

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Berikut merupakan beberapa rujukan penelitian yang pernah dilakukan guna mendukung penulisan tugas akhir, diantaranya:

- a. Agus Sugiyono (2010) dalam penelitiannya disebutkan bahwa Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) merupakan salah satu provinsi di Indonesia yang tidak memiliki potensi energi fosil. Hampir seluruh kebutuhan energi di Provinsi DIY seperti bahan bakar minyak (BBM), LPG dan listrik dipasok dari luar daerah. Mengingat Provinsi DIY mempunyai potensi energi alternatif seperti biomasa, energi angin, energi surya dan energi air maka potensi tersebut perlu dikembangkan. Hal ini sejalan dengan program nasional untuk menciptakan keamanan pasokan energi (*energy security of supply*) melalui pemanfaatan energi lokal. Dalam makalah ini akan dibahas prospek pemanfaatan energi alternatif tersebut melalui perencanaan energi daerah Propinsi DIY untuk rentang waktu 2007-2025 dengan menggunakan model LEAP (*Long-Range Energy Alternatives Planning System*).
- b. Yunita (2000), Batubara adalah substansi heterogen yang dapat terbakar dan terbentuk dari banyak komponen yang mempunyai sifat saling berbeda. Batubara dapat didefinisikan sebagai satuan sedimen yang terbentuk dari

dekomposisi tumpukan tanaman selama kira-kira 300 juta tahun. Dekomposisi tanaman ini terjadi karena proses biologi dengan mikroba dimana banyak oksigen dalam selulosa diubah menjadi karbondioksida (CO₂) dan air (H₂O). kemudian perubahan yang terjadi dalam kandungan bahan tersebut disebabkan oleh adanya tekanan, pemanasan yang kemudian membentuk lapisan tebal sebagai akibat pengaruh panas bumi dalam jangka waktu berjuta-juta tahun, sehingga lapisan tersebut akhirnya memadat dan mengeras.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Batubara

Batubara merupakan salah satu bahan galian strategis yang sekaligus menjadi sumber daya energi yang sangat besar. Indonesia memiliki cadangan batubara yang sangat besar dan menduduki posisi ke-4 dunia sebagai Negara pengekspor batubara. Di masa yang akan datang batubara menjadi salah satu sumber energi alternatif potensial untuk menggantikan potensi minyak dan gas bumi yang semakin menipis. Pengembangan perusahaan pertambangan batubara secara ekonomis telah mendatangkan hasil yang cukup besar, baik sebagai pemenuhan kebutuhan dalam negeri maupun sebagai sumber devisa.

Pola yang terlihat dari proses perubahan bentuk tumbuh-tumbuhan hingga menjadi batubara yaitu dengan terbentuknya karbon. Kenaikan kandungan karbon dapat menunjukkan tingkatan batubara. Dimana tingkatan batubara yang paling tinggi adalah antrasit, sedang tingkatan yang lebih rendah dari antrasit akan lebih banyak mengandung hydrogen dan oksigen. Selain kandungan C, H dan O juga

terdapat kandungan lain yaitu belerang (S), nitrogen (N), dan kandungan mineral lainnya seperti silica, aluminium, besi, kalsium dan magnesium yang pada saat pembakaran batubara akan tertinggal sebagai abu. Karena batubara merupakan bahan galian fosil padat yang sangat heterogen, maka batubara mempunyai sifat yang berbeda-beda apabila diperoleh dari lapisan yang berbeda-beda. Bahkan untuk satu lapisan dapat menunjukkan sifat yang berbeda pada lokasi yang berbeda pula.

Dengan melimpahnya cadangan dari batubara khususnya di daerah Kalimantan, menjadikan opsi yang baik jika digunakan sebagai bahan bakar langsung, meskipun memiliki peringkat yang rendah dengan ditandai dengan adanya kandungan air yang tinggi. Namun dengan penanganan khusus seperti dilakukan pengeringan (dijemur) akan membantu dalam penyalaan awal batubara dan selanjutnya dalam proses pembakaran. Batubara merupakan salah satu jenis bahan bakar untuk pembangkit energi, disamping gas alam dan minyak bumi.

2.2.1.1 Klasifikasi Batubara

Batubara diklasifikasikan menurut sifat pembakarannya, menjadi antrasit, bitumen, subbitumin, dan lignit. Setiap jenis mempunyai subbagian lagi. Antrasit merupakan bahan bakar rumah tangga yang sangat berguna, karena pembakarannya besar, tetapi cadangannya sudah mulai habis. Batubara bitumen terutama digunakan dalam pembakaran yang menghasilkan energi atau karbonisasi untuk pembuatan kokas, ter, bahan kimia batubara, dan gas pabrik kokas (Austin, 1996).

Penggolongan tersebut menekan pada kandungan relatif antara unsur C dan H₂O. kandungan air dalam batubara, dikenal sebagai sifat lengas (moisture). Dalam

usaha untuk mempermudah pengenalan jenis batubara, berikut ditunjukkan sifat-sifat batubara untuk masing-masing jenis tabel 2.1. sebagai berikut.

Tabel 2.1. Komposisi elemen dari berbagai tipe batubara

Komposisi Elemen dari Beberapa Tipe Batubara					
Jenis Batubara	Presentase Massa				
	%C	%H	%O	%H ₂ O	% Volatile Matter
Lignit	60-70	5-6	20-30	50-70	45-55
Subbituminous	75-80	5-6	15-20	25-30	40-45
Bituminous	80-90	4-5	10-15	5-10	20-40
Antrasit	90-95	2-3	2-3	2-5	5-7

Sumber: <http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/46369/4/Chapter%20II.pdf>

Sifat batubara jenis antrasit :

- a. Warna hitam sangat mengkilat, kompak
- b. Nilai kotor sangat tinggi, kandungan karbon sangat tinggi
- c. Kandungan air sangat sedikit
- d. Kandungan abu sangat sedikit
- e. Kandungan sulfur sangat sedikit



Gambar 2.1 Antrasit

Sumber: <http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/46369/4/Chapter%20II.pdf>

Sifat batubara jenis bitumen/subbitumin :

- a. Warna hitam mengkilat, kurang kompak
- b. Nilai kalor tinggi, kandungan karbon relative tinggi
- c. Kandungan air sedikit
- d. Kandungan abu sedikit
- e. Kandungan sulfur sedikit



Gambar 2.2 Bitumen dan Subbitumin

Sumber: <http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/46369/4/Chapter%20II.pdf>

Sifat batubara jenis lignit :

- a. Warna hitam, sangat rapuh
- b. Nilai kotor rendah, kandungan karbon sedikit
- c. Kandungan air tinggi
- d. Kandungan abu dan sulfur banyak



Gambar 2.3 Lignit

Sumber: <http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/46369/4/Chapter%20II.pdf>

2.2.1.2 Analisis Batubara

Didalam analisis batubara terdapat dua metode untuk menganalisis batubara: analisis *ultimate* dan analisis *proximate*. Analisis *ultimate* menganalisis seluruh elemen komponen batubara, padat atau gas dan analisis *proximate* menganalisis hanya *fixed carbon*, bahan yang mudah menguap, kadar air dan persen abu. Analisis *ultimate* harus dilakukan oleh laboratorium dengan peralatan yang lengkap oleh ahli kimia yang terampil, sedangkan analisis *proximate* dapat dilakukan dengan peralatan yang sederhana. (Catatan: *proximate* tidak ada hubungannya dengan kata "approximate").

a. Penentuan kadar air:

Penentuan kadar air dilakukan dengan cara menempatkan sampel bahan baku batubara yang dihaluskan sampai ukuran 200-mikron dalam krus terbuka, kemudian dipanaskan dalam oven pada suhu 108 ± 15 °C dan diberi penutup. Sampel kemudian didinginkan dan ditimbang lagi. Kehilangan berat merupakan kadar airnya.

b. Pengukuran bahan bakar yang mudah menguap (*volatile matter*)

Sampel batubara halus yang masih harus ditimbang, ditempatkan pada krus tertutup, kemudian dipanaskan dalam tungku pada suhu 900 ± 15 °C. Sampel kemudian didinginkan dan ditimbang. Sisanya berupa kokas (*fixed carbon* dan abu).

c. Pengukuran karbon dan abu

Tutup krus dari uji bahan mudah menguap dibuka, kemudian krus dipanaskan dengan pembakar Bunsen hingga seluruh karbon terbakar. Abunya ditimbang, yang merupakan abu yang tidak mudah terbakar. Perbedaan berat dari penimbangan sebelumnya merupakan *fixed carbon*. Dalam praktek, *fixed carbon* atau FC dihitung dari pengurangan nilai 100 dengan kadar air, bahan mudah menguap dan abu.

Analisis Proximate

Analisis *proximate* menunjukkan persen berat dari *fixed carbon*, bahan mudah menguap, abu, dan kadar air dalam batubara. Jumlah *fixed carbon* dan bahan yang mudah menguap secara langsung turut andil terhadap nilai panas batubara. *Fixed carbon* bertindak sebagai pembangkit utama panas selama pembakar. Kandungan bahan yang mudah menguap yang tinggi menunjukkan mudahnya penyalaan bahan bakar. Kadar abu merupakan hal penting dalam perancangan *grate* tungku, volum pembakaran, peralatan kendali polusi dan sistim *handling* abu pada tungku. Analisis *proximate* untuk berbagai jenis batubara diberikan pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Analisis *proximate* untuk berbagai batubara (persen)

Parameter	Batubara India	Batubara Indonesia	Batubara Afrika Selatan
Kadar air	5,98	9,43	8,5
Abu	38,63	13,99	17
Bahan mudah menguap (<i>volatile matter</i>)	20,70	29,79	23,28
<i>Fixed Carbon</i>	34,69	46,79	51,22

Sumber: Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri di Asia-www.energyefficiencyasia.org

Parameter-parameter tersebut digambarkan dibawah ini.

a. Fixed carbon

Fixed carbon merupakan bahan bakar padat yang tertinggal dalam tungku setelah bahan yang mudah menguap didistilasi. Kandungan utamanya adalah karbon tetapi juga mengandung hydrogen, oksigen, sulfur dan nitrogen yang tidak terbawa gas.

Fixed carbon memberikan perkiraan kasar terhadap nilai panas batubara.

b. Bahan yang mudah menguap (volatile matter)

Bahan yang mudah menguap dalam batubara adalah metan, hidrokarbon, hydrogen, karbon, monoksida dan gas-gas yang tidak mudah terbakar, seperti karbon dioksida dan nitrogen. Bahan yang mudah menguap merupakan indeks dari kandungan bahan bakar bentuk gas didalam batubara. Kandungan bahan yang mudah menguap berkisar antara 20 hingga 35%.

Bahan yang mudah menguap:

- a. Berbanding lurus dengan peningkatan panjang nyala api, dan membantu dalam memudahkan penyalaan batubara
- b. Mengatur batas minimum pada tinggi dan volum tungku
- c. Mempengaruhi kebutuhan udara sekunder dan aspek-aspek distribusi
- d. Mempengaruhi kebutuhan minyak bakar sekunder

Kadar abu :

Abu merupakan kotoran yang tidak akan terbakar. Kandungannya berkisar antara 5% hingga 40%. Abu :

- a. Mengurangi kapasitas *handling* dan pembakaran
- b. Meningkatkan biaya *handling*
- c. Mempengaruhi efisiensi pembakaran dan efisiensi *boiler*
- d. Menyebabkan penggumpalan dan penyumbatan

Kadar Air :

Peralatan Termal: Bahan Bakar dan Pembakaran

Kandungan air dalam batubara harus diangkut, di-*handling* dan disimpan bersama-sama batubara. Kadar air akan menurunkan kandungan panas per kg batubara, dan kandungannya berkisar antara 0,5 hingga 10%. Kadar Air:

- a. Meningkatkan kehilangan panas, karena penguapan dan pemanasan berlebih dari uap
- b. Membantu peningkatan partikel halus pada tingkatan tertentu
- c. Membantu radiasi transfer panas

Kadar Sulfur

Pada umumnya berkisar pada 0,5 hingga 0,8%. Sulfur:

- a. Mempengaruhi kecenderungan terjadinya penggumpalan dan penyumbatan
- b. Mengakibatkan korosi pada cerobong dan peralatan lain seperti pemanas udara dan *economizers*
- c. Membatasi suhu gas buang yang keluar

Analisis *Ultimate*

Analisis *ultimate* menentukan berbagai macam kandungan kimia unsur-unsur seperti karbon, hydrogen, oksigen, sulfur, dll. Analisis ini berguna dalam penentuan jumlah udara yang diperlukan untuk pembakaran dan volum serta komposisi gas pembakaran. Informasi ini diperlukan untuk perhitungan suhu nyala dan perancangan saluran gas buang dll. Analisis *ultimate* untuk berbagai jenis batubara diberikan dalam tabel 2.3 dibawah.

Tabel 2.3 Analisis *ultimate* batubara

Parameter	Batubara India,%	Batubara Indonesia,%
Kadar Air	5,98	9,43
Bahan Mineral (1,1 x Abu)	38,63	13,99
Karbon	41,11	58,96
Hydrogen	2,76	4,16
Nitrogen	1,22	1,02
Sulfur	0,41	0,56
Oksigen	9,89	11,88

Sumber: Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri di Asia-www.energyefficiencyasia.org

Tabel 2.4 Hubungan antara analisis *ultimate* dengan analisis *proximate*

%C	=	$0,97C+0,7 (VM-0,1A)-M(0,6-0,01M)$
%H	=	$0,036C+0,086 (VM-0,1xA)-0,0035M^2 (1-0,02M)$
%N ₂	=	$2,10-0,020 VM$
Dimana		
C	=	% <i>fixed carbon</i>
A	=	% abu
VM	=	% bahan mudah menguap (<i>volatile matter</i>)
M	=	% kadar air

Catatan: persamaan diatas berlaku untuk batubara dengan kadar air lebih besar dari 15%

Sumber: Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri di Asia-www.energyefficiencyasia.org

2.2.1.3 Penyimpanan, handling dan persiapan batubara

Ketidaktentuan dalam ketersediaan dan pengangkutan bahan bakar mengharuskan dilakukannya penyimpanan dan penanganan untuk kebutuhan berikutnya. Kesulitan yang ada pada penyimpanan batubara adalah diperlukannya bangunan gudang penyimpanan, adanya hambatan masalah tempat, penurunan kualitas dan potensi terjadinya kebakaran. Kerugian-kerugian kecil lainnya adalah oksidasi, angin dan kehilangan karpet. Oksidasi 1% batubara memiliki efek yang sama dengan kandungan abu 1% dalam batubara. Kehilangan karena angin mencapai 0,5-10% dari kerugian total.

Penyimpanan batubara yang baik akan meminimalkan kehilangan karpet dan kerugian terjadinya pembakaran mendadak. Pembentukan karpet “karpet lunak”, dari batubara halus dan tanah, menyebabkan kehilangan karpet. Jika suhu naik secara perlahan dalam tumpukan batubara, maka dapat terjadi oksidasi yang akan

menyebabkan pembakaran yang mendadak dari batubara yang disimpan.

Kehilangan karpet dapat diatasi dengan cara:

- a. Mengeraskan permukaan tanah untuk penyimpanan batubara
- b. Membuat tempat penyimpanan standar yang terbuat dari beton dan bata

Di industri, batubara di-*handling* secara manual maupun dengan *conveyor*. Pada saat handling batubara harus diusahakan supaya sedikit mungkin batubara yang hancur membentuk partikel kecil dan sedikit mungkin partikel kecil yang tercecer.

Persiapan batubara sebelum pengumpanan ke boiler merupakan tahap penting untuk mendapatkan pembakaran yang baik. Bongkahan batubara yang besar dan tidak beraturan dapat menyebabkan permasalahan sebagai berikut:

- a. Kondisi pembakaran yang buruk dan suhu tungku yang tidak mencukupi
- b. Udara berlebih yang terlalu banyak mengakibatkan kerugian cerobong yang tinggi
- c. Meningkatnya bahan yang tidak terbakar dalam abu
- d. Rendahnya efisiensi termal

2.2.1.4 Penggilingan Batubara

Ukuran batubara yang benar merupakan salah satu kunci yang menjamin pembakaran yang efisien. Ukuran batubara yang tepat, sesuai dengan sistim pembakaran yang digunakan, dapat membantu pembakaran, mengurangi kehilangan abu dan efisiensi pembakaran yang lebih baik.

Ukuran batubara diperkecil dengan penggilingan/*crushing* dan penghancuran/*pulverizing* kemudian penggilingan awal batubara ekonomis digunakan untuk unit yang lebih kecil, terutama untuk unit *stoker-fired*. Pada sistim

handling batubara, penggilingan dilakukan untuk batubara dengan ukuran diatas 6 atau 4 mm. peralatan yang umum digunakan untuk penggilingan adalah *rotary breaker*, *roll crusher* dan *hammer mill*.

Sebelum penggilingan, batubara sebaiknya diayak terlebih dahulu, sehingga hanya batubara yang kelebihan ukuran yang diumpankan ke penggiling, sehingga dapat mengurangi konsumsi daya pada alat penggiling. Hal-hal yang praktis direkomendasikan pada penggilingan batubara adalah:

- a. Penggunaan ayakan untuk memisahkan partikel kecil dan halus untuk menghindarkan terbentuknya partikel yang sangat halus pada penggilingan
- b. Penggunaan pemisah magnetis untuk memisahkan potongan besi dalam batubara yang dapat merusak alat penggiling

Tabel 2.5 ukuran batubara yang tepat untuk berbagai jenis sistem pembakaran

Jenis Sistem Pembakaran			
<i>Hand Firing</i> (mm)	<i>Stoker Firing</i> (mm)	<i>Pulverized Fuel Fired</i>	<i>Fluidized Bed Boiler</i> (mm)
<i>Natural draft = 25-75</i> <i>Forced draft = 25-40</i>	<i>Natural draft = 25-40</i> <i>Forced draft = 15-25</i> <i>Spreader stoker = 15-25</i>	75% dibawah 75 mikron*	<10mm

*1 Mikron = 1/1000 mm

Sumber: Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri di Asia -www.energyefficiencyasia.org

2.2.1.5 Pengkondisian Batubara

Batubara yang halus menjadi masalah dalam pembakaran karena efek segregasi/pemisahannya. Terpisahnya partikel halus dari batubara yang lebih besar dapat diperkecil dengan mengkondisikannya dengan air. Air membantu partikel halus menempel pada bongkahan yang lebih besar disebabkan tekanan permukaan air, sehingga mencegah partikel halus jatuh melalui kisi-kisi atau dibawa oleh draft tungku. Dalam melakukan pengkondisian ini, harus dijaga supaya penambahan airnya merata dan lebih baik dilakukan pada saat batubara di alirkan atau dijatuhkan.

Jika presentase partikel halus dalam batubara sangat tinggi, pembasahan batubara dapat menurunkan presentase karbon yang tidak terbakar dan udara berlebih yang diperlukan untuk pembakaran. Tabel dibawah ini memperlihatkan tingkat pembasahan, tergantung pada presentase kehalusan batubara.

Tabel 2.6 Tingkat pembasahan: kehalusan vs kadar air pada permukaan batubara

Kehalusan (%)	Kadar air Permukaan (%)
10-15	4-5
15-20	5-6
20-25	6-7
25-30	7-8

Sumber: Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri di Asia -www.energyefficiencyasia.org

2.2.1.6 Pencampuran batubara

Dalam hal batubara mengandung partikel halus yang berlebihan, disarankan untuk mencampur bongkahan batubara dengan batubara yang kehalusannya berlebihan, sehingga dapat membantu membatasi tingkat kehalusan pada batubara yang dibakar tidak lebih dari 25%. Pencampuran berbagai kualitas batubara dapat juga membantu pasokan umpan batubara yang seragam ke boiler.

2.2.1.7 Pengontrolan Pembakaran

Pengontrolan pembakaran membantu *burner* dalam mengatur pasokan bahan bakar, pasokan udara, (rasio bahan bakar terhadap udara), dan menghilangkan gas-gas pembakaran untuk mencapai efisiensi boiler yang optimum. Jumlah bahan bakar yang dipasok ke *burner* harus sebanding dengan tekanan dan jumlah steam yang diperlukan. Pengontrolan pembakaran juga diperlukan sebagai alat keamanan untuk menjamin bahwa boiler beroperasi dengan aman.

Berbagai jenis pengontrol pembakaran yang digunakan adalah:

- a. Pengontrol Hidup/Mati (*On/Off*): pengontrol yang paling sederhana, *control ON/OFF* berarti bahwa *burner* bekerja pada kecepatan penuh atau *OFF*. Jenis pengontrol ini terbatas untuk boiler kecil.
- b. Pengontrol Tinggi/rendah/Mati(*high/low/off*): Sistem Tinggi/Rendah/Mati sedikit lebih rumit, dimana *burner* memiliki dua laju pembakaran. *Burner* dapat beroperasi pada laju pembakaran lebih lambat atau dapat dialihkan ke pembakaran penuh sesuai keperluan. *Burner* dapat juga kembali pada posisi pembakaran rendah pada saat beban berkurang. Pengontrol ini cocok untuk boiler berukuran sedang.

- c. Pengontrol Modulasi: Pengontrol modulasi bekerja pada prinsip untuk menyesuaikan kebutuhan tekanan *steam* dengan cara mengubah laju pembakaran pada seluruh operasi boiler. Motor-motor modulasi menggunakan hubungan mekanis konvensional atau ketup listrik untuk mengatur udara primer, udara sekunder, dan bahan bakar yang dipasok ke *burner*. Modulasi penuh berarti bahwa boiler sedang melakukan pembakaran, dan bahan bakar dan udara secara hati-hati disesuaikan sesuai kebutuhan pembakaran untuk memaksimalkan efisiensi termal.

2.2.1.8 Potensi Batubara Sebagai Sumber Energi

Potensi batubara di Indonesia terutama di Kalimantan bisa digunakan sebagai sumber energi listrik yang jumlahnya sangat melimpah. Potensi batubara di Indonesia cukup besar, per 1 Januari 2010 potensi sumber daya batubara Indonesia diperkirakan mencapai lebih dari 105 miliar ton yang terdiri atas sekitar 33% sumber daya hipotetik, 31% sumber daya terduga (*inferred*), 15% sumber daya terduga (*indicated*), dan 21% sumber daya terukur (*measured*). Sementara itu cadangan batubara yang dapat ditambang mencapai lebih 21 miliar ton.

Seiring dengan semakin meningkatnya kegiatan eksplorasi batubara, dalam satu tahun potensi sumber daya maupun cadangan batubara tersebut meningkat. Per 1 Januari 2011, potensi sumber daya batubara di Indonesia mencapai lebih dari 120 miliar ton yang terdiri atas hampir 28% merupakan sumber daya hipotetik, hampir 30% sumber daya terduga, lebih 22% sumber daya terduga, dan sekitar 20% sumber daya terukur. Sementara itu cadangan batubara yang dapat ditambang mencapai lebih dari 28 miliar ton.

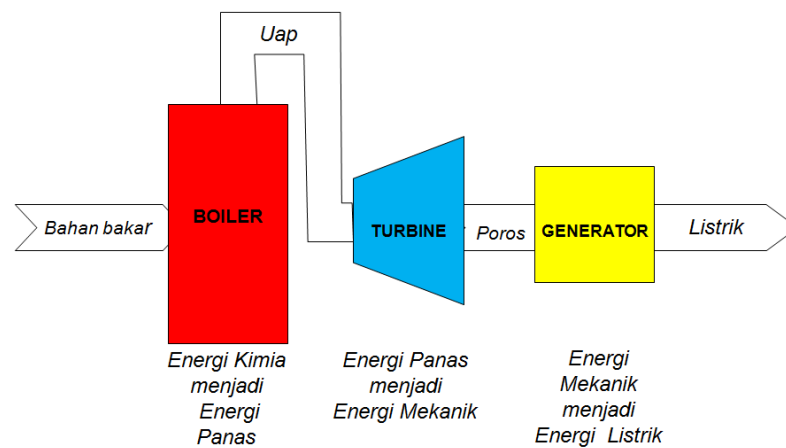
Sebagian besar atau hampir 53% dari cadangan batu bara tersebut berada di pulau Sumatera, sedangkan sisanya berada di pulau Kalimantan. Oleh karena itu kegiatan penambangan produksi batubara Indonesia terpusat di kedua wilayah tersebut. Meskipun Sumatera merupakan wilayah potensi batubara terbesar, namun untuk produksi batubara, wilayah Kalimantan menjadi sumber produksi batubara terbesar (Outlook Energi Indonesia 2013).

2.2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah salah satu sumber energi utama di Indonesia, PLTU digolongkan sebagai pembangkit listrik tenaga thermal yang mengubah energi kimia dalam bahan bakar menjadi energi listrik. Bahan bakar pada PLTU dapat berupa bahan bakar padat (batubara), cair (BBM) serta gas.

Pada PLTU dengan bahan bakar batubara. Proses konversi energi berlangsung dari batubara menjadi listrik tersebut dapat dibagi dalam 3 tahap :

1. Tahap pertama, terjadi pada boiler yang merubah energi kimia batubara menjadi uap bertekanan dan temperatur tinggi.
2. Tahap kedua, berlangsung pada turbing uap yang merubah energi uap menjadi energi putaran mekanik.
3. Tahap ketiga, pada generator yang mengubah energi putaran menjadi listrik.



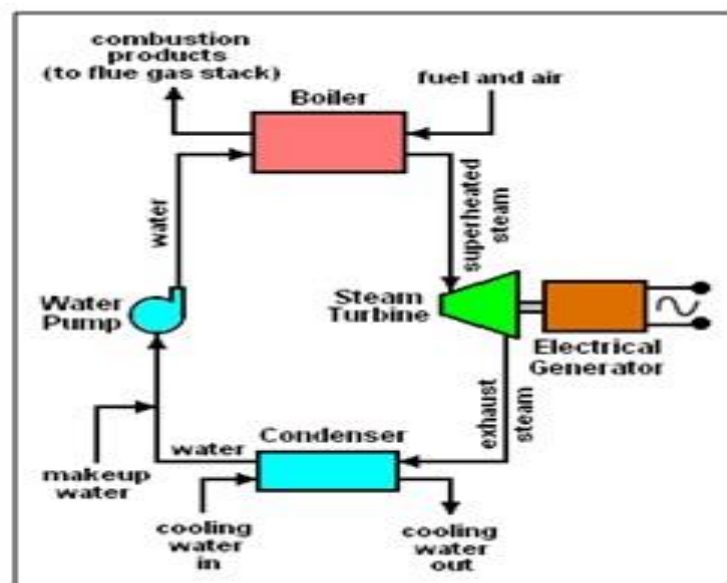
Gambar 2.4 Proses konversi energi pada pltu

Sumber: <http://rakhman.net/fungsi-dan-prinsip-kerja-pltu/>

PLTU menggunakan fluida kerja air uap yang bersirkulasi secara tertutup. Siklus tertutup artinya menggunakan fluida yang sama secara berulang-ulang. Urutan sirkulasinya secara singkat adalah sebagai berikut:

- a. Pertama air diisikan ke boiler hingga mengisi penuh seluruh luas permukaan pemindah panas. Didalam boiler air ini dipanaskan dengan gas panas hasil pembakaran bahan bakar dengan udara sehingga berubah menjadi uap.
- b. Kedua, uap hasil produksi boiler dengan tekanan dan temperatur tertentu diarahkan untuk memutar turbin sehingga menghasilkan daya mekanik berupa putaran.
- c. Ketiga, generator yang dikopel langsung dengan turbin berputar menghasilkan energi listrik sebagai hasil dari perputaran medan magnet dalam kumparan, sehingga ketika turbin berputar dihasilkan energi listrik dari terminal *output* generator.

- d. Keempat, uap bekas keluar turbin masuk ke kondensor untuk didinginkan dengan air pendingin agar berubah kembali menjadi air yang disebut kondensat. Air kondensat hasil kondensasi uap kemudian digunakan lagi sebagai air pengisi boiler.
- e. Demikian siklus ini berlangsung terus menerus dan berulang-ulang.



Gambar 2.5 Siklus fluida kerja sederhana pada PLTU

Sumber: <http://rakhman.net/fungsi-dan-prinsip-kerja-pltu/>

2.2.2.1 Bagian-bagian Utama PLTU

Bagian utama yang terdapat pada suatu PLTU yaitu :

- a. Boiler

Boiler berfungsi untuk mengubah air (feed water) menjadi uap panas lanjut (superheated steam) yang akan digunakan untuk memutar turbin.

b. Turbin uap

Turbin uap berfungsi untuk mengkonversi energi panas yang dikandung oleh uap menjadi energi putar (energi mekanik). Poros turbin dikopel dengan poros generator sehingga ketika turbin berputar generator juga ikut berputar.

c. Kondensor

Kondensor berfungsi untuk mengkondensasikan uap bekas dari turbin (uap yang telah digunakan untuk memutar turbin)

d. Generator

Generator berfungsi untuk mengubah energi putar dari turbin menjadi energi listrik.

2.2.3 Perangkat Lunak untuk Perencanaan Energi

Pada dekade terakhir perhatian terhadap isu energi semakin meningkat. Oleh karena itu, muncul banyak perangkat lunak yang dapat digunakan sebagai media dalam melakukan perencanaan energi. Developer yang menyediakan program untuk ini juga muncul dari berbagai kalangan, dari akademisi hingga pelaku usaha, dan dari yang bersifat profit sampai non-profit (akhisuhono.wordpress.com/2010).

Adapun perangkat lunak tersebut diantaranya:

a. COMPEED XL

COMPEED XL merupakan Excel berbasis biaya-manfaat dan efektivitas biaya *toolbox* untuk pribadi maupun pengambil keputusan publik. Program ini dirancang untuk melakukan berorientasi eksternalitas techno-proyek energi ekonomi analisis. Untuk pembuat kebijakan, COMPEED digunakan untuk

mempbandingkan proyek-proyek yang berbeda dan panjang, sehingga memungkinkan untuk menentukan prioritas di antara berbagai alternatif yang ada.

b. EnergiPLAN

EnergiPLAN adalah sebuah alat berbasis Windows yang dibuat untuk membantu dalam desain nasional atau regional tentang strategi perencanaan energi. Program ini menggunakan model *deterministik* masukan/keluaran. Secara umum, *inputnya* berupa data sumber energi terbarukan, kapasitas stasiun energi, biaya dan sejumlah pilihan yang berbeda menekankan pada strategi peraturan impor/ekspor dan kelebihan produksi listrik. Hasil/keluaran yang dihasilkan berupa keseimbangan energi dan hasil produksi tahunan, konsumsi bahan bakar, impor/ekspor listrik, dan biaya total termasuk pendapatan dari pertukaran listrik.

c. Energi Costing Tool

Sebagai pengakuan atas peran penting yang dimainkan energi dalam mencapai MDGs, UNDP Program Energi Berkelanjutan (*UNDP's Sustainable Energi Programme*) telah mengembangkan seperangkat alat untuk membantu perhitungan energi utama ke dalam MDGs berbasis strategi pembangunan nasional. Perangkat biaya energi telah dirancang secara khusus untuk membantu pemerintah perencana dan pengambil keputusan memperkirakan jumlah dan jenis investasi energi yang dibutuhkan untuk memenuhi MDGs.

d. ENPEP (*The Energi and Power Evaluation Program*)

ENPEP adalah satu alat analisis energi, lingkungan, dan ekonomi. ENPEP dikembangkan oleh *Argonne National Laboratory* Amerika Serikat dengan

dukungan dari US Department of Energi. ENPEP dapat digunakan untuk mengevaluasi seluruh sistem energi (penawaran dan sisi permintaan), melakukan analisis rinci dari sistem tenaga listrik, dan mengevaluasi dampak lingkungan dari strategi energi yang berbeda.

e. HOMER

Homer memiliki optimasi dan algoritma analisis sensitivitas yang dapat digunakan untuk mengevaluasi kelayakan ekonomi dan teknis dari sejumlah besar pilihan teknologi dan untuk memperhitungkan variasi dalam biaya teknologi serta ketersediaan sumber daya energi. Homer dapat memodelkan berbagai teknologi energi konvensional dan teknologi energi terbarukan. Sumber daya yang dapat dimodelkan meliputi panel surya (PV), turbin angin, mikrohidro, solar, bensin, biogas, microturbines dan bahan bakar sel.

f. LEAP (*Long-range Energi Alternatives Planning*)

LEAP adalah sebuah perangkat lunak yang sangat komprehensif dalam merencanakan energi, karena banyak variabel yang bisa menjadi *input* variabel seperti pendapatan (PDRB), populasi, teknologi, hingga proyeksi permintaan serta pemenuhannya dalam kurun waktu yang ditetapkan. Untuk penjelasan lebih lengkapnya tentang perangkat lunak LEAP ini akan dibahas di bagian lain dalam bab ini.

g. MESSAGE

MESSAGE digunakan untuk merumuskan dan mengevaluasi strategi pasokan energi alternatif yang ditetapkan pengguna dengan kendala fisik. MESSAGE sangat

fleksibel dan dapat juga digunakan untuk menganalisa energi/listrik pasar dan isu perubahan iklim. Tidak seperti model optimasi lain, aplikasi ini tidak memerlukan pembelian GAMS, atau solver komersial. Di dalamnya sudah tersedia *Linear Programming* (LP) sebagai *solver* gratis.

h. RETScreen

RETScreen *International Clean Energi Project Analysis Software* dapat digunakan di seluruh dunia untuk mengevaluasi produksi energi, biaya siklus hidup dan pengurangan emisi gas rumah kaca untuk berbagai jenis hemat energi dan teknologi energi terbarukan. *The RETScreen International Online Product Database* menyediakan akses informasi ke lebih dari 1.000 produsen teknologi energi bersih di seluruh dunia, termasuk situs web dan internet langsung link dari dalam perangkat lunak dan RETScreen dari Situs *Marketplace*.

i. SUPER

SUPER adalah model yang berguna untuk studi perencanaan koneksi energi dalam kurun waktu beberapa tahun. Parameter yang digunakan seperti *hydro-risk*, *fitur reservoir*, pertumbuhan permintaan, karakteristik parameter per jam, konservasi energi dan program pengelolaan beban, biaya bahan bakar, periode pelaksanaan proyek, interkoneksi, dll. Namun perangkat lunak ini hanya bisa diaplikasikan untuk jangka pendek saja.

j. TIMES/MARKAL

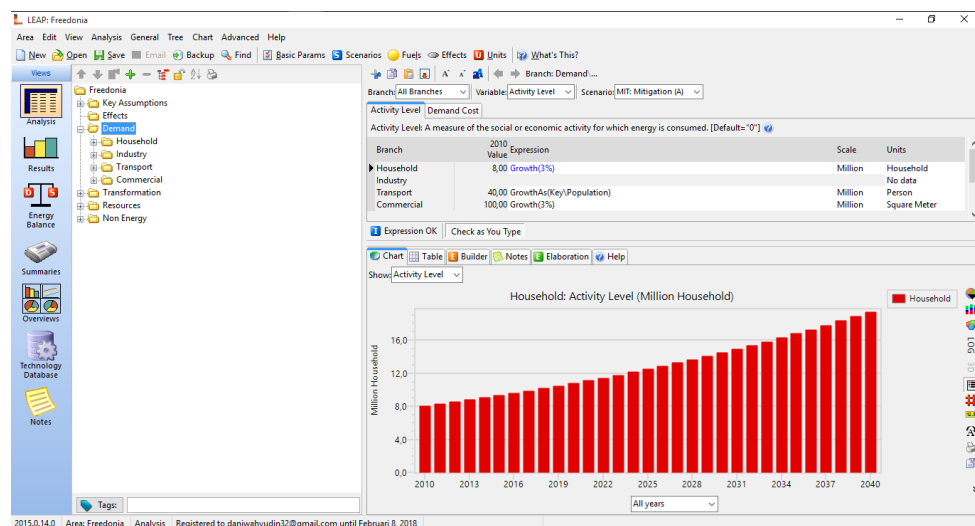
MARKAL (*Market Allocation*) adalah perangkat untuk pemodelan terkait dengan energi, ekonomi dan lingkungan. Hal ini dikembangkan sebagai upaya

kolaborasi yang berada di bawah pengawasan Badan Energi Internasional Teknologi Energi Program Analisis Sistem (ETSAP). MARKAL adalah model generik yang disesuaikan dengan data *input* untuk mewakili perubahan selama periode tertentu. Banyak model yang terpadu di dalam perangkat lunak ini sehingga akan memperoleh banyak pilihan alternatif.

2.2.4 Perencanaan Energi menggunakan LEAP

Long-range Energi Alternatives Planning atau yang biasa disingkat menjadi LEAP adalah alat pemodelan dengan skenario terpadu berbasis pada lingkungan dan energi. LEAP mampu merangkai skenario berdasarkan asumsi skenario yang pengguna inginkan, skenario tersebut didasarkan pada perhitungan dari proses pengkonversian bahan bakar menjadi energi hingga proses energi tersebut dikonsumsi oleh masyarakat. LEAP merupakan model yang mempertimbangkan penggunaan akhir energi (*end-use*) sehingga memiliki kemampuan untuk memasukkan berbagai macam teknologi dalam penggunaan energi. Keunggulan LEAP dibanding perangkat lunak perencanaan/pemodelan energi-lingkungan yang lain adalah tersedianya sistem antarmuka (*interface*) yang menarik dan memberikan kemudahan dalam penggunaannya serta tersedia secara cuma-cuma (*freeware*) bagi masyarakat negara berkembang (Wijaya,2009). Selain itu, menurut Oetomo Tri Winarno LEAP mudah dipahami, mudah dipelajari, mudah diperoleh dan secara teknis cukup baik. LEAP telah digunakan pada program CAREPI (*Contributing to Poverty Allevation through Regional Energi Planning in Indonesia*) karena memenuhi kriteria tersebut.

LEAP dikembangkan oleh Stockholm Environment Institute, Boston, USA. Dan telah digunakan di banyak Negara di benua eropa, terutama negara-negara berkembang karena perangkat ini dapat melakukan simulasi untuk pemenuhan sumber energi dari biomasa. Indonesia melalui Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) menerbitkan *e-book* Kajian Indonesia Energi Outlook 2012 dan Outlook Energi Indonesia 2014 yang menggunakan LEAP sebagai alat bantu analisis perencanaan permintaan-penyediaan energi di Indonesia.



Gambar 2.6 Tampilan Layar LEAP

Pertama kali menjalankan LEAP layar yang muncul seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.6, Layar LEAP terdiri atas beberapa bagian, yaitu :

- Baris teratas terdapat tulisan LEAP dan nama file yang sedang dibuka.
- Baris kedua adalah menu-menu utama (main menu); *Area, Edit, View, General, tree,* dan *Help*.
- Baris ketiga adalah *main toolbar; New, Save, Fuels, Effects, Units, References,* dan sebagainya.

- d. *View bar* adalah menu vertikal di sisi kiri layar, yang terdiri atas: *Analysis*, *Result*, *Energi Balance*, *Summaries*, *Overviews*, *Technology Database*, dan *Notes*.
- e. Kolom di sebelah *view bar* adalah tempat untuk menuliskan diagram pohon (*Tree*). Pada baris paling atas dari kolom ini terdapat toolbar untuk membuat/mengedit *Tree*.
- f. Kolom berikutnya terdiri atas tiga bagian, yaitu: (a) *toolbar* untuk membuat/meng-edit skenario, (b) bagian untuk memasukkan data, dan (c) tampilan *input* data.
- g. Baris terbawah adalah status bar, yang berisi: nama file yang sedang dibuka, *view* yang sedang dibuka, dan status *registrasi*.

Dalam LEAP terdapat 4 modul utama yaitu *Modul Driver Variable*, *Demand*, *Transformation* dan *Resources*.

a. Modul Variabel Penggerak (*Driver Variable*)

Modul ini digunakan untuk menampung parameter-parameter umum yang dapat digunakan pada Modul Permintaan maupun Modul Transformasi. Parameter umum ini misalnya jumlah penduduk, jumlah rumah tangga, dan sebagainya. Modul Variabel Penggerak bersifat komplemen terhadap modul lainnya.

b. Modul Permintaan (*Demand*)

Modul ini digunakan untuk menghitung permintaan energi. Metode analisis yang digunakan dalam model ini didasarkan pada pendekatan *end-use* (pemakai akhir) secara terpisah untuk masing-masing sektor pemakai sehingga diperoleh jumlah permintaan energi per sektor pemakai dalam suatu wilayah pada rentang waktu

tertentu. Informasi mengenai variabel ekonomi, demografi dan karakteristik pemakai energi dapat digunakan untuk membuat alternatif skenario kondisi masa depan sehingga dapat diketahui hasil proyeksi dan pola perubahan permintaan energi berdasarkan skenario-skenario tersebut.

c. Modul Transformasi (*Transformation*)

Modul ini digunakan untuk menghitung pasokan energi. Pasokan energi dapat terdiri atas produksi energi primer (misalnya gas bumi, minyak bumi dan batubara) dan energi sekunder (misalnya listrik, premium, solar, LPG, briket batubara dan arang). Susunan cabang dalam Modul Transformasi sudah ditentukan strukturnya, yang masing-masing kegiatan transformasi energi terdiri atas *processes* dan *output*.

d. Modul Sumber Daya Energi (*Resources*)

Modul ini terdiri atas *Primary* dan *Secondary Resources*. Kedua cabang ini sudah default. Cabang-cabang dalam Modul Resources akan muncul dengan sendirinya sesuai dengan jenis-jenis energi yang dimodelkan dalam Modul Transformation. Beberapa parameter perlu diisikan, seperti jumlah cadangan (misalnya minyak bumi, gas bumi, batubara) dan potensi energi (misalnya tenaga air, biomasa).