya.



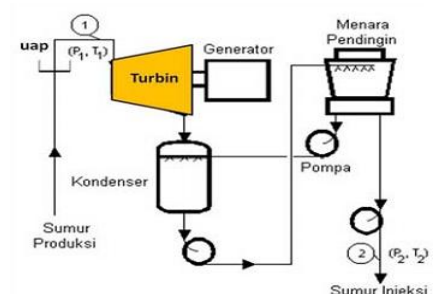
4.7 PEMBANGKIT LISTRIK TENGA PANAS BUMI (PLTP)

Pada prinsipnya sama seperti PLTU, hanya pada PLTU uap dibuat di permukaan menggunakan boiler, sedangkan pada PLTP uap berasal dari reservoir panas bumi. Jika fluida di kepala sumur berupa fasa uap, maka uap tersebut dapat langsung dialirkan keturbin dan turbin akan mengubah energy panas bumi menjadi energy gerak yang akan memutar generator sehingga dihasilkan energy listrik.

PLTU

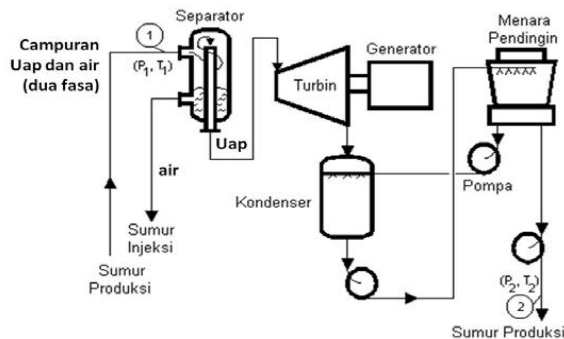


PLTP



Apabila fluida panas bumi keluar dari kepala sumur sebagai campuran fluida dua fasa (fasa uap dan fasa cair) maka terlebih dahulu dilakukan proses pemisahan pada fluida.

Hal ini dimungkinkan dengan melewati fluida kedalam separator, sehingga fasa uap akan terpisahkan dari fasa cairnya. Fraksi uap yang dihasilkan dari separator inilah yang kemudian dialirkan ke turbin.

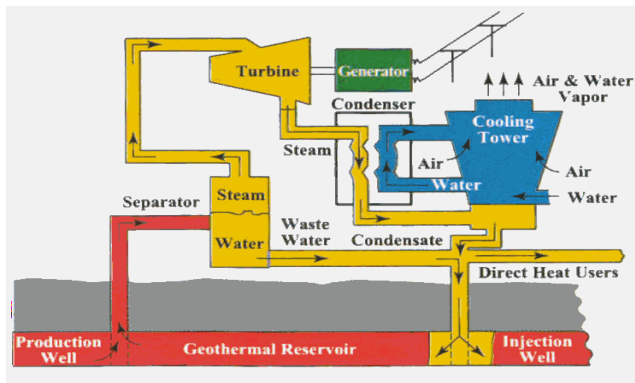


4.7.1 SISTEM PEMBANGKITAN

- ✚ Uap dari sumur produksi mula-mula dialirkan ke steam receiving header (berfungsi menampung uap panas bumi). Pada steam receiving terdapat Vent structure (katup pelepas uap) yang berfungsi menjaga tekanan pasokan uap ke pembangkit bila terjadi perubahan pasokan dari sumur uap atau pembebanan dari pembangkit.
- ✚ Karena uap panas bumi dari sumur uap tidak murni uap maka uap kemudian disalurkan ke separator yang berfungsi memisahkan partikel padat yang terbawa bersama uap.
- ✚ Dari separator, masuk ke deminister (berfungsi memisahkan butiran air dari uap panas bumi, untuk menghindari terjadinya vibrasi, erosi, dan pembentukan kerak pada sudu dan nozzle turbine).
- ✚ Uap yang sudah bersih dialirkan menuju turbine melalui main steam valve.
- ✚ Uap akan menggerakkan turbin dan memutar generator dengan kecepatan 3000 rpm. keluaran generator berupa energy listrik dengan arus 3 phasa, frekuensi 50 Hz, dan tegangan 11,8 kV.
- ✚ Agar bias dipararelkan dengan system distribusi Jawa-Bali, tegangan listrik dinaikan hingga 150 kV melalui step-up transformer.
- ✚ Uap bekas memutar turbin dikondensasikan di dalam kondenser. Proses kondensasi terjadi akibat penyerapan panas oleh air pendingin yang diinjeksikan lewat spray-nozzle. Level air kondensat dijaga dalam kondisi normal

oleh cooling water pump, lalu didinginkan di cooling tower sebelum disirkulasi kembali.

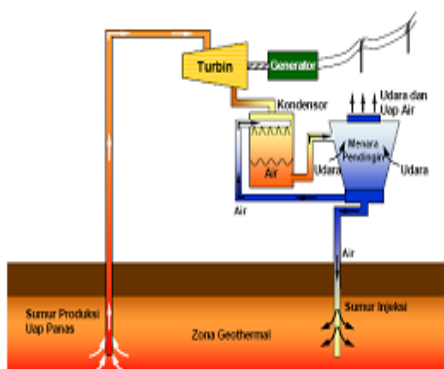
- ✚ Kelebihan air kondensat akan diinjeksikan kembali (reinjeksi) ke dalam reservoir melalui injection well. Reinjeksi dilakukan untuk mengurangi pengaruh pencemaran lingkungan, mengurangi ground subsidence, menjaga tekanan, serta recharge water bagi reservoir



4.7.2 MACAM TEKNOLOGI PEMBANGKITAN

a. Dry Steam (Uap Kering)

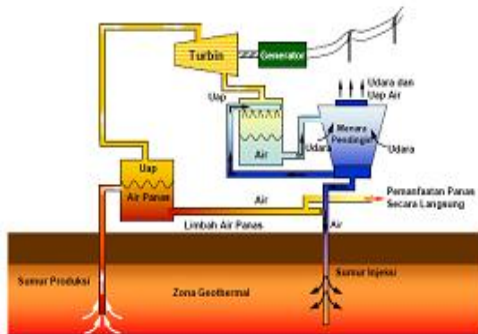
- Bekerja pada suhu uap reservoir $>235^{\circ}\text{C}$
- Cocok untuk PLTP kapasitas kecil dan kandungan gas yang tinggi. Contoh : PLTP Kamojang 1x250KM ; PLTP Dieng 1x2000K.
- Jika uap kering yang tersedia lebih besar dapat digunakan PLTP jenis condensing dengan menara pendingin dan pompa. Contoh : PLTP Kamojang 1x30MW dan 2x55MW ; PLTP Drajat 1x55MW



b. Flash Steam

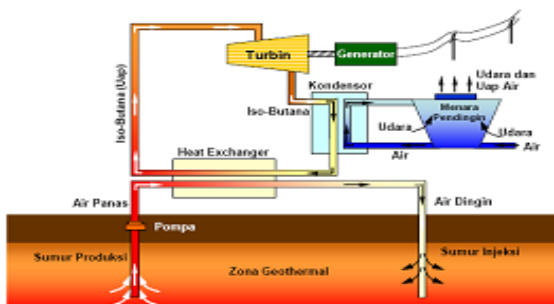
Bekerja pada suhu $>182^{\circ}\text{C}$

PLTP yang menggunakan system ini adalah PLTP Salak dengan 2x55MW



c. Binary Cycle

Bekerja dengan suhu uap antara 107-182°C. Tidak mengeluarkan emisi, dapat dimanfaatkan pada sumber panas bumi bersuhu rendah.



4.7.3 PERALATAN-PERALATAN PENTING DI PLTP

a. Well Pad (Sumur Produksi)

- Steam Receiving Header (tabung untuk pengumpul uap sementara)
- Vent Structure (pelepas uap dengan peredam suara)
- Separator (pemisah zat padat yang menyertai uap)
- Demister (mengeliminasi butir air yang menyertai uap)
- Turbin (penghasil gerak mekanik yang akan diubah ke energy listrik)
- Generator (mengubah energy mekanik putaran poros ke energy listrik)
- Trafo utama (step up trafo)
- Switch yard (pemutus dan penghubung aliran listrik)
- Kondensor (mengkondensasikan uap bekas dari turbin dengan kondisi tekanan hampa)

- Main cooling water pump (memompakan air dari kondensator ke cooling tower untuk didinginkan)
- Cooling Tower

4.7.4 PROSES SINKRON GENERATOR PADA PLTP

Sinkronisasi adalah suatu cara untuk menghubungkan dua sumber atau beban AC. Tujuannya, untuk contoh di PT.Geo Dipa Energi Unit I Dieng adalah untuk menghubungkan bus 15KV keluaran generator pada pembangkit dengan bus pada jaringan 150KV milik PLN saat pembangkit mulai start up.

Syarat – Syarat Sinkron Pada Pembangkit adalah sebagai berikut:

- a. Mempunyai tegangan kerja yang sama
- b. Mempunyai frekuensi kerja yang sama
- c. Mempunyai urutan fasa yang sama
- d. Mempunyai sudut fasa yang sama

4.7.5 PROSEDUR SINKRONISASI

a. Manual Synchron

Karena membutuhkan ketelitian dan kejelian dari operator untuk menyamakan tegangan dan frekuensi output generator dengan tegangan dan frekuensi output pada bus.

b. Auto Synchron

Merupakan cara paling praktis dalam proses sinkron pada pembangkit karena hanya membutuhkan alat Automatic Synchronizer yang berfungsi menyamakan tegangan dan frekuensi keluaran generator dengan tegangan dan frekuensi keluaran bus PLN agar dapat tersambung.

4.8 KELEBIHAN DAN KELEMAHAN ENERGI PANAS BUMI

a. Kelebihan

- Biaya operasi Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) lebih rendah dibandingkan dengan biaya operasi pembangkit listrik yang lain.
- Ramah lingkungan, energi yang clean.

- Mampu memproduksi secara terus menerus selama 24 jam, sehingga tidak membutuhkan tempat penyimpanan energi (energy storage).
- Tingkat ketersediaan (availability) yang sangat tinggi yaitu di atas 95%.
- Bebas emisi(binary-cycle).
- Tidak memerlukan bahan bakar.
- Harga yang competitive

b. Kelemahan

- Tidak bias diekspor(unexportable resources).
- Cairan bersifat korosif.
- Effisiensi agak rendah, namun karena tidak perlu bahan bakar, sehingga effisiensi tidak merupakan faktor yang sangat penting.
- Untuk teknologi dry steam dan flash masih menghasilkan emisi walau sangat kecil.

BAB 6

ENERGI GELOMBANG LAUT

6.1 Pengertian PLTGL (Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut)

Pembangkit listrik tenaga gelombang laut ialah salah satu jenis pembangkit listrik dengan memanfaatkan gelombang laut.

Tiga Tipe Energi

Secara umum, potensial energi gelombang laut dapat menghasilkan listrik dapat dibagi menjadi 3 tipe potensial energi yaitu energi pasang surut (tidal power), energi gelombang laut (wave energy), dan energi panas laut (ocean thermal energy).

- Energi pasang surut merupakan energi yang dihasilkan dari pergerakan air laut akibat perbedaan pasang surut.
- Energi gelombang laut adalah energi yang dihasilkan dari pergerakan gelombang laut menuju daratan dan sebaliknya.
- Energi panas laut adalah energi yang memanfaatkan perbedaan temperatur air laut di permukaan dan di kedalaman.

6.2 Prinsip Kerja PLTGL

Pada dasarnya prinsip kerja teknologi yang mengkonversi energi gelombang laut menjadi energi listrik adalah mengakumulasi energi gelombang laut untuk memutar turbin generator. Karena itu, sangat penting memilih lokasi yang secara topografi memungkinkan akumulasi energi. Meskipun penelitian untuk mendapatkan teknologi yang optimal dalam mengonversi energi gelombang laut masih terus dilakukan.

6.3 Macam-macam teknologi yang digunakan pada PLTGL

6.3.1 Teknologi Tapered Channel (Tapchan)

Prinsip teknologi ini cukup sederhana, gelombang laut yang datang disalurkan memasuki sebuah saluran runcing yang berujung pada sebuah bak penampung yang diletakkan pada sebuah ketinggian tertentu. Air laut yang berada dalam bak penampung dikembalikan ke laut melalui saluran yang terhubung dengan turbin generator penghasil energi listrik. Adanya bak penampung memungkinkan aliran air penggerak turbin dapat beroperasi terus menerus dengan kondisi gelombang laut yang berubah-ubah. Teknologi ini tetap memerlukan bantuan mekanisme pasang surut dan pilihan topografi garis pantai yang tepat. Teknologi ini telah dikembangkan sejak 1985.

6.3.2 Teknik osilasi kolom air (*oscillating water column*)

Proses pembangkitan tenaga listrik dengan teknologi ini melalui 2 tahapan proses. Gelombang laut yang datang menekan udara pada kolom air yang diteruskan ke kolom atau ruang tertutup yang terhubung dengan turbin generator. Tekanan tersebut menggerakkan turbin generator pembangkit listrik. Sebaliknya, gelombang laut yang meninggalkan kolom air diikuti oleh gerakan udara dalam ruang tertutup yang menggerakkan turbin generator pembangkit listrik.

6.3.3 *Wave dragon*

Prinsip kerjanya mirip dengan *tapered channel*. Perbedaannya pada *wave dragon*, saluran air dan turbin generator diletakkan di tengah bak penampung sehingga memungkinkan pembangkit dipasang tidak di pantai. Pembangkit-pembangkit tersebut kemudian dihubungkan dengan jaringan transmisi bawah laut ke konsumen. Hal ini menyebabkan biaya instansi dan perawatan pembangkit ini mahal. Meskipun demikian pembangkit ini tidak menyebabkan polusi dan tidak memerlukan biaya bahan bakar karena sumber penggeraknya energi alam yang bersifat terbarukan.

BAB 7

ENERGI SEL SURYA

Matahari merupakan sumber energi yang luar biasa yang setiap hari, di setiap negara di dunia, terbit di timur dan terbenam di barat. Kita menggunakan matahari untuk mendefinisikan hari; matahari diperlukan oleh tumbuhan dan tanaman pangan untuk tumbuh; matahari memberikan cahaya untuk dimanfaatkan; matahari mempengaruhi cuaca dan berfungsi mendatangkan angin. Singkat kata, tanpa matahari, kehidupan di dunia tidak mungkin terjadi. Di samping fakta fakta yang penting ini, matahari atau surya juga memberikan energi/tenaga.



7.1 Pengertian Sel Surya

Tenaga surya senantiasa mencapai Bumi, 24 jam sehari, tujuh hari seminggu. Cahaya matahari mengandung tenaga yang sedemikian banyaknya, sehingga bahkan sebagian cahaya matahari yang jatuh di gurun Sahara akan cukup memenuhi kebutuhan energi untuk semua kebutuhan energi umat manusia. Pada saat matahari tengah hari, tenaga surya mencapai permukaan bumi dengan nilai energi puncak sebesar satu kilowatt (1 kW) per meter persegi per jam. Jadi, jika semua energi ini bisa ditampung, maka akan bias menyediakan semua kebutuhan tenaga listrik di setiap negara yang ada di bumi ini. Pendek kata, tenaga surya adalah energi yang berasal dari matahari.

7.2 Prinsip Kerja Tenaga Surya

Energi surya dapat dikonversi secara langsung menjadi bentuk energi lain dengan tiga proses terpisah-proses heliochemical, proses helioelectrical, dan proses heliothermal. Reaksi heliochemical yang utama adalah proses fotosintesis. Proses ini adalah sumber dari semua bahan bakar fosil. Proses helioelectrical yang utama adalah produksi listrik oleh sel-sel surya. Proses heliothermal adalah penyerapan (absorpsi) radiasi matahari dan pengkonversian energi ini menjadi energi termal.

Jumlah radiasi matahari pada suatu permukaan disebut sebagai isolasi surya. Isolasi surya total pada suatu permukaan tertentu terdiri dari sebuah komponen langsung [sinar (beam)] dan sebuah komponen difusi [tersebar (scattered)] begitu juga pancaran radiasi dengan panjang gelombang yang pendek dari permukaan lain yang sama-sama berada di bumi. Isolasi langsung pada sebuah permukaan yang tegak lurus terhadap sinar matahari tergantung pada waktu dari tahun, waktu dari hari, dan garis lintang permukaan itu begitu juga kondisi atmosfer.

7.3 Perhitungan Energi Surya

Waktu matahari. Bumi bergerak mengelilingi matahari dalam suatu orbit yang berbentuk elips yakni hampir berupa lingkaran. Pada titik yang terdekat di tanggal 21 Desember, bumi berjarak sekitar $1,45 \times 10^{11}$ m (89,83 juta mi) dari matahari, sementara pada titik terjauh, ditanggal 22 Juni, bumi berjarak sekitar $1,54 \times 10^{11}$ m (95,9 juta mi) dari matahari. Waktu matahari rata-rata ialah waktu matahari setempat jika bumi bergerak mengelilingi matahari dengan kecepatan konstan. Orbit yang bergerak elips itu menunjukkan bahwa bumi tidak bergerak dengan kecepatan konstan dan bahwa pada berbagai waktu matahari timbul lebih cepat atau lebih lambat daripada waktu matahari rata-rata. Perbedaan antara waktu matahari sebenarnya, yang disebut dengan waktu matahari nyata (apparent solar time, disingkat AST), dengan waktu matahari rata-rata disebut “persamaan waktu”.

Persamaan waktu bukanlah sebuah persamaan melainkan hanyalah sebuah faktor koreksi yang tergantung dari waktu tahun. Harga koreksi ini berkisar dari + 16,3 menit di bulan Nopember hingga – 14,4 menit di bulan Pebruari. Harga bulanan dari persamaan waktu diberikan pada tabel 1.

Waktu matahari rata-rata dapat dihitung secara langsung dari garis bujur setempat. Oleh karena bumi berevolusi 360° dalam 24 jam, satu derajat dari rotasi bumi sama dengan $[24(60)/360]$ atau 4 menit. Ada sebuah garis bujur imajiner yang membujur melalui kira-kira pusat dari tiap-tiap zona waktu. Pada garis bujur ini, waktu matahari rata-rata dan waktu standar setempat adalah identik. Ke barat atau ke timur meridian standar ini, waktu matahari rata-rata secara berturut-turut adalah lebih lambat dan lebih cepat (4 menit per derajat rotasi) dari waktu standar setempat :

$$\text{Waktu matahari rata-rata} = \text{waktu standar setempat} \pm [\text{derajat timur (+) atau Barat (-) dari median standar}] (4 \text{ menit}) \quad (2.1)$$

Oleh karena itu banyak zona waktu beroperasi pada waktu “daylight –saving” di waktu musim panas (summer),

$$\text{Waktu matahari rata-rata} = \text{MST} = (\text{waktu siang local} - 1:00) \pm [\text{derajat timur (+)}$$

Atau

$$\text{barat(-) dari median standar}] (4 \text{ menit}) \quad (2.2)$$

Meridian standar terhadap zona waktu di Amerika Serikat bertempat di garis bujur 75° (EST), pada garis bujur 90° (CST), pada garis bujur 105° (MST), dan pada garis bujur 120° (PST).

Sekali waktu matahari rata-rata dapat dihitung, waktu matahari nyata (AST) dapat pula dihitung cukup dengan cara menambahkan persamaan waktu ke waktu matahari rata-rata (MST):

$$\text{Waktu surya nyata} = \text{AST} = \text{waktu matahari rata-rata} + \text{persamaan waktu} \quad (2.3)$$

Waktu surya nyata dipakai untuk mengevaluasi beberapa sudut surya yang digunakan pada perhitungan energi surya.

7.4 Sudut surya

Sumbu rotasi (sumbu polar) adalah selalu miring (inclined) sebesar $23,45^\circ$ dari garis tegak lurus terhadap bidang ekliptik. Bidang ekliptik ialah bidang perjalanan bumi ketika ia melintasi matahari. Sumbu rotasi bumi pada dasarnya adalah bersifat unidireksional (searah) terhadap sebuah bintang tetap dan inklinasi dari sumbu polar menyebabkan bumi mengelilingi matahari. Fenomena ini menimbulkan variasi musim dan menimbulkan pula sudut surya yang penting yang diberi nama sudut deklinasi δ .

Sudut deklinasi didefinisikan sebagai suatu sudut antara sinar matahari dan garis tegak lurus terhadap sumbu polar dalam bidang sinar matahari. Untuk garis lintang utara, δ berkisar dari 0° pada ekuinoks (waktu siang dan malam sama panjangnya) musim semi, ke $+23,45^\circ$ pada waktu titik balik matahari (solstice) musim panas (22 Juni), ke 0° pada waktu ekuinoks musim gugur (23 September), ke $-23,45^\circ$ titik balik matahari (solstice) musim dingin (22 Desember). Harga bulanan sudut deklinasi ini ditunjukkan pada Tabel 2..

Ada beberapa sudut penting lainnya dalam perhitungan energi surya. Pada suatu lokasi tertentu dengan garis lintang L , posisi matahari dapat didefinisikan dalam bentuk sudut tinggi (altitude angle) β_1 dan sudut azimuth α_1 . Sudut tinggi β_1 adalah sudut antara sinar matahari dengan garis horizontal terhadap bumi. Sudut azimuth α_1 ialah sudut antara proyeksi horizontal sinar matahari dengan garis batas selatan yang ditarik dengan arah searah dengan jarum jam. Sudut-sudut ini dapat dihitung dengan menggunakan sudut garis lintang L , sudut deklinasi δ , dan sudut jam H , sebagai berikut :

$$\sin \beta_1 = \cos L \cos \delta \cos H + \sin L \sin \delta$$

$$\sin \alpha_1 = \frac{\cos \delta \sin H}{\cos \beta_1}$$

Sudut jam H , seperti sudut azimuth sinar matahari, adalah positif bila lewat tengah hari dan negatif bila sebelum tengah hari. Ia dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$H = 0,25 [\text{jumlah menit sebelum (-) atau setelah (+) lewat tengah hari}] \quad (2.4)$$

Harga α_1 dan β_1 ditabulasi dalam Lampiran K sekaligus dengan harga isolasi surya langsung pada lintang yang berbeda.

Untuk menghitung sudut antara sinar matahari dengan garis tegak lurus permukaan θ , orientasi permukaan itu harus ditetapkan. Sudut azimut dari permukaan α_2 adalah sudut antara proyeksi horizontal dari garis normal ke permukaan dan garis batas selatan yang diukur dalam arah jarum jam. Sudut kemiringan (tilit) β_2 dari permukaan ialah sudut antara permukaan dengan horizontal.

Sekali α_1 , α_2 , β_1 , β_2 dapat dihitung, sudut θ dapat pula ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\cos \theta = \sin \beta_1 \cos \beta_2 + \cos \beta_1 \sin \beta_2 \cos (\alpha_1 - \alpha_2) \quad (2.5)$$

Untuk permukaan horizontal, $\beta_2 = 0$ $\sin \beta_2$ adalah nol, $\cos \beta_2$ adalah satu, dan Persamaan (5) disingkat menjadi ($\cos \theta = \sin \beta_1$) atau ($\theta = 90^\circ - \beta_1$). Untuk permukaan tegak lurus, $\beta_2 = 90^\circ$, $\sin \beta_2$ adalah nol. Persamaan (5) disingkat menjadi [$\cos \theta = \cos \beta_1 \cos (\alpha_1 - \alpha_2)$]. Jika $\cos (\alpha_1 - \alpha_2)$ negatif, berarti bahwa matahari tidak bersinar langsung pada dinding tegak lurus.

Nilai isolasi surya. Jumlah radiasi surya langsung atau isolasi yang jatuh pada suatu permukaan tertentu adalah sama dengan perkalian antara radiasi langsung itu atau isolasi yang jatuh ke permukaan yang tegak lurus langsung terhadap sinar matahari, I_{DN} , dan $\cos \theta$. Nilai isolasi tegak lurus langsung adalah fungsi dari ketebalan atmosfer yang dilewati oleh radiasi begitu juga jumlah uap air di udara serta jumlah polusi atmosfer yang terjadi. Panjang lintasan atmosfer biasanya dinyatakan dalam bentuk massa udara m , surya langsung pada suatu lokasi tertentu terhadap yang terjadi bila matahari tepat di atas kepala ($\beta_1 = 90^\circ$) pada permukaan laut. Diluar atmosfer bumi, $m = 0$ dan pada lokasi lain, untuk semua tujuan praktis, $m = 1/\sin \beta_1$.

Telah banyak penyelidikan yang dilakukan orang tentang efek transmitansi atmosfer, khususnya tentang efek kebasahan, ozon, dan partikel debu. Intensitas iradiasi normal langsung I_{DN} , dalam W/m^2 , pada permukaan bumi pada suatu hari yang jernih (clear day) dapat ditaksir dari persamaan berikut :

$$I_{DN} = A e^{-(B/\sin \beta_1)} \quad (2.6)$$

Dimana A adalah isolasi ekstraterestrial nyata (pada $m = 0$) dan B adalah koefisien kepunahan atmosfer. Harga B tergantung pada waktu dari tahun dan jumlah uap air yang terdapat di atmosfer.

Harga kebasahan atmosfer setempat dan ketinggian (elevasi) setempat bisa saja berbeda secara nyata dengan atmosfer rata-rata pada permukaan laut (sea-level). Rasio antara harga isolasi langsung pada hari yang jernih aktual pada suatu lokasi tertentu dengan harga bagi atmosfer standar pada lokasi yang sama dan garis yang sama disebut angka kejernihan (clearness number).

Arus energi surya total I_{T0} pada permukaan bumi dari setiap orientasi dan kemiringan dengan sudut insiden θ adalah sama dengan jumlah komponen surya langsung $I_{DN} \cos \theta$, komponen difusi iradiasi surya I_{DS} yang datang dari langit, dan radiasi gelombang pendek yang direfleksikan dari permukaan-permukaan yang mengelilingi di Bumi I_R :

$$I_{T0} = I_{DN} \cos \theta + I_{DS} + I_R \quad (2.7)$$

Komponen refleksi I_R tergantung pada karakteristik refleksi dan geometri permukaan yang mengelilingi. Jumlah radiasi yang direfleksikan dapat dihitung dengan menggunakan metoda radiasi konvensional. Kecuali untuk pemakaian-pemakaian khusus, I_R biasanya bukanlah komponen utama dalam kebanyakan perhitungan-perhitungan energi surya.

Komponen difusi surya I_{DS} adalah sukar untuk dihitung karena sifat tak langsung dari komponen tersebut, tetapi untuk permukaan-permukaan yang terbuka ke radiasi surya langsung ia merupakan fungsi dari komponen surya langsung. Isolasi surya difusi dapat ditaksir dengan persamaan berikut :

$$I_{DS} = C I_{DN} F_{ss} \quad (2.8)$$

Dimana C adalah angka perbandingan antara difusi dengan radiasi surya langsung yang jatuh pada permukaan horizontal dan F_{ss} adalah faktor sudut antara permukaan dan langit. Harga C ditabelkan bersama-sama dengan A dan B pada Tabel 2.4, dan F_{ss} dapat diperkirakan dengan persamaan :

$$F_{ss} = \frac{1 + \cos \beta}{2} \quad (2.9)$$

Isolasi normal, langsung I_{DN} dapat diperkirakan dari Persamaan (2.9) atau dari tabel surya yang diberikan pada Lampiran K, sebagai fungsi dari garis lintang, waktu dari tahun dan waktu dari surya nyata.

Jumlah energi surya yang diserap oleh suatu permukaan tertentu adalah sama dengan hasil kali radiasi surya insidental I_{T0} dan absorpsivitas atau emisivitas permukaan terhadap radiasi surya E_{SU} . Emisivitas suatu permukaan dapat saja sangat berbeda terhadap radiasi surya dan radiasi termal biasa oleh karena sifat panjang gelombang yang pendek dari energi surya tersebut. Emisivitas surya beberapa permukaan yang umum diberikan pada tabel 2. Sebuah contoh tentang perbedaan antara emisivitas surya dan emisivitas biasa tersebut adalah pada cat putih dinding. Untuk radiasi normal, emisivitasnya berkisar antara 0,95 hingga 0,99 sementara harga untuk radiasi surya berkisar antara 0,12 hingga 0,25.

7.5 Tabel Absorpsivitas dari berbagai permukaan terhadap radiasi termal.

| Bahan – Bahan | Radiasi Biasa | Radiasi surya |
|---|---------------|---------------|
| Bahan bangunan | | |
| Batubata, merah, ubin, beton | 0,85 – 0,95 | 0,65 – 0,77 |
| Batubata, kuning dnag mengkilap | 0,85 – 0,95 | 0,50 – 0,70 |
| Plaster | 0,90 – 0,95 | 0,50 – 0,70 |
| Jalan aspal | 0,90 – 0,95 | 0,82 – 0,88 |
| Bahan Atap | | |
| Aspal | 0,90 – 0,95 | 0,86 – 0,90 |
| Besi galvabis, kotr | 0,25 – 0,35 | 0,87 – 0,91 |
| Besi galvanis, baru | 0,20 – 0,30 | 0,64 – 0,68 |
| Kertas atap | 0,85 – 0,95 | 0,85 – 0,90 |
| Batu tulis | 0,90 – 0,98 | 0,85 – 0,95 |
| Cat | | |
| Aluminium (cemerlang), berkilat | 0,25 – 0,65 | 0,30 – 0,50 |
| Hitam, rata | 0,95 – 0,98 | 0,85 – 0,95 |
| Gelap (merah, coklat, hijau, dll) | 0,75 – 0,95 | 0,65 – 0,83 |
| Putih, rata | 0,95 – 0,99 | 0,12 – 0,25 |
| Logam | | |
| Aluminium, nikel, chromium (dipolis) | 0,02 – 0,10 | 0,10 – 0,40 |
| Tembaga, kunijgan, logam monel (dipolis) | 0,02 – 0,15 | 0,30 – 0,50 |
| Aluminium pudar, kuningan, tembaga dan besi dipolis | 0,20 – 0,50 | 0,40 – 0,65 |
| Oksida besi | 0,60 – 0,65 | 0,70 – 0,80 |

Contoh Soal : Atap sebelah barat daya sebuah bangunan terbuat dari besi galvanis kotor dan dipasang pada kemiringan 70^0 dari tegak lurus. Bangunan tersebut terletak di 38^0 lintang utara dan pada garis bujur 2^0 ke arah barat dari meridian standar untu zona waktu. Hitunglah kombinasi arus surya yang diserap langsung dan difusi pada pukul 01.00 siang waktu setempat pada tanggal 21 juli.

Jawab :

Diketahui $\beta_2 = 20^0$, $\alpha_2 = 45^0$, waktu setempat 1.00 siang, DST, $L = 38^0$

Dari tabel 2.1 $\delta = 20,5^0$, persamaan waktu = -6,2 menit $A = 344 \text{ Btu/jam.kaki}^2 = 1085 \text{ W/m}^2$, $B = 0,201$, $C = 0,136$

Dari tabel 2.2 $\varepsilon_{su} = 0,89$

Waktu matahari rata-rata = $1.00 - 1.00 + 0.04 (-2) = -0.08 = 11.52$ siang

Waktu matahari absolut = $\text{MST} + \text{Persamaan waktu} = 11.52 + (-6,2) = 11.45,8$ siang

$$H = 0,25 (11:45,8-12:00)=0,25 (-14,2) = -3,55^0$$

$$\begin{aligned}\sin \beta_1 &= \cos L \cos \delta \cos H + \sin L \sin \delta \\ &= \cos (38) \cos (20,5) \cos (-3,55) + \sin (38) \sin (20,5) = 0,9523\end{aligned}$$

$$\beta_1 = 72,23^0$$

$$\sin \alpha_1 = \frac{\cos \delta \sin H}{\cos \beta_1} = \frac{\cos(20,5) \sin(-3,55)}{\cos(72,23)} = -0,1900$$

$$\alpha_1 = -10,95^0$$

$$\begin{aligned}\cos \theta &= \sin \beta_1 \cos \beta_2 + \cos \beta_1 \sin \beta_2 \cos (\alpha_1 - \alpha_2) \\ &= \sin (72,23) \cos (20) + \cos (72,23) \sin (20) \cos (-10,95-45) = 0,9533\end{aligned}$$

$$I_{DN} = A e^{-(B/\sin \beta_1)} = 1085 e^{-(0,201/\sin 72,23)} = 878,54 \text{ W/m}^2$$

$$F_{ss} = \frac{1 + \cos \beta_2}{2} = \frac{1 + \cos(20)}{2} = 0,9698$$

$$\begin{aligned}I_{T\theta} &= I_{DN} \cos \theta + C I_{DN} F_{ss} = I_{DN} (\cos \theta + C F_{ss}) \\ &= 878,54 [0,9533 + 0,136(0,9698)] = 953,39 \text{ W/m}^2\end{aligned}$$

$$\text{Arus energi surya yang terserap} = \varepsilon_{su} \cdot I_{T\theta} = 0,89(953,39) = 848,51 \text{ W/m}^2$$

7.6 Pemanfaatan Energi Surya

Pemanfaatan energi surya untuk dikonversikan ke energi elektrik dapat dilakukan dengan cara :

- Secara langsung melalui proses fotovoltaik dengan menggunakan sel surya
- Secara tidak langsung melalui proses proses panas yang dikumpulkan
- Bentuk energi lain, seperti : energi hidro, energi angin, energi kimiawi (batu bara, minyak, biomassa dan lain-lain)

7.7 Cara sel Fotovoltaik

Suatu proses fotovoltaik terjadi bila cahaya mengenai satuan dasar dengan bahan peka pembangkitan arus listrik . Satuan dasar itu disebut sel surya atau sel fotovoltaik. Dengan menggabungkan sel-sel surya secara seri dan parallel, menjadi “array sel surya”, keluaran daya dan kapasitas micro-watt sampai mega-watt dapat diperoleh, dengan tegangan yang dikehendaki.

Ukuran array sel surya dihitung dalam watt puncak, Bahan peka cahaya itu diantaranya silicon, gallium arsenida, cadmium/tembaga sulfida dan sebagainya. Pada prinsipnya sel surya tipis sekali, sekitar 0,03 cm. Sel terdiri lapisan tipis silicon tipe N (micrometer tebalnya) dan lapisan agak tebal silicon tipe P. Sel fotovoltaik semi konduktor dengan bahan silicon atau germanium, terdiri dari lapisan logam tipis P diuapkan pada pembawa (carrier) N. Bila sel disinari cahaya matahari, lapisan pembatas dalam berubah dan mengalir arus foto elektrik yang sebanding dengan intensitas iluminasi.

Kepekaannya tergantung pada panjang gelombang cahaya, melebihi jangkauan mata manusia, dan maksimum di daerah panjang gelombang infra merah.

Dengan sel silicon, tegangan rangkaian terbuka mencapai 0,5 V dan dengan sel germanium sekitar 0,15 V. Tegangan rangkaian terbuka tidak tergantung pada permukaan peka cahaya, dan sekitar ukuran tertentu i_a konstan.

1. Data-data penting Matahari

| | |
|-------------------------------|--|
| Diameter | = 1.392.000 km atau 109 x diameter Bumi |
| Luas | = $6.09 \times 10^{12} \text{ km}^2$ atau 12000 x luas permukaan Bumi |
| Isi | = $1,41 \times 10^{18} \text{ km}^3$ atau 1,3 juta Isi Bumi |
| Massa | = $2 \times 10^{33} \text{ kg}$ atau 333000 massa Bumi |
| Kepadatan rata-rata | = $1,4 \text{ g/cm}^3$ atau 0,26 kepadatan rata-rata Bumi |
| Suhu di Pusat | = $\pm 15 \text{ Juta Kelvin } (1,5 \times 10^7 \text{ K})$ |
| Percepatan berat dipermukaan | = 27.400 cm/s^2 atau 28 kali percepatan permukaan Bumi |
| Suhu dipermukaan | = 5780 K |
| Kapadatan di permukaan | = $2 \times 10^7 \text{ g/cm}^3$ |
| Radiasi energi dipermukaan | = 63.000 kW/m^2 |
| Rugi massa karena radiasi | = 4 juta Ton/s |
| Rugi massa karena angin solar | = $\pm 1 \text{ juta Ton/s}$ |
| Susunan kimiawi | = 75 % H_2 + 23% He + 2 % Elemen lainnya |
| Lamanya perputaran | = di Ekuator Surya : 25 hari untuk 1 perputaran Di kutup : 33 hari untuk 1 perputaran |
| Kecepatan cahaya | = Kecepatan rambatan gelombang elektromagnetik dalam, Pakum = $\pm 300.00 \text{ km/s}$; $C=299.792,5 \pm 0,1 \text{ m/s}$ |
| 1 Tahun cahaya | = $9,46 \times 10^{12} \text{ km/s}$ |

BAB 8

BIOMASSA

8.1 Pengertian Biomassa

Menurut KBBI (Kamus Besar Bahasa Indonesia), energi adalah tenaga atau gaya untuk berbuat sesuatu. Definisi ini merupakan perumusan yang lebih luas daripada pengertian-pengertian mengenai energi yang umumnya dianut di dunia ilmu pengetahuan. Dalam pengertian sehari-hari energi dapat didefinisikan sebagai kemampuan untuk melakukan sesuatu pekerjaan (Kadir, 1995). Sumber energi secara sederhana dapat didefinisikan sebagai kekayaan alam yang akan memberikan sejumlah daya dan tenaga apabila diproses dan diolah serta bisa dinikmati oleh masyarakat luas di dalam penyebarannya (Kurniawan dan Marsono, 2008). Energi merupakan sektor utama dalam perekonomian Indonesia dewasa ini dan akan mengambil peranan yang lebih besar di waktu yang akan datang baik dalam rangka penyediaan devisa, penyerapan tenaga kerja, pelestarian sumber daya energi, pembangunan nasional serta pembangunan daerah (Abdullah, 1980). Seperti diketahui Indonesia sangat berkepentingan dengan sumber daya energi minyak dengan sumber daya energi lainnya karenaminyak merupakan sumber daya energi yang menghasilkan devisa selain gas alam. Oleh karena itu, sektor-sektor perekonomian yang memanfaatkan minyak sedapat mungkin menggantikannya dengan sumber daya lain seperti gas alam, batubara, panas bumi, listrik tenaga air, dan biomassa. Energi biomassa merupakan sumber daya alternatif yang harus dipilih karena jumlahnya yang melimpah dan sifatnya yang dapat diperbaharui

Biomassa adalah bahan organik yang dihasilkan melalui proses fotosintetik, baik berupa produk maupun buangan. Contoh biomassa antara lain adalah tanaman, pepohonan, rumput, limbah pertanian, limbah hutan, tinja dan kotoran ternak. Selain digunakan untuk tujuan primer serat, bahan pangan, pakan ternak, minyak nabati, bahan bangunan dan sebagainya, biomassa juga digunakan sebagai sumber energi (bahan bakar). Yang digunakan adalah bahan bakar biomassa yang nilai ekonomisnya rendah atau merupakan limbah setelah diambil produk primernya (Pari dan Hartoyo, 1983). Sedangkan menurut Silalahi (2000), biomassa adalah campuran material organik yang kompleks, biasanya terdiri dari karbohidrat, lemak, protein dan mineral lain yang jumlahnya sedikit seperti sodium, fosfor, kalsium dan besi. Komponen utama tanaman biomassa adalah karbohidrat (berat kering $\pm 75\%$), lignin ($\pm 25\%$) dimana dalam beberapa tanaman komposisinya bisa berbeda-beda. Energi biomassa dapat menjadi sumber energi alternatif pengganti bahan bakar fosil (minyak bumi) karena beberapa sifatnya yang menguntungkan yaitu, dapat dimanfaatkan secara lestari karenasifatnya yang dapat diperbaharui (renewable resources), relatif tidak mengandung unsur sulfur sehingga tidak menyebabkan polusi udara dan juga dapat meningkatkan efisiensi pemanfaatan sumber daya hutan dan pertanian (Widarto dan Suryanta, 1995).

8.2 Potensi Biomassa di Indonesia

Potensi biomassa di Indonesia adalah cukup tinggi. Dengan hutan tropis Indonesia yang sangat luas, setiap tahun diperkirakan terdapat limbah kayu sebanyak 25 juta ton yang terbuang dan belum dimanfaatkan. Jumlah energi yang terkandung dalam kayu itu besar, yaitu 100 milyar kkal setahun. Demikian juga sekam padi, tongkol jagung, dan tempurung kelapa yang merupakan limbah pertanian dan perkebunan, memiliki potensi yang besar sekali. Tabel 1 memberikan suatu ikhtisar dari potensi energi biomassa yang terdapat di Indonesia. Jenis energi ini adalah terbarukan, sehingga merupakan suatu produksi yang tiap tahun dapat diperoleh.

Tabel 1. Potensi energi biomassa di Indonesia

Sumber : The Potential of Biomass Residues as Energy Sources in Indonesia.

Tabel 1. Potensi energi biomassa di Indonesia

| Sumber energi | Produksi 10 ⁶ ton/thn | Energi 10 ⁹ kkal/thn |
|------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| Kayu | 25.00 | 100.0 |
| Sekam padi | 7.55 | 27.0 |
| Tongkol jagung | 1.52 | 6.8 |
| Tempurung kelapa | 1.25 | 5.1 |
| Potensi total | 35.32 | 138.9 |

Sumber : *The Potential of Biomass Residues as Energy Sources in Indonesia*.
Dewi dan Siagian, (1992).

Bahan bakar adalah istilah populer media untuk menyalakan api. Bahan bakar dapat bersifat alami (ditemukan langsung dari alam), tetapi juga bersifat buatan (diolah dengan teknologi maju). Bahan bakar alami misalnya kayu bakar, batubara dan minyak bumi. Bahan bakar buatan misalnya gas alam cair dan listrik. Sebenarnya, listrik tidak dapat disebut sebagai bahan bakar karena langsung menghasilkan panas. Panas inilah yang sebenarnya dibutuhkan manusia dari proses pembakaran, disamping cahaya akibat nyalanya (Johannes, 1991). Menurut Adan (1998), pemakaian bahan bakar fosil sudah mendekati masa pensiun. Sudah menjadi berita hangat bahwa bahan bakar fosil sudah mulai habis. Lebih buruknya lagi penggunaan bahan bakar fosil menghasilkan polusi berupa sulfur, CH₄, dan N₂O yang dapat merusak lingkungan dimana ikut andil menyebabkan pemanasan global (Global Warming). Untuk mengeliminasi kemungkinan terburuk dampak pemakaian bahan bakar fosil sangat tepat jika bahan bakar dari biomassa sebagai penggantinya. Pemerintah juga sedang menyusun langkah-langkah pengembangan energi alternatif berbasis nabati atau biofuel.

Program nasional ini telah dimulai sejak tahun 2005 dengan pengembangan energi berbahan dasar kelapa sawit, jagung, tebu, singkong, dan jarak. Untuk daerah tertentu, terutama daerah terpencil dan belum berkembang, akan dilaksanakan program desa mandiri energi berbasis pohon jarak. Dengan demikian desa-desa tersebut diharapkan akan mampu memenuhi kebutuhan energinya, tanpa harus tergantung kepada solar dan minyak tanah. Namun, terobosan antisipasi untuk menghasilkan energi alternatif lainnya tetap perlu dilakukan. Bahan bakar tersebut harus murah, mudah dibuat, dan mudah dicari sumber bahannya, seperti bioarang (Kurniawandan Marsono, 2008). Karbonisasi Biomassa

8.3 Proses Pembentukan Biomassa

Proses pembakaran dikatakan sempurna jika hasil akhir pembakaran berupa abu berwarna keputihan dan seluruh energi di dalam bahan organik dibebaskan. Namun dalam pengarangan, energi pada bahan akan dibebaskan secara perlahan. Apabila proses pembakaran dihentikan secara tiba-tiba ketika bahan masih membara, bahan tersebut akan menjadi arang yang berwarna kehitaman. Pada bahan masih terdapat sisa energi yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan, seperti memasak, memanggang dan mengeringkan. Bahan organik yang sudah menjadi arang tersebut akan mengeluarkan sedikit asap dibandingkan dibakar langsung menjadi abu. Prinsip proses karbonisasi adalah pembakaran biomassa tanpa adanya kehadiran oksigen. Sehingga yang terlepas hanya bagian volatile matter, sedangkan karbonnya tetap tinggal di dalamnya. Temperatur karbonisasi akan sangat berpengaruh terhadap arang yang dihasilkan sehingga penentuan temperatur yang tepat akan menentukan kualitas arang. Sedangkan menurut Abdullah, dkk, (1991), proses pengarangan (pirolisa) adalah penguraian biomassa (lysis) menjadi panas (piro) pada suhu lebih dari 150°C. Pada proses pirolisa terdapat beberapa tingkatan proses yaitu pirolisa primer dan pirolisa sekunder. Pirolisa primer adalah pirolisa yang terjadi pada bahan baku (umpan), sedangkan pirolisa sekunder adalah pirolisa yang terjadi atas partikel dan gas/uap hasil pirolisa primer.

Selama proses pengarangan dengan alur konveksi pirolisa, perlu diperhatikan asap yang ditimbulkan selama proses tersebut : - Jika asap tebal dan putih, berarti bahan sedang mengering. - Jika asap tebal dan kuning, berarti pengkarbonan sedang berlangsung. Pada fase ini sebaiknya tungku ditutup dengan maksud agar oksigen pada ruang pengarangan serendah-rendahnya. - Jika asap semakin tipis dan berwarna biru berarti pengarangan hampir selesai, kemudian drum dibalik dan proses pembakaran selesai. (Anonymous, 1989). Bioarang Arang merupakan bahan padat yang berpori dan merupakan hasil pengarangan bahan yang mengandung karbon. Sebagian besar pori-pori arang masih tertutup oleh hidrokarbon, tar, dan senyawa organik lain yang komponennya terdiri dari karbon tertambat (Fixed Carbon), abu, air, nitrogen dan sulfur. Sedangkan, bioarang merupakan arang (salah satu jenis bahan bakar) yang dibuat dari aneka macam bahan hayati atau biomassa, misalnya kayu, ranting, daun-daunan, rumput, jerami, ataupun limbah pertanian lainnya. Bioarang ini dapat digunakan dengan melalui proses pengolahan, salah satunya adalah menjadi briket bioarang (Pari dan Hartoyo, 1983). Sedangkan menurut Johannes (1991), bioarang adalah

arang yang diproses dengan membakar biomassa kering tanpa udara (pirolisis). Energi biomassa yang diubah menjadi energi kimia inilah yang disebut dengan bioarang. Briket Bioarang Briket bioarang adalah gumpalan-gumpalan atau batangan-batangan arang yang terbuat dari bioarang (bahan lunak). Bioarang yang sebenarnya termasuk bahan lunak yang dengan proses tertentu diolah menjadi bahan arang keras dengan bentuk tertentu. Kualitas dari bioarang ini tidak kalah dengan batubara atau bahan bakar jenis arang lainnya (Joseph dan Hislop, 1981).

Pembuatan briket arang dari limbah pertanian dapat dilakukan dengan menambah bahan perekat, dimana bahan baku diarangkan terlebih dahulu kemudian ditumbuk, dicampur perekat, dicetak dengan sistem hidrolik maupun manual dan selanjutnya dikeringkan. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Hartoyo (1983) menyimpulkan bahwa briketarang yang dihasilkan setaraf dengan arang buatan Inggris dan memenuhi persyaratan yang berlaku di Jepang karena menghasilkan kadar abu dan zat yang mudah menguap (volatile matter) yang rendah serta tinggi kadar karbon terikat (fixed carbon) dan nilai kalor. Briket arang yang baik diharapkan memiliki kadar karbon yang tinggi. Kadar karbon sangat dipengaruhi oleh kadar zat mudah menguap dan kadar abu. Semakin besar kadar abu akan menyebabkan turunnya kadar karbon briket arang tersebut. Secara keseluruhan nilai densitas (kerapatan partikel) briket arang antara 0,45 g/cm³ sampai 0,59 g/cm³, kadar air antara 3,57% sampai 4,75%, kadar abu 3,56%, dan nilai kalor berkisar antara 6198,99 kal/g sampai 6522,84 kal/g

a. Tanaman Jagung

klasifikasi ilmiah dari tanaman jagung adalah:

Kerajaan : Plantae

Divisio : Angiospermae

Kelas : Monocotyledoneae

Ordo : Poales

Familia : Poaceae

Genus : Zea

Spesies : Zea mays L.

Jagung merupakan anggota suku rumput-rumputan. Jagung memiliki bunga jantan dan betina yang terpisah tetapi masih dalam satu tanaman (monoecious). Bunga jantan tumbuh dibagian puncak berupa karangan bunga yang mempunyai serbuk sari berwarna kuning dan beraroma khas, bunga betinanya tersusun dalam tongkol yang tumbuh dari buku diantara batang dan pelepah daun. Jagung (*Zea mays* L.) merupakan salah satu tanaman pangan dunia yang terpenting, selain gandum dan padi. Sebagai sumber karbohidrat utama

di Amerika Tengah dan Selatan, jagung juga menjadi alternatif sumber pangan di Amerika Serikat. Penduduk beberapa daerah di Indonesia (misalnya di Madura dan Nusa Tenggara) juga menggunakan jagung sebagai pangan pokok. Selain sebagai sumber karbohidrat, jagung juga ditanam sebagai pakan ternak (hijauan maupun tongkolnya), diambil minyaknya (dari biji), dibuattepung (dari biji, dikenal dengan istilah tepung jagung atau maizena), dan bahan baku industri

1. Akar jagung

Akar jagung tergolong akar serabut, pada tanaman yang sudah cukup dewasa muncul akar adventif dari buku-buku batang bagian bawah yang membantu menyangga tegaknya tanaman.

2. Daun jagung

Daun jagung bentuknya memanjang, antara pelepah dan helai daun terdapat ligula. Tulang daun sejajar dengan ibu tulang daun. Struktur ini berperan penting dalam respon tanaman menanggapi defisit air pada sel-sel daun.

3. Tongkol jagung

Tongkol jagung mengandung lignoselulosa yang terdiri dari lignin, selulosa, dan hemiselulosa. Tongkol jagung dapat digunakan sebagai substrat pada fermentasi enzim selulase dengan bantuan mikroorganisme seperti *Aspergillus niger*. Enzim selulase berguna untuk proses hidrolisis selulosa menjadi glukosa secara enzimatik. Glukosa dapat digunakan untuk fermentasi dan menjadi etanol yang dikenal sebagai bioetanol. Tongkol jagung juga sangat berpotensi digunakan sebagai bahan bakar alternatif, termasuk untuk pengeringan. (Aylia Nawaty dan Ery, 1985).

Tabel 2. Hasil Analisis Kandungan Tongkol Jagung

Kandungan Produksi Tongkol jagung

Kadar air 59,21

Bahan Kering 40,79

Protein kasar 3,25

Lemak kasar 0,33

Serat kasar 29,89

Abu 1,49

4. Batang jagung

Secara fisik batang jagung berdiri tegak dan mudah terlihat, sebagaimana sorgum dan tebu, namun tidak seperti padi atau gandum. Pada jagung terdapat mutan yang batangnya tidak tumbuh pesat sehingga tanaman berbentuk roset. Batang jagung beruas dan tidak bercabang serta tidak dapat tumbuh membesar karena jagung termasuk tumbuhan monokotil, dimana ciri batang tumbuhan monokotil tidak berkambium. Jika batang itu dipotong secara melintang, akan terlihat ikatan pembuluh angkut dan pembuluh tapis yang letaknya tidak beraturan. Batang yang beruas-ruas terbungkus oleh pelepah daun yang muncul dari buku. Batang jagung cukup kokoh namun tidak banyak mengandung selulosa, hemi selulosa dan zat ekstraktif lainnya

Bahan Perekat

Perekat adalah suatu zat atau bahan yang memiliki kemampuan untuk mengikat dua benda melalui ikatan permukaan. Beberapa istilah lain dari perekat yang memiliki kekhususan meliputi glue, mucilage, paste, dancement.

- Gluemerupakan perekat yang terbuat dari protein hewani, seperti kulit, kuku, urat, otot, dan tulang yang digunakan dalam industri pengerjaan kayu.
- Mucilage adalah perekat yang dipersiapkan dari getah dan air yang diperuntukkan terutama untuk perekat kertas.
- Paste merupakan perekat pati (starch) yang dibuat melalui pemanasan campuran pati dan air dan dipertahankan berbentuk pasta.
- Cement adalah istilah yang digunakan untuk perekat yang bahan dasarnya

karet dan mengeras melalui pelepasan pelarut. Sifat alamiah bubuk arang cenderung saling memisah. Dengan bantuan bahan perekat atau lem, butir-butir arang dapat disatukan dan dibentuk sesuai dengan kebutuhan. Namun, permasalahannya terletak pada jenis bahan perekat yang akan dipilih. Penentuan jenis bahan perekat yang digunakan sangat berpengaruh terhadap kualitas briket arang ketika dinyalakan dan dibakar. Faktor harga dan ketersediaannya di pasaran harus dipertimbangkan secara seksama karena setiap bahan perekat memiliki daya lekat yang berbeda-beda karakteristiknya (Sudrajat, 1983). Menurut Schuchart, dkk(1996), pembuatan briket dengan penggunaan bahan perekat akan lebih baik hasilnya jika dibandingkan tanpa menggunakan bahan perekat. Disamping meningkatkannya nilai bakar dari bioarang, kekuatan briket arang dari tekanan luar juga lebih baik (tidak mudah pecah). Bahan perekat dapat dibedakan atas 3 jenis yaitu :

Perekat anorganik

1. Perekat aci

Perekat aci terbuat dari tepung tapioka yang mudah dibeli dari toko makanan dan di pasar. Perekat ini biasa digunakan untuk mengelem perangko dan kertas. Cara membuatnya sangat mudah, yaitu cukup mencampurkan tepung tapioka dengan air, lalu dididihkan diatas kompor. Selama pemanasan tepung diaduk terus-menerus agar tidak menggumpal. Warna tepung yang semula putih akan berubah menjadi transparan setelah beberapa menit dipanaskan dan terasa lengket di tangan.

2. Perekat tanah liat

Perekat tanah liat bisa digunakan sebagai perekat karbon dengan cara tanah liat diayak halus seperti tepung, lalu diberi air sampai lengket. Namun penampilan briket arang yang menggunakan bahan perekat ini menjadi kurang menarik dan membutuhkan waktu lama untuk mengeringkannya. Selain itu, briket menjadi agak sulit menyala ketika dibakar.

3. Perekat getah karet

Daya lekat getah karet lebih kuat dibandingkan dengan lem aci maupun tanah liat. Namun, ongkos produksinya relatif lebih mahal dan agak sulit mendapatkannya karena harus membeli. Briket arang yang menggunakan perekat getah karet akan menghasilkan asap tebal berwarna hitam dan beraroma kurang sedap ketika dibakar. Oleh karena itu jenis perekat ini jarang dipilih oleh produsen briket arang.

4. Perekat getah pinus

Briket arang dengan menggunakan perekat getah pinus hampir mirip dengan briket arang dengan menggunakan perekat getah karet. Namun keunggulannya terletak pada daya benturan briket yang kuat meskipun dijatuhkan dari tempat yang tinggi, briket tetap utuh.

5. Perekat pabrik

Perekat pabrik adalah lem khusus yang diproduksi oleh pabrik yang berhubungan langsung dengan industri pengolahan kayu, seperti tripleks, multipleks, dan furnitur. Lem-lem tersebut memang mempunyai daya lekat yang sangat kuat, tetapi kurang ekonomis jika diterapkan pada briket arang, kecuali untuk melayani pesanan khusus dari konsumen. Misalnya pembuatan briket arang yang ditujukan untuk ekspor hasil memenuhi standar perdagangan internasional yang mencakup kadar air, kadar abu, karbon terikat, materi volatil, serta jumlah kalori yang dilepaskan setiap kilogramnya. Penggunaan bahan perekat dimaksudkan untuk menarik air dan membentuk tekstur yang padat atau mengikat dua substrat yang akan direkatkan.

Dengan adanya bahan perekat, maka susunan partikel akan semakin baik, teratur dan lebih padat sehingga dalam proses pengempaan keteguhan tekan dari arang briket akan semakin baik (Silalahi, 2000). Nilai Kalor Menurut

Koesoemadinata (1980), nilai kalor bahan bakar adalah jumlah panas yang dihasilkan atau ditimbulkan oleh suatu gram bahan bakar tersebut dengan meningkatkan temperatur 1 gr air dari 3,50C – 4,50C, dengan satuan kalori. Dengan kata lain nilai kalor adalah besarnya panas yang diperoleh dari pembakaran suatu jumlah tertentu bahan bakar. Semakin tinggi berat jenis bahan bakar, maka semakin tinggi nilai kalor yang diperolehnya. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh Royhan, (2003) bahwa kualitas nilai kalor suatu briket akan meningkat seiring dengan bertambahnya bahan perekat dalam briket tersebut. Syachry (1982) menyatakan bahwa yang sangat mempengaruhi nilai kalor kayu adalah zat karbon, lignin, dan zat resin, sedangkan kandungan selulosa kayu tidak begitu berpengaruh terhadap nilai kalor kayu.

Kalori meter bom adalah suatu alat yang digunakan untuk menentukan panas yang dibebaskan oleh suatu bahan bakar dan oksigen pada volume tetap. Alat tersebut ditemukan oleh Prof. S. W.Parr (1912), oleh sebab itu alat tersebut sering disebut "Parr Oxygen Bomb Calorimeter". Kadar Air Kadar air briket adalah perbandingan berat air yang terkandung dalam briket dengan berat kering briket tersebut setelah diovenkan. Peralatan yang digunakan dalam pengujian ini antara lain oven, cawan kedap udara, timbangan dan desikator (Kardianto, 2009). Darmawan (2000), mengemukakan kadar air briket sangat mempengaruhi nilai kalor atau nilai panas yang dihasilkan. Tingginya kadar air akan menyebabkan penurunan nilai kalor. Hal ini disebabkan karena panas yang tersimpan dalam briket terlebih dahulu digunakan untuk mengeluarkan air yang ada sebelum kemudian menghasilkan panas yang dapat dipergunakan sebagai panas pembakaran. Densitas Menurut Haygreen dan Bower (1989) densitas adalah perbandingan antara kerapatan kayu (atas dasar berat kering tanur dan volume pada kadar air yang telah ditentukan) dengan kerapatan air pada suhu 4 °C. Air memiliki kerapatan partikel 1 g/cm³ atau 1000 kg/m³ pada suhu standar tersebut. Soeparno dkk(1990), mengemukakan kerapatan yang tinggi menunjukkan kekompakan partikel arang briket yang dihasilkan. Sudrajad (1983), mengatakan densitas kayu sangat mempengaruhi kadar air, kadar abu, kadar zat terbang, kadar karbon terikat dan nilai kalor briket yang dihasilkan. Selanjutnya disebutkan briket dari kayu berkerapatan tinggi menunjukkan nilai kerapatan, keteguhan tekan, kadar abu, kadar karbon terikat, dan nilai kalor yang lebih tinggi dibandingkan briket yang dibuat dari kayu yang berkerapatan rendah. Komarayati dkk(1995) dalam Royhan (2003) mengatakan bahwa dengan bertambahnya bahan perekat maka ikatan antar partikel akan semakin kuat, kerapatan antar material juga semakin besar dan ruang pori lebih sedikit.

Kadar Abu Kandungan abu merupakan ukuran kandungan material dan berbagai material anorganik di dalam benda uji. Metode pengujian ini meliputi penetapan abu yang dinyatakan dengan persentase sisahasil oksidasi kering benda uji pada suhu $\pm 580-6000^{\circ}\text{C}$, setelah dilakukan pengujian kadar air. Abu adalah bahan yang tersisa apabila kayu dipanaskan hingga berat konstan (Earl, 1974). Kadar abu

ini sebanding dengan kandungan bahan anorganik di dalam kayu. Salah satu unsur utama yang terkandung dalam abu adalah silika dan pengaruhnya kurang baik terhadap nilai kalor yang dihasilkan. Abu terdiri dari bahan mineral seperti lempung, silika, kalsium, serta magnesium oksida dan lain – lain.

LAMPIRAN

Penyusun :

| | |
|------------------------------|--------------------|
| Tryana Putri Jumianti | D411 12 274 |
| Nurul Pratiwi | D411 12 276 |
| Ni Nyoman Wirati | D411 12 290 |

BAB 1 ENERGI NUKLIR

Oleh: Kelompok 1

| | |
|------------------------|-------------|
| Abdi Kurniawan | D411 12 002 |
| Eka Yuniati Sirajuddin | D411 12 011 |
| Muh. Fariz Islam M. | D411 12 257 |
| Tryana Putri Jumianti | D411 12 274 |
| Ni Nyoman Wirati | D411 12 290 |

BAB 2 ENERGI ANGIN

Oleh: Kelompok 2

| | |
|-------------------|-------------|
| Firmansyah | D411 12 003 |
| Burhannuddin | D411 12 014 |
| Akwila Tampubolon | D411 12 258 |
| Nurul Pratiwi | D411 12 276 |
| Syaiful Islam | D411 12 291 |

BAB 3 ENERGI SEL BAHAN BAKAR

Oleh : Kelompok 3

| | |
|-----------------------|-------------|
| Wahyu Hendri Yulianto | D411 12 004 |
| Bagus Dwi Wicaksono | D411 12 102 |
| Ahmad Dhani | D411 12 263 |
| Muh. Suli | D411 12 278 |
| Ahmad Fahri Thaha | D411 12 293 |

BAB 4 ENERGI PANAS BUMI

Oleh : Kelompok 4

| | |
|----------------------|-------------|
| Ardi | D411 12 005 |
| Fildah Fauziah Sabir | D411 12 103 |
| Tomy Parandangi | D411 12 264 |
| Adri Paundanan | D411 12 280 |
| Odilia Valentine | D411 12 296 |

BAB 6 ENERGI GELOMBANG LAUT

Oleh : Kelompok 6

| | |
|-----------------------|-------------|
| Alif Septianbudi | D411 12 007 |
| Julian Chrismax Sende | D411 12 108 |
| Zulkifli Palinrungi | D411 12 266 |
| Hidayat Sarjum | D411 12 284 |
| Anugerah Ramadhani | D411 12 306 |

BAB 7 ENERGI SEL SURYA

Oleh : Kelompok 7

| | |
|----------------------|-------------|
| Ilham Suganda | D411 12 008 |
| Rizki Ma'rif | D411 12 113 |
| Awi Mangalla | D411 12 268 |
| Muh. Rasydin Sjatri | D411 12 287 |
| Fahrizal Mansnandifu | D411 12 602 |

BAB 8 BIOMASSA

Oleh : Kelompok 8

| | |
|----------------------|-------------|
| Yusriadi | D411 12 009 |
| Muh. Basri | D411 12 255 |
| Rikki Murtin | D411 12 273 |
| Aisyah Fachriani Nur | D411 12 289 |