

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka.

Penelitian tentang pengembangan potensi biomassa telah banyak dilakukan pada berbagai tempat, penelitian-penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya dijadikan sebagai rujukan dalam mendukung penulisan tugas akhir ini, diantaranya:

Adiprasetya, R (2010) dengan judul penelitian Peran Sumber Energi Terbarukan dalam Penyediaan Energi Listrik dan Penurunan Emisi CO₂ di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Dalam penelitian ini menggunakan model pengembangan skenario energi terbarukan menggunakan perangkat lunak *Long-range Energy Alternative Planning* (LEAP). Potensi energi yang coba dioptimalkan dalam penyediaan energi listrik pada penelitian ini antara lain radiasi matahari, energi angin, dan *Micro Hydro Power Plant* (MHPP) [1]

Haluti, Siradjuddin (2015) melakukan penelitian tentang Pemanfaatan Potensi Limbah Tongkol Jagung Sebagai Syngas Melalui Proses Gasifikasi di Wilayah Provinsi Gorontalo, penelitian ini didasari oleh tingginya potensi jagung yang terdapat pada daerah gorontalo dengan menggunakan Metode pengumpulan data, pengolahan data dan analisis data. Hasil potensi bahan bakar yang dihasilkan dari pemanfaatan limbah tongkol jagung pada wilayah Provinsi Gorontalo dapat mencapai total rata-rata sebesar 72.931 ton limbah tongkol jagung. Dengan cara mengolah hasil limbah tongkol jagung melalui proses Syngas atau mengubah bahan baku menjadi gas dapat dihasilkan bahan bakar sebesar 92.852 ton [2]

Susanto. Rudy, dkk (2014) melakukan sebuah penelitian dan studi kasus tentang keberlangsungan ketersediaan bahan baku biomassa limbah

sekam padi pada proyek biomassa power plant dengan kapasitas 1 x 7,5 MW di daerah lombok, NTB. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui keberlangsungan ketersediaan bahan baku limbah sekam padi sebagai bahan baku pembangkit energi listrik di NTB. Pada penelitian ini dihasilkan bahwa Keberlanjutan ketersediaan bahan baku sekam padi di wilayah NTB adalah sebesar 422.846 ton per tahun dan biaya transportasi limbah sekam padi dari sumber ke pembangkit listrik di Lombok Tengah sebesar Rp. 786,866,500 per tahun, Sistem desain pembangkit listrik biomassa berbahan baku sekam padi menggunakan konsep *Biomass PowerPlant Small Scale* dengan teknologi Boiler CFB (*Circulating Fluidized Bed*). Hasil perhitungan dalam penelitian menunjukkan finansial diperoleh nilai *Net Present Value* (NPV) sebesar Rp 2,220,803,940,046.01, nilai *Payback Periods* (PP) selama 3,48 tahun, nilai *Profitability of Index* (PI) sebesar 15,02, nilai *Internal Rate of Return* (IRR) 22,78%, analisis sensitivitas sebesar 1,1% dengan kenaikan biaya operasional sebesar 10% pada nilai NP. [3]

Haris Lukum, Ishak Isa, Mangara Sihaloho. (2012) melakukan penelitian mengenai Pemanfaatan arang briket limbah tongkol jagung sebagai bahan bakar alternatif, dengan menggunakan metode pengumpulan dan pengolahan sampel, pendaratan tongkol jagung dan pencetakan briket kemudian dilakukan analisis proksimasi dengan penentuan kadar air, kadar abu, Dekomposisi senyawa *volatil*, dan nilai kalor. Pengujian fisik dan karakteristik pembakar briket pada tungku briket. dari penelitian yang telah dilakukan di dapatkan hasil bahwa pengujian analisis proksimasi sifat fisik dan kimia, maka briket arang tongkol yang memiliki kualitas yang baik adalah briket dengan perbandingan 1:3. Yang memenuhi mutu standar briket yang beredar dipasaran dan memiliki keunggulan nilai dekomposisi senyawa *volatile* dan nilai kalor yang tinggi, dibandingkan dengan briket standar SNI, impor, standar briket Inggris, standar briket Jepang dan Amerika. [4]

Iskandar dan Siswati (2012) dengan judul penelitian Pemanfaatan Limbah Pertanian sebagai Energi Alternatif Melalui Konversi Thermal. Penelitian ini dilakukan karena melihat adanya potensi limbah pertanian berupa jagung yang berpotensi sebagai sumber energi alternatif yang belum dimaksimalkan untuk menghasilkan sumber energi listrik penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode gasifikasi dalam pemanfaatan biomassa menjadi sumber energi listrik. Gas hasil gasifikasi terdiri dari gas-gas mudah terbakar yaitu CO , H_2 , CH_2 . Gas hasil biomassa tergolong dalam gas bahan bakar berkualitas rendah (dibandingkan dengan panas pembakaran gas alam 32000 kJ/m^2). Gas hasil biomassa akan digunakan untuk mengoperasikan motor diesel motor bensin atau alat pemansan dan pengeringan.[5]

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Biomassa

A. Pengertian Biomassa

Biomassa merupakan bahan yang diperoleh dari tanaman baik secara langsung maupun tidak langsung serta dimanfaatkan sebagai energi atau bahan dalam jumlah yang besar. Terdapat beberapa macam sumber daya biomassa seperti spesies tanaman, yang terdapat pada daratan maupun lautan, berbagai sumber pertanian, perhutanan, limbah industri, sampah kota dan kotoran hewan. Perkebunan dalam skala besar akan menjadi salah satu potensi besar bagi pembangkitan energi biomassa. Biomassa secara spesifik berarti kaya ,serbuk gergaji, serpihan kayu, jerami, sekam padi, sampah dapur, kotoran hewan dan lain-lain. Sedangkan untuk biomassa jenis perkebunan dapat berupa padi, tongkol jagung, kelapa sawit, tebu, dan lain-lain. Biomassa biasanya digunakan untuk bahan bakar. Sumber energi biomassa merupakan sumber energi yang dapat diperbaharui (*renewable*), serta dapat menyediakan energi secara terus menerus (*sustainable*).

Biomassa merupakan sumber energi potensial, yang dihasilkan dari kekayaan alam. Biomassa dapat di manfaatkan untuk menghasilkan energi listrik maupun panas dengan proses teknologi. Biomassa seperti kayu yang dihasilkan dari kegiatan industri pengolahan hutan, perkebunan, limbah biomassa pertanian yang sangat besar jumlahnya pada saat ini juga belum dimanfaatkan sebagai bahan baku biomassa.

Energi biomassa dapat dijadikan salah satu sumber energi alternatif yang dapat dimanfaatkan dalam menekan penggunaan bahan bakar fosil, hal ini mengacu pada beberapa sifatnya yang dimilikinya seperti memiliki sifatnya yang dapat diperbaharui dan ramah lingkungan, relatif tidak mengandung unsur sulfur sehingga tidak menyebabkan polusi udara dan juga dapat meningkatkan efisiensi pemanfaatan sumber daya hutan dan pertanian. Manusia awalnya menggunakan biomassa sebagai sumber energi sebelum bahan bakar fosil digunakan. Misalnya dengan memakai kayu untuk menyalakan api. Seiring dengan perkembangan teknologi manusia mulai beralih pada minyak, gas bumi atau batu bara untuk menghasilkan tenaga, yang menjadikan penggunaan biomassa mulai ditinggalkan. Tetapi cadangan bahan bakar fosil sangat terbatas. Para ilmuwan memperkirakan setiap tahun bahan bakar fosil berkurang dan lama kelamaan akan habis. Karena itu penggunaan sumber energi alternatif seperti biomassa mulai di jadikan salah satu solusi. Pada saat ini di Indonesia telah mempunyai Pembangkit Listrik Sumber Energi Terbarukan pada daerah gorontalo, jagung dimanfaatkan sebagai sumber utama dalam pembangkitan energinya. Energi tersebut tergolong energi ramah lingkungan yang bahan dasarnya disediakan alam.

B. Konversi Biomassa

Dalam pengkonversian biomassa dapat digunakan beberapa teknologi sebagai usaha dalam peningkatan kualitas sesuai dengan tujuan penggunaan dari bahan baku biomassa itu sendiri.

1. **Konversi fisika** adalah proses untuk mengurangi struktur biomassa dengan tujuan untuk meningkatkan luas permukaan sehingga proses selanjutnya dapat di percepat (*Kimia dan thermal*). Proses ini juga meliputi pemisahan, ekstraksi, penyulingan dan sebagainya untuk mendapatkan bahan berguna dari biomassa serta proses pemanpatan, pengeringan atau kontrol kelembaban dengan tujuan membuat biomassa lebih mudah diangkut dan disimpan. Teknologi konversi fisika sering digunakan pada perlakuan pendahuluan untuk mempercepat proses utama.
2. **Konversi kimia** meliputi *hidrolisis*, oksidasi parsial, pembakaran, karbonisasi, pirolisis, reaksi hidrotermal untuk penguraian biomassa, serta sintesis, polimerisasi, hidrogenesis untuk membangun molekul baru atau pembentukan kembali biomassa. Penghasilan elektron dari proses oksidasi biomassa dapat digunakan pada sel bahan bakar untuk menghasilkan listrik.
3. **Konversi biologi** adalah proses fermentasi seperti fermentasi etanol, fermentasi metana, fermentasi aseton butana, fermentasi hidrogen, dan perlakuan enzimatis yang berperan penting pada penggunaan bioetanol generasi kedua. Aplikasi proses fotosintesis dan fotolisis akan menjadi lebih penting untuk memperbaiki sistem biomassa menjadi lebih baik.

Kalor pembakaran yang dihasilkan dari biomassa diubah menjadi energi mekanis melalui daur ulang panas seperti : Daur Otto (untuk mesin bensin), Daur Diesel (untuk mesin diesel), Daur Rankine (mesin uap), Daur bryton (turbin gas) dan lain-lain. Pembangkit listrik dengan induksi elektromagnetik dapat digunakan untuk merubah energi mekanis menjadi energi listrik. [1]

Secara umum pengkonversian biomassa dapat dilakukan berbagai alternatif jalur konversi yang dapat dilakukan dalam pemanfaatan biomassa dan limbah biomassa sebagai sumber energi. Berikut beberapa cara dalam pengkonversian biomassa:

1. Konversi dengan cara mikrobiologis.

Dalam konversi dengan cara mikrobiologis proses pengkonversian membutuhkan bakteri sebagai pemegang peranan penting dalam pengkonversian energinya. Bakteri akan berperan dalam menguraikan bahan biomassa berupa limbah dan akan menghasilkan gas yang dapat di jadikan sebagai bahan bakar alternatif. Pada proses ini menghasilkan gas berupa metana (CH_4), karbon dioksida (CO_2) serta beberapa gas lain dalam jumlah yang kecil seperti H_2 , N_2 , dan H_2S . Proses ini bisa dibagi menjadi dua macam yaitu *anaerobic digestion* kering dan *anaerobic digestion* basah. Perbedaan dari kedua proses *anaerobik* ini adalah kandungan biomassa dalam campuran air. pada *anaerobik* kering memiliki kandungan biomassa 25 – 30% sedangkan untuk biomassa jenis basah memiliki kandungan air 15%. Contoh konversi dengan cara ini antara lain adalah pembuatan gas biogas dari limbah biomassa (sampah, tinja, kotoran ternak, limbah pertanian) dan pembuatan etanol dari bahan pati. Pembuatan biogas, biomassa dalam digester diuraikan menjadi metan (CH_4) dan berbagai gas lain serta air. Sedangkan pada pembuatan etanol dari bahan pati, biomassa dengan kadar pati tinggi difermentasi menjadi etanol (alcohol).

2. Konversi dengan cara pirolisa

Pirolisa merupakan pengkonversian dengan cara memanaskan limbah padat pada suhu sekitar 500°C di atmosfer dengan kadar oksigen yang sedikit atau rendah, serta gas sisa yang

dihasilkan dari proses ini akan dibakar pada suhu diantara 1200°C dan 1500°C untuk mencairkan abunya.[10]

Pirolisis seringkali digunakan dalam industri kimia, seperti, untuk menghasilkan arang, karbon aktif, metanol serta bahan kimia lainnya dari bahan kayu, untuk mengubah *ethylene dichloride* ke *vinil klorida* untuk membuat PVC, untuk memproduksi kokas dari batubara, mengubah biomassa menjadi gas sintesis, mengubah limbah menjadi bahan sekali pakai dengan aman, dan untuk retak menengah-berat hidrokarbon dari minyak untuk memproduksi lebih ringan yang seperti bensin.

3. Konversi dengan cara gasifikasi

Gasifikasi adalah teknologi proses penkonversian bahan padat menjadi gas yang mudah terbakar. Yang dimaksud dengan bahan bakar misalnya, biomassa, batubara, dan arang yang mengandung karbon (C), sedangkan gas yang dimaksud adalah gas-gas yang dihasilkan dari proses gasifikasi seperti CO, H₂, dan CH₄. Melalui gasifikasi, kita dapat mengkonversi hampir semua bahan organik kering menjadi bahan bakar, sehingga dapat menggantikan bahan bakar fosil sebagai sumber bahan bakar. Bahan baku untuk proses gasifikasi dapat berupa limbah biomassa, yaitu potongan kayu, tempurung kelapa, sekam padi maupun limbah pertanian lainnya. Dalam pengkonversian gasifikasi memiliki beberapa tahapan dalam mengolah bahan baku menjadi bahan bakar. Berikut tahapan-tahapan dalam gasifikasi

a. Tahap pengeringan.

Karna adanya pemanasan yang akan mengakibatkan, biomassa mengalami pengeringan pada temperatur sekitar 100°C.

b. Tahap *pirolisis*.

Jika temperatur mencapai sekitar 250°C, biomassa mulai mengalami proses pirolisis yaitu pemecahan molekul besar menjadi molekul-molekul kecil yang dipengaruhi oleh pengaruh temperatur tinggi. Proses ini berlangsung sampai temperatur 500°C. Hasil dari proses pirolisis ini dapat berupa arang, uap air, uap tar, dan gas-gas.

c. Tahap reduksi.

Pada temperatur di atas 600°C arang bereaksi dengan uap air dan karbon dioksida sehingga menghasilkan hidrogen dan *karbon monoksida* sebagai komponen utama gas hasil.

d. Tahap *oksidasi*.

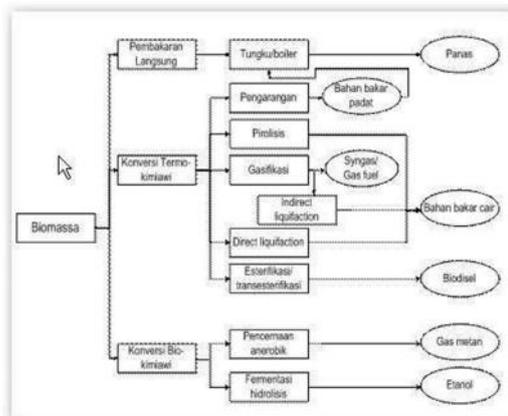
Sebagian kecil hasil pirolisis atau biomassa dibakar dengan udara untuk menghasilkan panas yang digunakan untuk ketiga tahapan di atas. Proses *oksidasi* (pembakaran) ini dapat mencapai temperatur 1200°C, yang berguna untuk proses perekahan tar lebih lanjut.

4. Konversi dengan cara densifikasi

Densifikasi adalah teknik pengkonversian biomassa menjadi pellet atau briket. Tujuan dari briket sendiri untuk meningkatkan kerapatan dan memudahkan penyimpanan serta pengangkutan. Proses ini dapat membuat nilai kalori meningkat per unit volume, serta mudah disimpan dan diangkut, selain itu juga mempunyai ukuran, dan kualitas yang seragam.

5. Konversi dengan cara pembakaran

Pada prinsipnya pembakaran bahan bakar merupakan reaksi antara kimia bahan bakar dengan *oksigen* (*O*). Bahan bakar secara umum mengandung unsur *Karbon* (*C*), *Hidrogen* (*H*) dan *Belerang* (*S*). Akan tetapi yang memiliki peran penting terhadap energi yang dilepaskan adalah *C* dan *H*. Setiap bahan bakar mempunyai kandungan unsur *C* dan *H* yang beragam. Proses pembakaran terdiri dari dua jenis yaitu pembakaran lengkap (*complete combustion*) dan pembakaran tidak lengkap (*incomplete combustion*). Pembakaran sempurna terjadi apabila seluruh unsur karbon yang bereaksi dengan oksigen hanya akan menghasilkan CO_2 , seluruh unsur *hidrogen* menghasilkan H_2O dan seluruh sulfur menghasilkan SO_2 . Pembakar sempurna sangat diharapkan dalam pembangkitan energi, sedangkan pembakaran tak sempurna terjadi apabila seluruh unsur carbon yang dikandung dalam bahan bakar bereaksi dengan *oksigen* tetapi gas yang dihasilkan tidak seluruhnya CO_2 . Adanya gas CO pada hasil pembakaran menunjukkan bahwa pembakaran berlangsung secara tidak lengkap.



Gambar 2.1 Skema Konversi Biomassa.

C. Manfaat Biomassa.

Biomassa bahan organik berbentuk produk maupun buangan yang dihasilkan melalui proses fotosintesis. Biomassa ini merupakan bahan biologis yang berasal dari organisme yang belum lama mati seperti tumbuhan, hewan dan lain-lain. Contoh biomassa ini yaitu tanaman, rerumputan, ubi, limbah pertanian seperti tongkol jagung, jerami, sekam, limbah hutan seperti serbuk gergaji, tinja, kotoran temak, dan lain-lain.

a. Sebagai sumber energi

Biomassa yang dijadikan sumber energi atau bahan bakar umumnya adalah biomassa yang nilai ekonomisnya rendah dan merupakan limbah setelah produk utamanya dimanfaatkan. Sumber energi biomassa ini memiliki kelebihan diantaranya sebagai sumber energi yang dapat diperbarui atau renewable dan menjadi sumber energi yang ketersediaannya berkelanjutan (*sustainable*). Meskipun sifat biomassa ini terbarukan tetapi ini tidak berarti bahwa biomassa merupakan sumber energi yang ramah pada lingkungan secara keseluruhan. Energi dari biomassa ini dibuat dari hasil pengkonversian bahan biologis seperti tanaman. Potensi biomassa di Indonesia sangat melimpah, mulai dari limbah dari hewan maupun tumbuhan, semuanya bisa dikembangkan. Agar biomassa dapat dimanfaatkan menjadi sumber energi maka harus dikonversi menggunakan teknologi. Umumnya teknologi konversi yang mengubah biomassa menjadi sumber energi ini dibagi menjadi tiga yaitu melalui pembakaran langsung, konversi termokimia memerlukan adanya energi panas untuk memicu terjadinya reaksi kimia untuk menghasilkan bahan bakar, dan pengkonversian biokimiawi yang menggunakan bantuan mikroba dalam menghasilkan bahan bakarnya.

b. Meningkatkan kualitas air dan udara

Ketika energi biomassa banyak digunakan untuk menggantikan bahan bakar fosil maka hal ini dapat meningkatkan kualitas udara karena polusi berkurang. Penggunaan bahan bakar fosil telah diklaim sebagai penyebab hujan asam, sedangkan energi biomassa tidak menghasilkan emisi *sulfur* sehingga akan mengurangi peluang hujan asam. Dari sinilah, kualitas air yang ada di bumi dapat meningkat dan peradaban manusia berkurang dari polusi. Pembakaran biomassa pada broiler dapat meminimalkan efek dari polusi asap yang dihasilkan sehingga penggunaannya akan lebih aman serta efisien.

c. Meminimalisir limbah *organik*

Tidak bisa dipungkiri bahwa keberadaan bahan organik di lingkungan akan semakin menumpuk, mulai dari limbah dapur, limbah kota, pengolahan kayu serta limbah kayu dan lainnya. Jika limbah-limbah tersebut tidak dimanfaatkan dan hanya dibuang begitu saja justru akan menghasilkan gas berbahaya seperti metana. Maka untuk itulah perlu dilakukan proses karbonasi untuk meningkatkan kadar kalor serta meminimalkan kadar emisi dari limbah organik tersebut melalui pemanfaatan biomassa, salah satu caranya dengan membuat briket.

d. Dapat mengurangi efek rumah kaca

Gas rumah kaca saat ini masih menjadi masalah bagi masyarakat. Efek rumah kaca ini disebabkan oleh kadar gas seperti *nitrogen oksida, metana, karbon dioksida* serta gas-gas lainnya yang terdapat pada atmosfer sangat tinggi. sehingga dapat mengakibatkan peningkatan suhu temperatur di atmosfer menjadi sangat panas. Sementara dengan memanfaatkan sumber biomassa atau tanaman dapat memicu pengurangan konsentrasi *karbon*

dioksida sehingga akan mengurangi efek gas rumah kaca. Sumber energi biomassa ini memiliki jumlah bersih CO² yang hampir nol sehingga tidak berkontribusi pada peningkatan emisi rumah kaca.

- e. Mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil.

Dengan semakin berkembangnya populasi dan kemajuan teknologi akan mengakibatkan kebutuhan akan sumber energi juga semakin meningkat. Dengan semakin meningkatnya kebutuhan akan tenaga listrik energi biomassa dapat dijadikan sebagai salah satu alternatif dalam menghasilkan energi listrik selain ramah lingkungan penggunaan biomassa juga dapat mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil yang ketersediannya semakin menipis di setiap tahunnya.

D. Sumber-Sumber Biomassa

Biomassa merupakan energi terbarukan yang bahan baku utamanya bersal dari tumbuhan yang ketersediannya melimpah karna dapat diproduksi kembali, selain itu sumber biomassa bisa berupa sampah kota maupun limbah produksi. Berikut beberapa sumber biomassa :

- a. Limbah pertanian

Limbah pertanian merupakan bahan sisa produksi para petani ini seperti jerami, ampas tebu, tempurung kelapa, dan lain-lain. Pemanfaatan limbah pertanian sebagai energi biomassa umumnya memanfaatkan hasil pembakaran limbah untuk menghasilkan panas yang digunakan untuk menghasilkan listrik.

- b. Biogas

Biogas dihasilkan dari penguraian bahan organik seperti kotoran manusia, tanaman mati, kotoran ternak dan lain-lain. Setelah semua bahan organik tersebut diuraikan melalui proses

fermentasi dengan memanfaatkan bantuan *mikroorganisme anaerobic* untuk menghasilkan karbon dioksida dan metana maka akan menghasilkan gas yang dapat digunakan sebagai bahan bakar seperti menyalakan kompor.

c. Tanaman energi.

Tanaman energi ini biasanya sengaja dibudidayakan dalam skala besar untuk menghasilkan bahan bakar, diantaranya jagung, kedelai, rami dan gandum. Dalam proses pembakaran, tanaman ini akan menghasilkan berbagai bahan bakar seperti *butanol, etanol, metanol, propanol, dan biodiesel*.

d. Kayu

Kayu merupakan perwujudan sederhana dari biomassa karena kayu yang dibakar menjadi bahan bakar yang dapat digunakan langsung. Dalam skala besar, kayu dapat digunakan untuk produksi listrik seperti pembangkit listrik tenaga uap. Dengan adanya peningkatan konsumsi energi serta semakin menipisnya cadangan energi fosil dunia, maka beberapa pengembangan terhadap energi baru dan terbarukan akan sangat dibutuhkan demi mencukupi kebutuhan energi. Indonesia merupakan negara agraris yang terletak di daerah khatulistiwa. Indonesia merupakan negara yang kaya akan potensi bioenergi yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan dalam bentuk cair (*biodiesel, bioethanol*), gas (biogas), maupun bahan bakar padat untuk pembangkitan energi listrik. berdasarkan data yang dihimpun oleh Dewan Energi Nasional pada tahun 2014, Potensi energi yang berasal dari sumber biomassa diperkirakan mencapai 32.654 Mw, pemanfaatan sumber energi dari biomassa hanya mencapai 5,26% atau sebesar 1.717 Mw dari potensi yang

tersedia. Berikut beberapa contoh limbah pertanian yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber biomassa

e. Kelapa sawit

Kelapa sawit merupakan tanaman penghasil minyak yang dikelola secara industri, Indonesia sendiri perkebunan kelapa sawit banyak di temukan pda daerah kalimantan. Kelapa sawit produk utama yaitu minyak sawit serta menghasilkan limbah berupa serat, cangkang, tandan kosong, dan limbah cair. Berikut beberapa komposisi kimia yang terdapat pada kelapa sawit:

Tabel 2.1 Komposisi Kimia Pada Kelapa Sawit

Komposisi	Persentase
Air	10,65%
Protein	0,96%
Lemak	0,37%
Abu	0,68%

Sumber : Ridwansyah,dkk, 2007

f. Tongkol jagung

Tongkol jagung merupakan limbah yang di hasilkan dari jagung, pada saat proses pengolahan hasil panen jagung menghasilkan jagung pupil yang merupakan produk utama sedangkan produk samping berupa tongkol jagung. Tongkol jagung memiliki kandungan karbon yang tinggi. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk mengeringkan 6 ton jagung dari kadar air 32.5% sampai 13.7% bb selama 7 jam diperlukan sekitar 30 kg tongkol jagung kering per jam (Alkuino 2000).

Tabel 2.2 Komposisi Kimia Pada Tongkol Jagung

Komposisi	Persentase
Kadar Air	13.9%
Abu	2.30%
Karbon	43.42%
Hidrogen	6.32%
Oksigen	46.69%
Nitrogen	0.67%
Sulfur	0.07%

Sumber: Fachry,2013

g. Sekam padi

Sekam padi merupakan lapisan keras yang menutupi bulir beras dengan kata lain sekam padi merupakan bagian yang melindungi bulir beras, bagian ini tidak dapat dikonsumsi. Pada saat proses penggilingan maka bagian sekam padi dan bulir akan terpisah, Sekam padi memiliki beberapa komposisi zat kimia, berikut beberapa zat yang terkandung dalam sekam padi.

Tabel 2.3 Komposisi Kimia Pada Sekam Padi

Komposisi	Persentase
Karbon	1.33 %
Hidrogen	1.54 %
Oksigen	33.64 %
Silika	16.98 %

Sumber : DTC-IPB

RPR (*Residue to Product Ratio*) adalah nilai dari rasio antara berat residu di bandingkan dengan berat jumlah produksi jagung. Sedangkan SAF (*Surplus Availability Factor*) adalah berat biomassa yang dapat

dibangkitkan dari residu. Nilai kalor merupakan nilai kalor yang di hasilkan dari hasil pembakaran biomassa, nilai-nilai tersebut akan berbeda di setiap jenis residu.

Tabel 2.4 Nilai RPR, SAF dan Nilai Kalor Perjenis Residu

No	Jenis	Residu	RPR	SAF	Nilai Kalor kkal/kg
1	Jagung	Tongkol	0,250	0,670	4451
2	Padi	Sekam	0,230	0,469	3350
		Jerami	0,447	0,684	2800

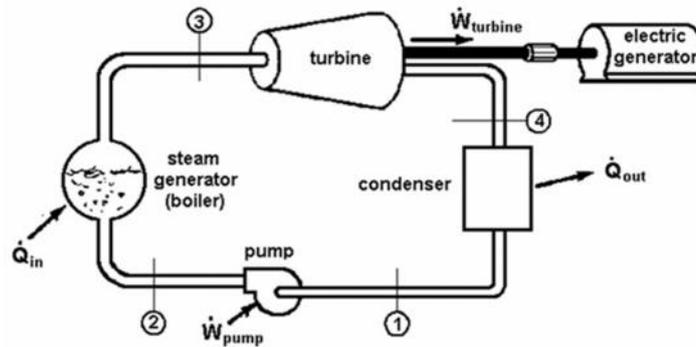
Sumber : Bhattachaya et al. (1989); Koopmans and Koppejan, 1997

2.2.2 Jenis – Jenis Pembangkit Listrik

2.2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

A. Prinsip Kerja

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan salah satu pembangkit konvensional yang memanfaatkan energi dari hasil pembakaran beberapa jenis bahan bakar misalnya gas, minyak, batu bara serta biomassa yang digunakan sebagai bahan utama untuk memanaskan air dalam *boiler* yang kemudian akan menghasilkan uap yang akan menggerakkan turbin uap karena turbin dan generator berada dalam satu poros maka turbin akan memutar generator sehingga menghasilkan energi listrik, energi listrik terbentuk karena adanya perubahan energi dari uap yang dikonversikan menjadi energi mekanis sebagai penggerak generator, kemudian generator akan mengubah energi magnetik menjadi energi listrik. seperti terlihat pada gambar berikut :



Gambar 2.2 Prinsip Kerja PLTU

Secara singkat prinsip kerja Pembangkit Listrik Tenaga Uap dapat di jelaskan sesuai gambar di atas:

- (1) Merupakan proses pemompaan air ke dalam *boiler* dari *condenser*
- (2) Merupakan proses penerimaan air yang telah di pompa dan di panaskan di dalam boiler, lalu di uap dan energi panas yang di hasilkan di salurkan menuju ke *turbine*.
- (3) Uap yang telah dihasilkan dari proses pemanasan air akan memutar turbin yang seporos dengan genarator dan akan merubah energi panas menjadi energi mekanik yang menggerakkan turbin dan menghasilkan energi listrik oleh generator.
- (4) Uap akan melepaskan energi panas di dalam *condender* dan kembali menjadi air.

B. Komponen – Komponen Utama PLTU

Pembangkit listrik tenaga uap mempunyai beberapa komponen utama sebagai penunjang dalam pembangkitan energi listrik. Berikut ini adalah komponen-komponen utama yang terdapat pada instalasi pembangkit listrik biomassa :

a. Boiler (ketel uap)

Boiler berfungsi untuk merubah air menjadi uap. Proses perubahan air menjadi uap dilakukan dengan memanaskan air yang berada didalam pipa-pipa dengan memanfaatkan energi panas dari pembakaran bahan bakar. Proses pembakaran dilakukan secara terus menerus didalam ruang bakar dengan memasukan bahan bakar serta udara dari luar. Uap yang dihasilkan adalah uap memiliki tekanan dan temperatur yang tinggi. Jumlah uap yang dihasilkan tergantung pada luas permukaan pemindah panas, laju aliran, dan besaran panas hasil pembakaran yang dihasilkan. Boiler yang konstruksinya terdiri dari water tube boiler (boiler pipa air).

b. Turbin Uap

Turbin uap berfungsi merubah energi panas dari uap yang dihasilkan pada boiler menjadi energi mekanik atau gerakan putaran. Uap dengan tekanan dan temperatur tinggi ini akan diarahkan pada sudut-sudut turbin untuk menghasilkan gerakan memutar pada turbin yang dipasang pada poros sehingga poros berputar. Setelah uap bertekanan digunakan untuk memutar turbin, tekanan dan temperatur dari uap akan menurun sehingga menjadi uap basah. Uap ini kemudian dialirkan ke kondensor, sedangkan tenaga putar (energi mekanik) yang dihasilkan digunakan untuk memutar generator. Pada saat ini hampir semua mesin turbin uap yang digukan adalah dari jenis turbine condensing atau uap keluar turbin (*exhaust steam*) dialirkan ke kondensor.

c. Kondensor

Kondensor berfungsi untuk merubah uap menjadi air. Proses perubahannya dilakukan dengan cara mengalirkan uap

kedalam suatu ruangan yang terdiri dari pipa-pipa (*tubes*). Uap sisa akan mengalir diluar pipa-pipa sedangkan air sebagai pendingin uap mengalir didalam pipa-pipa tersebut. Kondensor seperti ini disebut *surface tubes condenser*. Air sungai atau air laut sering dimanfaatkan sebagai pendingin. Perpindahan panas pada uap tergantung pada aliran air pendingin, kebersihan pipa-pipa serta perbedaan temperatur antara uap dan air pendingin. Proses perubahan uap menjadi air terjadi pada tekanan dan temperatur jenuh, dalam hal ini kondensor berada pada kondisi vakum (hampa udara).

d. Generator

Generator adalah alat atau komponen kelistrikan yang berfungsi sebagai pengkonversi energi mekanik dari turbin uap menjadi energi listrik.

2.2.2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD)

A. Prinsip Kerja

Pembangkit listrik tenaga *diesel* (PLTD) merupakan pembangkit listrik konvensional yang memanfaatkan mesin diesel sebagai pembangkit energi listrik. Diesel akan digunakan sebagai penggerak mula (*prime mover*). *Primer Mover* akan menghasilkan energi mekanis yang dimanfaatkan untuk memutar rotor. Mesin diesel dengan bahan bakar *High Speed Diesel Oil (HSDO)*, *Intermediate Diesel Oil (IDO)*, dan *Marine Fuel Oil (MFO)*. Mesin diesel akan bekerja dengan cara udara dikompresi ke dalam *piston*, yang kemudian dimasukkan dengan bahan bakar ke dalam tempat yang sama. Pada tekanan tertentu campuran antara bahan bakar dan udara akan terbakar dengan sendirinya. Proses pembakaran seperti ini terkadang tidak menghasilkan pembakaran yang sempurna. Karena pembakaran yang tidak sempurna ini akan menyebabkan efisiensi dari pembangkit jenis ini rendah, lebih kecil dari 50 %. Namun

apabila dibandingkan dengan mesin bensin (*otto*), mesin diesel pada kapasitas daya yang besar masih memiliki efisiensi yang lebih tinggi, hal ini dikarenakan rasio kompresi pada mesin diesel jauh lebih besar dari pada mesin bensin

B. Komponen – Komponen PLTD

Secara umum komponen utama PLTD di bagi dalam 4 bagian sebagai penunjang pembangkitan energi listrik, 4 bagian itu sebagai berikut :

a. Kompresor

Kompresor digunakan untuk menghisap dan mengalirkan udara kedalam ruang bakar (*combuster*).

b. Ruang bakar (*combuster*)

Pada *combuster* ini akan terjadi pertemuan antara udara, bahan bakar, dan panas yang dihasilkan oleh ignitor sehingga terjadi proses pembakaran. Dari hasil pembakaran ini akan menghasilkan gas yang kemudian akan memutar turbin dan juga akan memutar generator yang berada satu poros sehingga akan menghasilkan energi listrik.

c. Generator

Generator adalah alat atau komponen kelistrikan yang berfungsi sebagai pengkonversi energi mekanik dari turbin uap menjadi energi listrik.

2.2.2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBM)

Pada dasarnya biomassa merupakan bahan yang dapat diperoleh dari tanaman baik secara langsung maupun tidak langsung yang dimanfaatkan sebagai energi dalam kapasitas yang sangat besar. Biomassa

juga disebut dengan “*fitomassa*” dan juga *bioresource* atau sumber daya yang diperoleh dari tanaman dan hewan. Sumber ini meliputi ratusan bahkan ribuan spesies tanaman daratan maupun lautan, berbagai jenis sumber pertanian, sumber yang berasal dari hutan dan limbah dari proses industri serta kotoran ternak. Biomassa merupakan bahan organik yang diperoleh melalui proses fotosintetik, baik berupa produk utama maupun sisa produksi. Selain digunakan untuk tujuan primer, bahan pangan, pakan ternak, minyak nabati, bahan bangunan dan sebagainya, biomassa juga digunakan sebagai sumber energi lain seperti bahan bakar. Dalam hal ini yang digunakan umumnya biomassa yang nilai ekonomisnya rendah maupun limbah setelah diambil produk primernya.

Sumber energi biomassa sendiri memiliki beberapa kelebihan antara lain seperti, merupakan salah satu sumber energi yang dapat diperbaharui (*renewable*) sehingga dapat menyediakan sumber energi secara berkelanjutan (*sustainable*). Panas hasil pembakaran akan dikonversikan menjadi energi listrik dengan menggunakan turbin dan generator. Panas hasil pembakaran biomassa akan menghasilkan uap bertekanan dengan temperatur tinggi yang akan dimanfaatkan untuk pembangkitan energi listrik. Uap akan dialirkan kedalam susut-sudut turbin sehingga akan menghasilkan putaran dan menggerakkan generator. Putaran dari turbin dikonversikan menjadi energi listrik melalui generator.

A. Prinsip Kerja

Pembangkit listrik tenaga biomassa merupakan pembangkit listrik yang memanfaatkan bahan baku dari berbagai macam limbah seperti limbah pertanian dan sampah kota yang digunakan sebagai bahan baku pembangkitan energi listrik. Pada dasarnya prinsip kerja pembangkit listrik tenaga biomassa sama dengan pembangkit listrik tenaga uap namun memiliki perbedaan dalam bahan baku. Pada pembangkit listrik tenaga biomassa bahan baku limbah akan digunakan sebagai bahan utama untuk memanaskan air dalam *boiler* yang kemudian akan menghasilkan uap

yang digunakan untuk menggerakkan turbin uap karena turbin dan generator berada dalam satu poros maka turbin akan memutar generator sehingga menghasilkan energi listrik, energi listrik terbentuk karena adanya perubahan energi uap dikonversikan menjadi energi mekanis sebagai penggerak generator, kemudian generator akan mengubah energi magnetik menjadi energi listrik.

Dalam perencanaan pembangunan sebuah pembangkit listrik tenaga biomassa (PLTB) harus memikirkan beberapa aspek agar pembangkit dapat dioperasikan semaksimal mungkin. Berikut beberapa aspek yang harus diperhatikan dalam perencanaan pembangunan pembangkit listrik tenaga biomassa (PLTB) :

a. Ketersediaan bahan baku dan sumber air.

Bahan baku merupakan hal terpenting dalam pembangkitan energi listrik, ketersediaan bahan baku mempengaruhi keberlangsungan pengoperasian pembangkit dalam menghasilkan energi listrik. Maka dari itu harus adanya penelitian secara mendetail untuk mengetahui ketersediaan bahan baku. Sama halnya dengan bahan baku ketersediaan air juga akan menjadi aspek penting yang harus diperhatikan.

b. Lokasi

Dalam pemilihan lokasi harus memiliki daerah lapang yang luas yang akan di jadikan area pembangkit, tersediannya bahan baku yang dapat mencakupi dalam waktu yang lama serta ketersediaan sumber air yang akan digunakan sebagai penghasil uap untuk memutar turbin, selain itu perlu adanya persetujuan dari masyarakat di daerah tersebut sebagai ijin dalam pembangunan pembangkit tersebut.

c. Akses jalan

Selain pertimbangan mengenai pasokan air dan bahan baku hal yang terpenting yang harus di perhatikan dalam perancangan pembangkit listrik tenaga biomassa (PLTB) adalah akses menuju lokasi, akses jalan yang baik akan memudahkan dalam pembangunan pembangunan, serta akan mempermudah dalam pengiriman bahan baku dan suku cadang apabila terjadi kerusakan dalam proses pembangkitan.

Salah satu pembangkit listrik tenaga biomassa terletak didaerah gorontalo. Pembangkit listrik tenaga biomassa (PLTB) pertama di Indonesia ini memanfaatkan tongkol jagung sebagai sumber energi utama untuk menghasilkan padas yang akan digunakan untuk memanaskan air dan menghasilkan uap yang digunakan sebagai penggerak generator dan menghasilkan listrik. PLTB tersebut berada di Gorontalo dan diberi nama PLTB Pulubala berlokasi di kecamatan Pulubala, kabupaten Gorontalo, propinsi Gorontalo serta memiliki kapasitas 500 Kilowatt (Kw).

2.2.2.4 Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBG)

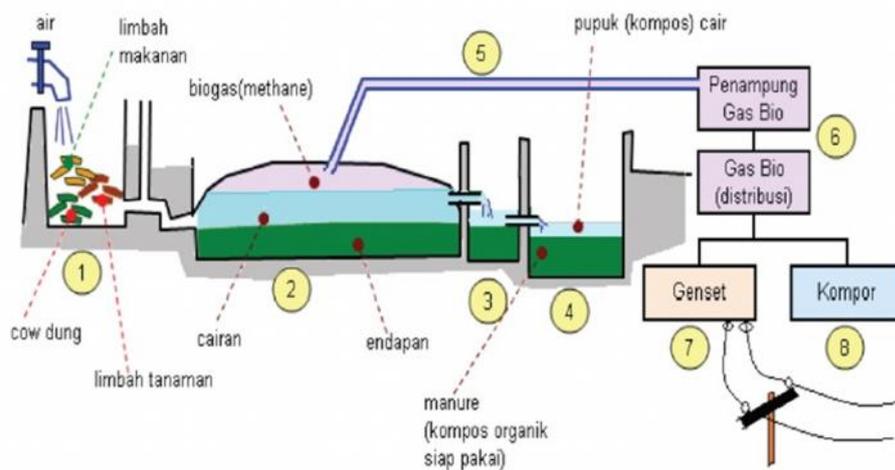
Pembangkit Listrik Tenaga Biogas merupakan salah satu pembangkit energi listrik terbarukan dan ramah lingkungan, energi listrik yang di hasilkan berasal dari gas yang didapatkan melalui proses fermentasi dari bahan – bahan organik seperti sampah, dan kotoran ternak. Kandungan gas utama dalam biogas adalah metana dan karbon dioksida. Biogas yang dihasilkan dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar kendaraan ataupun untuk menghasilkan energi listrik.

A. Prinsip Kerja

Pemanfaatan energi biogas menjadi energi listrik dilakukan dengan memasukkan hasil biogas dalam penampungan kemudian alirkan ke

dalam *conversion kit* yang berfungsi menurunkan tekanan gas sesuai dengan tekanan operasional pada mesin dan mengatur jumlah gas yang bercampur dengan udara didalam mixer, dari mixer bahan bakar bersama dengan udara masuk kedalam mesin dan terjadilah pembakaran yang akan menghasilkan energi untuk menggerakkan generator yang digunakan untuk menghasilkan energi listrik. Karakteristik pembakaran yang terjadi pada mesin diesel dengan bahan bakar biogas berbeda dengan pembakaran dengan menggunakan bahan bakar bensin.

Sumber : <http://engineering4read.blogspot.co.id/2016/04/pembangkit-listrik-tenaga-biogas-dari.html>



Gambar 2.3 Skema Pemanfaatan biogas

Bahan – bahan biogas seperti limbah makanan, kotoran sapi, dan limbah tanaman yang telah tampung pada penampungan (1) dicampur dengan air lalu masuk dalam digester (2) di dalam digestr akan terbentuk gas, cairan serta endapan. Gas akan di salurkan ke penampunagn gas (6) melalui pipa (5), endapan dapat digunakan sebagai kompos organik siap pakai yang telah di pisahkan dari cairannya melalui bak (3) dan ditampung pada bak (4). Gas yang dihasilkan dapat digunakan sebagai bahan bakar dalam konversi energi listrik serta dapat digunakan sebagai bahan bakar kompor gas.

B. Aspek – Aspek Yang Harus diperhatikan Dalam Pembuatan Instalasi Biogas

Dalam pemabangunn instalasi biogas harus memenuhi beberapa aspek agar biogas dapat dihasilkan secara optimal, berikut aspek – aspek tersebut :

- a. Pembangunan digester harus terkena oleh pancaran sinar matahari secara langsung.
- b. Pembangunannya harus berdekatan dengan bahan baku utama contohnya kandang ternak.
- c. Dekat dengan sumber air dan tersedia persediaan yang cukup.
- d. Harus dilakukan pencampuran secara rutin agar bakteri berinteraksi dengan bahan baku.
- e. Pada tempat penampungan tidak boleh ada oksigen atau anaerobic
- f. Temperature 85⁰F - 95⁰F (29⁰C - 35⁰C) dan pH 6.8 - 7.2
- g. Tidak ada racun yang terdapat dalam bahan baku
- h. Lokasi instalasi tidak boleh memiliki jarak yang terlampau jauh dari boiler.

2.2.3 LEAP (*Long-range Energy Alternatives Planning System*)

2.2.3.1 Pengenalan Software LEAP

Long-range energy alternatives planning (LEAP) merupakan sebuah perangkat lunak yang digunakan sebagai alat bantu dalam membuat perencanaan atau pemodelan energi listrik. LEAP beroperasi berdasarkan asumsi skenario yang direncanakan oleh pengguna, skenario tersebut didasari oleh perhitungan dari proses pengkonversian bahan bakar menjadi energi sampai proses energi tersebut dapat digunakan. LEAP merupakan model yang memperhatikan dan mempertimbangkan penggunaan akhir energi (*end-use*), sehingga memiliki kemampuan untuk

memasukkan berbagai macam teknologi dalam penggunaan pemanfaatan energi. [9]

Secara sederhana leap adalah sistem permodelan dengan skenario - skenario yang mengacu kepada lingkungan serta energi. Dalam leap pengguna dapat merancang berbagai skenario konsumsi energi yang terpakai, energi yang dikonversi serta yang diproduksi pada suatu sistem energi dengan berbagai macam asumsi, seperti pembangunan, kependudukan, ekonomi, harga dan sebagainya. Dalam software LEAP pengguna tidak hanya dapat melakukan perhitungan dan analisis. LEAP juga dapat menyesuaikan keinginan dari pengguna (*user*) dalam menentukan metode perhitungan lain, pengguna dapat melakukan kombinasi serta menentukan metodologi sesuai dengan analisis yang akan dilakukan.

Pendekatan yang digunakan oleh LEAP adalah struktur pemodelan dengan pendekatan *accounting framework*. Struktur ini dapat digunakan untuk membuat model sistem energi dengan variabel-variabel tentang diskripsi fisik sistem energi, biaya, dan dampak lingkungan. Lebih dari sekedar mensimulasikan kebijakan di sisi permintaan dan penyediaan energi, LEAP dapat digunakan untuk menganalisis dampak implementasi kebijakan-kebijakan tentang energi. Dengan demikian, *accounting framework* digunakan sebagai alat untuk menganalisis implikasi dari penerapan beberapa skenario permintaan atau penyediaan energi untuk mencapai target yang telah ditentukan. Selain itu, LEAP dengan pendekatan *accounting framework* juga dapat digunakan untuk melakukan eksplorasi sumber energi primer, dampak lingkungan, dan biaya sosial yang ditimbulkan dari beberapa skenario alternatif. *Accounting framework* memiliki beberapa kelebihan sebagai berikut:

1. Sederhana, transparan dan fleksibel, dan memerlukan data dasar yang sangat sederhana,
2. Simulasi tidak dilakukan dengan asumsi kompetisi yang ideal,

3. Dapat digunakan untuk menganalisis pemilihan teknologi atau biaya dalam pengembangan sistem energi, dan
4. Sangat berguna dalam aplikasi *capacity building*.

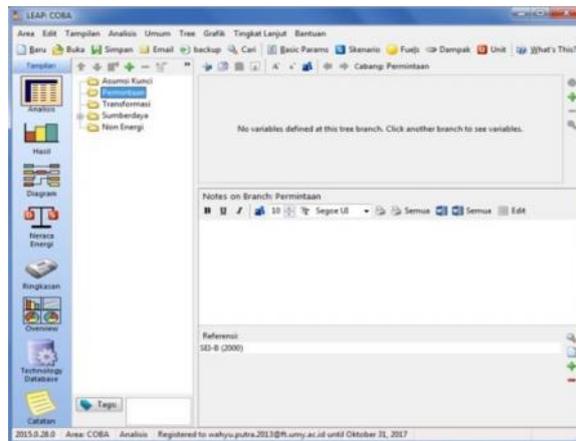
Selain kekurangna yang di dapatkan terdapat beberapa kekurangan dari *Accounting framework*, kekurangan-kekurangn tersebut sebagai berikut :

1. Tidak secara otomatis dapat mengidentifikasi sistem *least-cost*, yaitu tidak sesuai untuk sistem yang sangat kompleks dimana perhitungan *least-cost* dibutuhkan, dan
2. Tidak dapat menghasilkan perhitungan biaya yang konsisten, yaitu proyeksi permintaan energi dapat tidak konsisten dengan proyeksi konfigurasi penyediaan energi.

Dalam LEAP sangat mudah untuk melakukan *import* dan *eksport* data serta melakukan pemindahan model yang dibuat di tempat lain, ini karena Software LEAP telah dirancang agar dapat bekerja secara langsung terhubung dengan produk - produk Microsoft Office seperti Microsoft Word, Microsoft Excel, dan Microsoft Power Point. Perancang Software LEAP adalah *Stokholm Environment Institute (SEI)*.

2.2.3.2 Bagian-Bagian dalam LEAP

Dalam software LEAP terdapat beberapa bagian menu utama yang dapat digunakan dalam menjalankan software dalam menunjang proses analisis lakukan. Berikut tampilan awal software LEAP :



Gambar 2.4 Tampilan LEAP.

Pada saat pertama kali mengoperasikan software LEAP akan muncul tampilan seperti pada gambar 2.4. Tampilan dari LEAP sangat sederhana sehingga mudah dipahami serta dioperasikan. Layar tampilan LEAP terbagi atas beberapa bagian, yaitu :

1. **Baris atas** terdiri dari nama file yang sedang dijalankan.
2. **Baris kedua** berisikan menu - menu utama seperti : Area, View, Analysis, Edit, General, Tree, Chart, Advanced, serta Help
3. **Baris ketiga** berisikan menu toolbar seperti : Baru, Buka , Simpan, Email, Backup, Cari, Dampak, Skenario, Unit, dsb.
4. Tampilan merupakan menu yang terdapt pada bagian kiri yang tersusun secara vertikal, menu ini berisikan Analisis, Hasil, Diagram, Neraca Energi, Ringkasan, Overview, Technology Database, dan Catatan. Pada menu tampilan di perlukan dalam melakukan analisis dan perhitungan berikut penjelsan dari beberapa pilihan yang terdapat pada menu tampilan :
 - a. **Analisis** digunakan untuk mengatur atau menyusun diagram pohon (*Tree*), memasukan data, serta membuat skenario.
 - b. **Hasil** digunakan untuk mensimulasikan permodelan dan menampilkan hasil dari simulasi berbagai skenario yang

telah dibuat. Tampilan hasil simulasi dapat berupa grafik dan tabel.

- c. **Diagram** digunakan untuk menampilkan diagram rangkaian alur dari pemasokan energi.
 - d. **Neraca Energi** digunakan untuk menampilkan hasil simulasi dalam kedalaman bentuk tabel dan grafik neraca energi.
 - e. **Ringkasan** digunakan untuk menyusun serta menampilkan variabel-variabel tertentu yang akan ditampilkan dalam suatu tabel.
 - f. **Overviews view** digunakan untuk menyusun dan menampilkan grafik –grafik tertentu dari hasil simulasi untuk keperluan presentasi.
 - g. **Technology Database** digunakan untuk menampilkan informasi tentang masukan demand energi, teknologi energi dan lingkungan.
 - h. **Catatan** digunakan untuk mendokumentasikan penjelasan permodelan, sehingga pengguna permodelan dapat memahami apa yang dimaksud penyusun pada penyusunan model.
5. Kolom disamping view bar merupakan tempat untuk membuat diagram pohon (*Tree*). Pada baris paling atas terdapat *toolbar* yang digunakan untuk membuat serta mengedit *Tree*. *Tree* diagram adalah diagram yang menggambarkan struktur model secara keseluruhan yang disusun seperti tampilan dalam *Windows Explorer*. Terdapat empat *Branch* utama, yaitu *Key Assumptions*, *Demand*, *Transformation*, dan *Resources*.
 6. Kolom selanjutnya merupakan kolom untuk menyusun maupun mengedit skenario, bagian untuk menginput data dan tempat menampilkan data yang telah di input.

7. **Baris terbawah** adalah *status bar*, yang berisi: nama file yang dibuka, *view* yang sedang tampilkan, dan status registrasi dari software leap.

2.2.3.3 Struktur Model dalam LEAP.

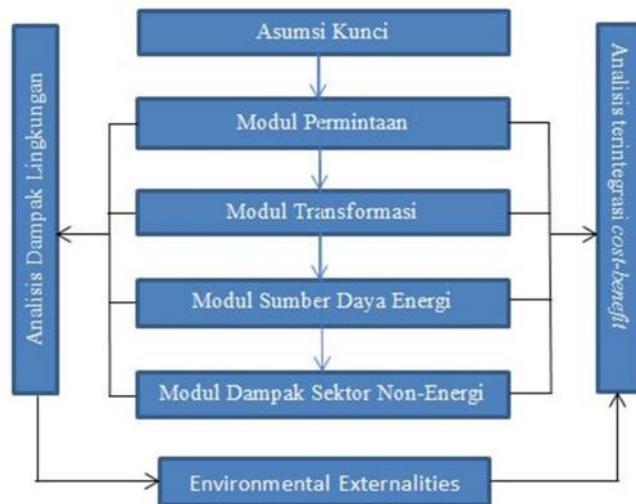
Dalam permodelan LEAP memiliki metodologi berupa akuting (*accounting*). Dalam metode akuting permintaan energi atau pasokan energi akan dihitung dengan mengakumulasikan pemakaian dan pasokan energi dari masing-masing perjenis kegiatan. LEAP memiliki terminologi umum sebagai berikut :

- a. Area merupakan wilayah yang sedang dalam pengkajian
- b. *Current Accounts* adalah kumpulan data yang memencerminkan kondisi pada saat tahun awal (tahun dasar) dalam jangka waktu pengkajian.
- c. Skenario merupakan kumpulan asumsi – asumsi perencanaan kondisi pada masa depan dalam pensimulasian.
- d. *Tree* merupakan diagram yang menunjukkan struktur model. Tampilan struktur model pada LEAP Sama halnya dengan tampilan dalam *Windows Explorer*. Pada tampilan *Tree* terdapat empat *Branch* utama, *Branch* utama dapat memiliki cabang lagi tergantung kebutuhan, berikut *Branch utama dalam LEAP* :
 1. *Driver Variable*.
 2. *Demand*.
 3. *Transformation*.
 4. *Resources*.
- e. *Branch* merupakan cabang atau bagian dari *Tree*.

- f. *Expression* merupakan tempat untuk memasukan nilai maupun rumus yang digunakan dalam menghitung perubahan pada suatu variabel.
- g. *Saturation* merupakan ketentuan dalam variabel yang diasumsikan mencapai nilai maksimal tertentu. Persentase maksimal adalah $0\% \leq X \leq 100\%$. Nilai dari total persen dalam suatu *Branch* dengan saturasi tidak harus 100%.
- h. *Share* merupakan ketentuan suatu variabel yang menggambarkan nilai maksimal 100%. Nilai dari total persen dalam suatu *Branch* dengan *Share* harus berjumlah 100%.

2.2.3.4 Modul-Modul dalam LEAP.

LEAP terdiri dari 5 modul utama yaitu terdapat lima modul, yaitu: Asumsi kunci (*key assumptions*), Permintaan (*demand*), Transformasi (*transformation*), Sumberdaya (*resources*) dan Dampak Sektor Non-Energi (*non energy sector effects*). Asumsi kunci (*Driver Variable*) ini yang akan menentukan permintaan energi di dalam sistem energi yang dimodelkan dengan Leap. Perencanaan penyediaan energi dilakukan dalam Modul Transformasi dan Modul Sumber Daya Energi. Sebelum memasukkan data ke dalam Modul Transformasi, sebelumnya harus memasukkan data cadangan sumber energi primer dan sekunder dalam Modul Sumber Daya Energi yang akan dimasukan melalui Modul Transformasi. Demikian juga data permintaan dimasukan ke dalam Modul Permintaan selain itu juga dimasukan beberapa skenario yang akan digunakan, diakseskan ke Modul Transformasi. Struktur dari permodelan dalam software Leap disajikan dalam gambar 2.4



Gambar 2.5 Struktur Model LEAP

A. Modul Asumsi Kunci (*Key Assumptions*)

Modul Asumsi kunci (*key assumptions*) merupakan cabang dari variabel penggerak (*Driver Variable*). Asumsi kunci digunakan untuk menyimpan parameter - parameter umum yang akan digunakan dalam Modul Permintaan serta Modul Transformasi selama pensimulasian. Parameter-parameter umum ini dapat berupa data jumlah penduduk, besaran PDRB (Produk Domestik Regional Bruto), data jumlah rumah tangga, intensitas energi, serta tingkat aktivitas lainnya. Modul Variabel Penggerak bersifat komplement terhadap modul yang lain. Pada permodelan yang sederhana dan tidak kompleks dapat saja modul ini tidak digunakan.

B. Modul Permintaan (*Demand*)

Modul Permintaan (*Demand*) digunakan untuk menghitung besaran permintaan energi. Analisis yang diterapkan dalam modul ini merupakan metode yang didasarkan pada pendekatan pengguna akhir (*end-use*) secara terpisah untuk masing-masing sektor pemakai energi dalam penelitian kali ini digunakan beberapa

sektor diantaranya sektor rumah tangga, sektor bisnis, sektor industri, sektor sosial serta sektor publik. Sehingga akan diketahui jumlah permintaan energi per sektor pemakai pada suatu wilayah dalam rentang waktu tertentu. Informasi mengenai variabel ekonomi, pertumbuhan penduduk dan karakteristik pemakai energi dapat digunakan sebagai acuan untuk membuat alternatif skenario kondisi pada masa depan sehingga dapat diketahui hasil proyeksi serta pola perubahan permintaan energi berdasarkan skenario-skenario yang telah dibuat. Sedangkan penentuan proyeksinya menggunakan *trend* yang terjadi dalam beberapa waktu yang ditentukan pada daerah tersebut. Untuk menganalisis permintaan energi dapat menggunakan metode analisis *Activity Level Analysis* atau metode analisis level aktifitas pada wilayah tertentu. Pada metode ini jumlah permintaan energi didapatkan dari hasil perkalian antara aktivitas energi dengan intensitas energi (jumlah energi yang digunakan persektor). Metode ini terdiri atas dua model analisis yaitu Analisis Permintaan Energi Final (*Final Energy Demand Analysis*) dan Analisis Permintaan Energi Terpakai (*Useful Energy Demand Analysis*).

C. Modul Sumber Daya Energi (*Resources*)

Modul ini terdiri dari sumber primer dan sumber sekunder. Kedua cabang ini sudah atur secara otomatis oleh software Leap. Cabang-cabang yang terdapat dalam modul sumber daya akan muncul secara otomatis sesuai dengan jenis-jenis energi yang dimasukkan ke dalam modul transformasi. Beberapa parameter perlu diisikan, seperti jumlah cadangan (minyak bumi, gas bumi, batubara, dsb.) dan potensi energi (biogas, biomasa, dsb.).

D. Modul Transformasi (*Transformation*)

Modul Transformasi (*Transformation*) digunakan untuk menghitung besaran pasokan energi, pasokan energi dapat dihitung dari jumlah produksi energi primer (gas bumi, minyak bumi, batubara, dsb.) dan energi produksi energi sekunder (listrik, bahan bakar minyak, biogas, briket batubara, arang, dsb.). Susunan cabang dalam modul transformasi telah ditentukan strukturnya, yang masing-masing kegiatan transformasi energi terdiri dari proses dan hasil (*output*).

E. Modul Dampak Sektor Non-Energi (*non energy sector effects*)

Modul Dampak Sektor Non-Energi (*non energy sector effects*) terdiri dari modul teknologi di dalam modul permintaan energi dan modul transformasi energi serta modul analisis dampak lingkungan dari sektor non-energi. Dari sisi permintaan energi, setiap jenis teknologi pengguna energi dapat disimulasikan setiap jenis emisi yang dihasilkan. Demikian juga di sisi penyediaan energi, emisi yang dihasilkan dapat disimulasikan melalui proses-proses penyediaan energi. Setiap proses penyediaan energi yang berbeda akan menghasilkan emisi-emisi yang berbeda pula. Dengan demikian, analisis dampak lingkungan dapat dilakukan secara terintegrasi baik dari sisi permintaan energi maupun dari sisi penyediaan energi.

F. Analisis *cost-benefit*

Analisis *cost-benefit* dilakukan dari sisi permintaan energi dan penyediaan energi. Pada analisis permintaan dapat dilakukan dalam setiap teknologi yang digunakan serta berbagai jenis biaya yang berkaitan dengan permintaan seperti permintaan akan biaya operasi, biaya pemeliharaan, serta biaya kapita. Pada permintaan energi akan berpengaruh pada sifat variabel Sedangkan pada

analisis penyediaan energi terdiri dari biaya kapital, biaya operasi dan pemeliharaan, biaya bahan bakar, dan biaya modul penyediaan energi yang tidak dipengaruhi oleh yang bersifat variabe. LEAP juga menyediakan fasilitas perhitungan biaya emisi-emisi yang dihasilkan dalam proses penyediaan energi. Analisis yang berkaitan dengan biaya emisi-emisi yang dihasilkan akan dilakukan pada modul *environment externality*. Setiap biaya emisi yang dikeluarkan akan disemulasikan sebagai bagian dalam analisi *cost-benefit* yang terintegrasi.

2.2.3.5 Metode-Metode dalam LEAP.

Perangkat lunak LEAP sering digunakan dalam permodelan dan untuk pensimulasian sistem energi sesuai dengan skenario-skenario yang akan digunakan pengguna LEAP. Skenario ini merupakan alur yang konsisten dengan tujuan untuk menggambarkan bagaimana suatu sistem energi berkembang dalam kurun waktu tertentu. LEAP dirancang untuk dapat mensimulasikan beberapa skenario baik secara terpisah maupun terintegrasi. Suatu skenario yang disusun dapat mengacu pada skenario lainnya. Dan setiap skenario akan mengacu pada kondisi yang dideskripsikan pada tahun dasar sebagai *current account*. Dengan demikian, perhitungan yang dilakukan di dalam LEAP tidak bersifat prediktif atau proyektif.

Analisis permintaan energi di dalam LEAP bertujuan untuk menentukan permintaan energi dan biaya-biaya yang berhubungan langsung dengan konsumsi energi di dalam suatu model sistem energi. Permintaan energi dimodelkan dengan struktur hirarki yang fleksibel. Permintaan energi dapat dikategorikan berdasarkan sektor pengguna energi, sub-sektor pengguna energi, maupun jenis teknologi pengguna energi. Analisis permintaan energi dapat dilakukan dengan beberapa

metode, yaitu analisis *end-use* energi, *econometric forecast*, dan model *stock-turnover*.

Metode perhitungan permintaan energi dilakukan menggunakan 2 pendekatan, yaitu analisis energi final dan analisis *useful energy*. Di dalam analisis energi final LEAP menghitung permintaan energi berdasarkan persamaan 2.1. Di dalam persamaan 2.1, jumlah energi yang dibutuhkan (e) berbanding lurus dengan aktivitas di sektor energi (i) dan intensitas energi finalnya (i). Aktivitas energi direpresentasikan oleh variabel penggerak yang dapat berupa data demografi atau data makro-ekonomi. Sedangkan intensitas energi merupakan energi yang dikonsumsi per satuan aktivitasnya. Sebagai contoh, permintaan energi untuk suatu industri semen dapat ditentukan berdasarkan jumlah semen yang dihasilkan (dalam kg atau ton) dan energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan semen per satuan berat (jumlah energi per kg semen atau per ton semen)

$$e = .i \quad (2.1)$$

Metode perhitungan permintaan energi dengan pendekatan analisis *useful energy* dilakukan dengan persamaan 2.2. Energi yang dibutuhkan (e) dalam persamaan 2.2 berbanding lurus dengan intensitas *useful energy* (u) dan aktivitas di sektor energi (n) serta berbanding terbalik dengan efisiensi penggunaan energi (n). Sebagai contoh, permintaan energi di sektor komersial akan berubah bergantung pada bertambahnya jumlah bangunan (+), peningkatan pendapatan yang menyebabkan lebih banyak dibutuhkan pemanasan dan pendinginan ($+u$), atau teknologi isolasi bangunan yang semakin baik ($-u$), atau bangunan menggunakan teknologi boiler listrik atau gas alam untuk menggantikan boiler BBM ($+n$).

$$e = \frac{u}{n} \quad (2.2)$$

Di sisi penyediaan energi listrik, simulasi yang dilakukan oleh LEAP didasarkan pada 2 hal, yaitu ekspansi kapasitas pembangkit listrik dan *dispatch rule* pembangkit listrik. Ekspansi kapasitas pembangkit

listrik bertujuan untuk menentukan tambahan kapasitas pembangkit dan jenisnya serta waktu penambahan tersebut untuk memenuhi permintaan energi listrik. Sedangkan *dispatch* bertujuan untuk menentukan bagaimana pembangkit listrik beroperasi setelah dibangun. Penentuan ekspansi kapasitas pembangkit listrik di dalam LEAP dapat dilakukan dengan 2 cara, yaitu secara *exogenous* dan secara *endogenous*. Ekspansi kapasitas pembangkit listrik secara *exogenous* dilakukan secara manual dengan memasukkan nilai kapasitas dan waktu penambahan kapasitas maupun jadwal *retirement* pembangkit listrik. Sedangkan ekspansi kapasitas pembangkit listrik secara *endogenous* dilakukan secara otomatis oleh LEAP. LEAP akan menentukan besar kapasitas dan waktu penambahan kapasitas tersebut sesuai dengan jenis pembangkit listrik yang telah ditentukan sebelumnya. Dalam menentukan kapasitas secara *endogenous*, kapasitas yang dihasilkan oleh LEAP bertujuan untuk mempertahankan *reserve margin* yang telah ditentukan.

Terdapat dua metode *dispatch* sistem pembangkit listrik di dalam LEAP, yaitu berdasarkan pembangkitan energi listrik secara historis dan berdasarkan *dispatch rule* sistem pembangkit listrik. Metode *dispatch rule* yang ada di dalam LEAP mulai dari yang paling sederhana dengan menggunakan persentase dari pembangkitan energi listrik sampai metode *merit order* dan *running cost*. LEAP juga dapat mensimulasikan berbagai jenis sistem pembangkit dengan metode *dispatch* yang berbeda-beda. Sebagai contoh, jenis pembangkit listrik dengan energi primer dari energi terbarukan menggunakan *dispatch* berdasarkan presentase pembangkitan energi listrik sedangkan jenis pembangkit listrik lainnya menggunakan metode *dispatch* berdasarkan *merit order*.

Untuk perhitungan biaya sistem pembangkit listrik, LEAP melakukan perhitungan *cost-benefit* dari sudut pandang *social-cost* dengan metode menghitung semua biaya yang berhubungan dengan sistem energi yang dimodelkan dan kemudian membandingkan hasil perhitungan biaya

dari beberapa skenario yang dirancang. LEAP melakukan perhitungan elemen-elemen biaya yang terdiri dari:

1. Biaya dari sisi permintaan energi yang dapat dinyatakan dalam biaya total, biaya per aktivitas, atau biaya efisiensi energi relatif terhadap suatu skenario.
2. Biaya kapital transformasi energi.
3. Biaya tetap dan variabel operasi dan pemeliharaan.
4. Biaya sumber daya energi primer (biaya bahan bakar).
5. Biaya sumber daya energi primer yang diimpor.
6. Keuntungan biaya dari aktivitas ekspor sumber daya energi primer.
7. Biaya *externality* polusi dari sektor transformasi energi.
8. Biaya-biaya lainnya yang dapat didefinisikan seperti biaya program efisiensi energi.

Perhitungan biaya kapital di dalam LEAP merupakan biaya kapital selama periode *lifetime* dari suatu sistem pembangkit listrik (*annualized cost*). Metode yang digunakan dalam perhitungan biaya ini menggunakan *standard mortgage* seperti pada persamaan 2.3, 2.4 dan 2.5. Dalam persamaan 2.4 dan 2.5, i merupakan interest rate, n lifetime sistem pembangkit listrik, dan CRF adalah *capital recovery factor*.

$$\text{Annualized cost} = \text{Total Cost} \times \text{CRF} \quad (2.3)$$

$$\text{CRF} = \frac{i \cdot k}{k - 1} \quad (2.4)$$

$$k = (1 + i)^n \quad (2.5)$$

2.2.3.6 Perhitungan Permintaan Energi.

Dalam LEAP, perhitungan permintaan energi dilakukan menggunakan dua metode, yaitu metode energi *final* dan energi *useful*. Di dalam analisis permintaan energi final, dan permintaan energi dihitung sebagai perkalian antara level aktivitas dan intensitas energi. Level aktivitas merupakan ukuran aktivitas sosial dan ekonomi yang mempengaruhi permintaan energi. Sedangkan intensitas energi adalah rata-rata konsumsi energi per teknologi pengguna energi atau per satuan level aktivitas. Selanjutnya, permintaan energi dihitung untuk tahun dasar dan periode simulasi LEAP dengan menggunakan persamaan 2.6:

$$D_{b,s,t} = TA_{b,s,t} \times EL_{b,s,t} \quad (2.6)$$

Di mana :

TA : Level aktifitas,

El : intensitas energi,

B : cabang yang didefinisak didalam LEAP,

s : skenario,

t : tahun dari 0 [tahun dasar] sampai dengan akhir tahun simulasi

Untuk setiap cabang yang didefinisikan, LEAP menghitung permintaan energi untuk setiap jenis bahan bakar. Dengan demikian, LEAP dapat menghitung total permintaan energi untuk setiap jenis bahan bakar tertentu.

2.2.3.7 Perhitungan Kapasitas Pembangkit Listrik

Kapasitas pembangkit listrik dapat dihitung secara *endogenous* untuk mempertahankan nilai *planning reserve margin* (PRM) yang telah ditentukan. Perhitungan kapasitas pembangkit diawali dengan menghitung nilai kapasitas yang ada dengan persamaan 2.7.

$$C_{BA} = (C_{EX} + C_{EN}) \times C_{value} \quad (2.7)$$

Di mana :

C_{BA} : kapasitas awal (MW),

C_{EX} : kapasitas exogenous (MW),

C_{EN} : kapasitas endogenous yang telah ditambahkan (MW),

C_{value} : persentase nilai kapasitas aktual (MW).

Sedangkan kapasitas yang dibutuhkan untuk memenuhi beban puncak dihitung dengan menggunakan persamaan 2.8:

$$C_{peak} = \frac{D}{LF \times 8760 \text{ [jam / tahun]}} \quad (2.8)$$

Di mana:

C_{peak} : kapasitas untuk memenuhi beban puncak (MW),

D : permintaan energi listrik (MWh),

LF : faktor beban sistem.

PRM sebelum ada penambahan kapasitas secara *endogenous* dihitung berdasarkan persamaan 2.9,

$$PRM_{BA} = (C_{BA} - C_{peak}) / C_{peak} \quad (2.9)$$

Dimana PRM_{BA} adalah PRM sebelum ada penambahan kapasitas. Selanjutnya, kapasitas pembangkit listrik yang diperlukan secara *endogenous* ditentukan dengan persamaan 2.10,

$$C_{ENA} = (PRM - PRM_{BA}) \times C_{peak} \quad (2.10)$$

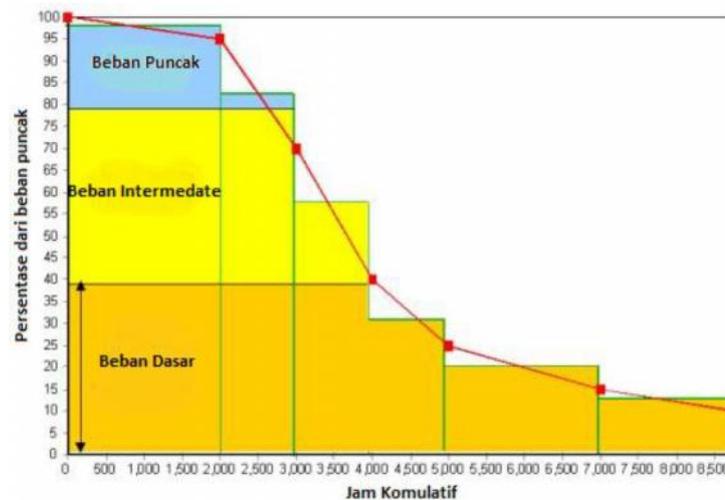
Dimana C_{ENA} adalah kapasitas pembangkit listrik yang harus ditambahkan untuk mempertahankan PRM pada nilai yang sudah ditentukan. Pada akhirnya, LEAP menghitung kapasitas pembangkit listrik yang diperlukan untuk setiap proses pembangkit listrik

2.2.3.8 Proses Dispatch Pembangkit Listrik

Dalam perhitungan optimasi, pembangkit listrik di *dispatch* berdasarkan *runningcost*. Dengan metode *dispatch* ini, modul pembangkit listrik harus mengikut sertakan *load duration curve* (LDC). Selanjutnya, LEAP akan mensimulasikan *dispatch* setiap jenis proses pembangkit listrik baik untuk memenuhi kebutuhan energi listrik yang ditentukan oleh LDC maupun kebutuhan energi listrik secara keseluruhan. *Running cost* ditentukan dengan persamaan 2.11.

$$RunningCost_i = VariableOMCost_i + \frac{FuelCost_i}{Efficiency_i} \quad (2.11)$$

Untuk mensimulasikan proses *dispatch* pembangkit listrik, LEAP pertama-tama mengurutkan proses pembangkit listrik berdasarkan *merit order* yang telah ditentukan. Informasi dari proses pengurutan ini digunakan untuk menentukan kapasitas yang tersedia untuk setiap kelompok *merit order*. Dengan demikian setiap kelompok dengan merit order yang sama akan di *dispatch* secara bersamaan. Selanjutnya, LEAP akan melakukan pendekatan diskrit terhadap LDC yang telah ditentukan dan dibagi kedalam interval *time slice* seperti pada Gambar 2.7.



Gambar 2.6 Komulatif LDC.