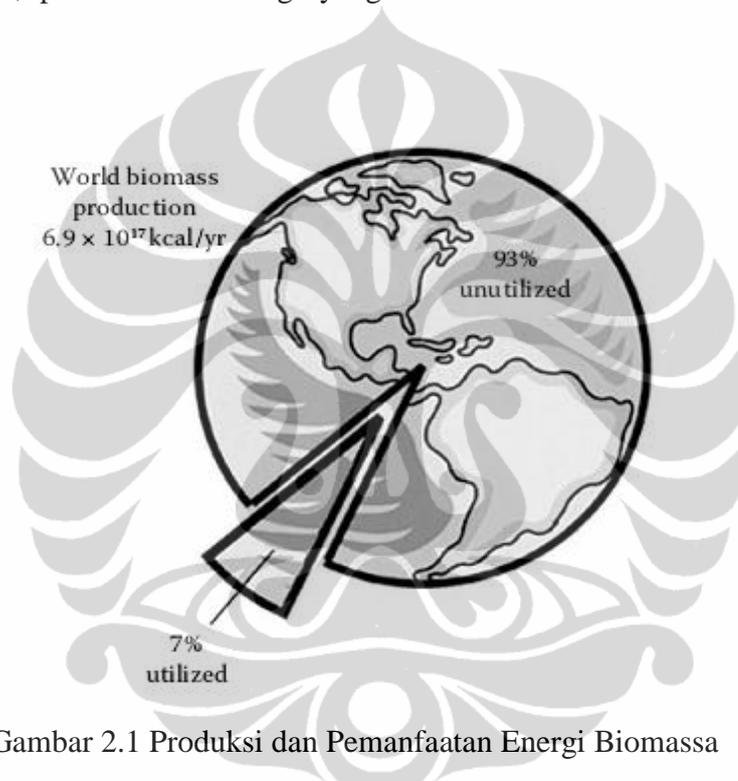


BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Biomasa (PLT Biomasa)

2.1.1 Pendahuluan

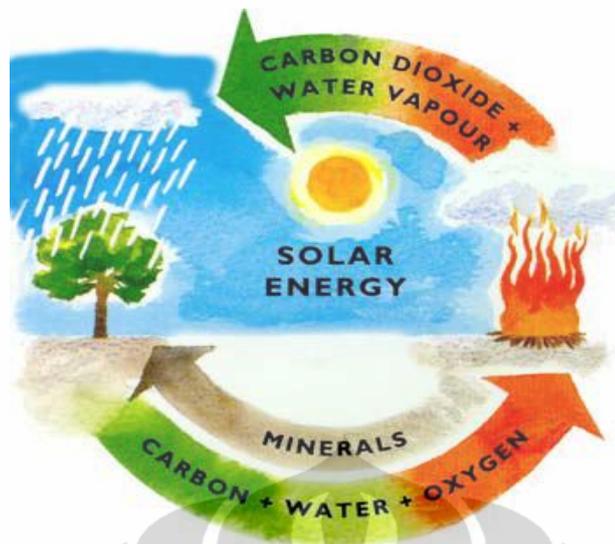
Biomassa sangat beragam jenisnya yang pada dasarnya merupakan hasil produksi dari makhluk hidup. Jumlah produksi biomassa sangat melimpah di dunia. Namun, pemanfaatan energi yang berasal dari biomassa masih belum optimal.



Gambar 2.1 Produksi dan Pemanfaatan Energi Biomassa

(Sumber : *Renewable Resources and Renewable Energy*)

Biomassa dapat berasal dari tanaman perkebunan atau pertanian, hutan, peternakan atau bahkan sampah, siklus terbentuknya biomassa menjadikan sumber energi ini ramah lingkungan karena biomassa berasal dari bahan organik non fosil yang hasil pembakarannya tidak menimbulkan CO_2 yang berbahaya bagi lingkungan. Karbon ini disebut karbon netral (*carbon neutral*) karena karbon dioksida yang dilepaskan saat pembakaran biomassa diserap kembali oleh tumbuhan, karena itu pengembangan energi dari biomassa tidak akan berdampak buruk bagi atmosfer.^[1]



Gambar 2.2 siklus *carbon neutral*

(sumber:<http://jcwinnie.biz/wordpress/>) [2]

Biomassa (bahan organik) dapat digunakan untuk menyediakan panas, membuat bahan bakar, dan membangkitkan listrik. Ini disebut bioenergi. Kayu sebagai sumber terbesar dari bioenergi telah digunakan untuk menyediakan panas selama ribuan tahun. Tetapi masih banyak tipe lain dari biomassa, seperti tanaman, sisa-sisa pertanian atau kehutanan, dan komponen organik dari sampah kota dan industri, yang sekarang dapat digunakan sebagai sumber energi.

2.1.2 Pengelolaan Sumberdaya Biomassa

Yang termasuk sumberdaya biomassa adalah semua bahan organik yang pada dasarnya dapat diperbaharui termasuk tanaman dan pohon khusus untuk energi tersebut, tanaman pangan, sampah dan sisa tanaman pertanian, sisa dan sampah kehutanan, tanaman air, kotoran hewan, sampah perkotaan, dan material sampah lain^[3]

Sumber-sumber biomassa antara lain:

a. Tanaman khusus energi

Berupa tanaman hijau yang dapat dipanen setiap tahun setelah menunggu 2-3 tahun untuk mencapai produktivitas penuh, antara lain tanaman seperti semak, meschantus (rumput gajah), bambu, tebu, fescue, kochia, tanaman gandum dsb.

b. Pohon khusus energi

Kayu siklus pendek merupakan pohon berkayu keras yang cepat tumbuh dan dipanen dalam 5-8 tahun setelah penanaman. Umumnya berupa pohon hibrida.

c. Tanaman industri

Tanaman industri dikembangkan untuk menghasilkan material atau bahan kimia khusus untuk industri, antara lain kenaf dan jerami untuk serat optik, dan pohon jarak untuk asam ricinoleic. Tanaman transgenik baru sedang dikembangkan untuk menghasilkan bahan kimia yang diinginkan yang hanya membutuhkan ekstraksi dan pemurnian produk.

d. Tanaman pertanian

Yang termasuk dalam cadangan makanan ini antara lain produk bahan pokok seperti tepung jagung dan minyak jagung, minyak dan bahan makanan dari kacang kedelai, tepung terigu, minyak sayur lain, dan semua tanaman bahan pokok lainnya. Umumnya bahan-bahan tersebut menghasilkan gula, minyak dan bahan-bahan baku, namun dapat juga menghasilkan plastik dan bahan-bahan kimia.

e. Tanaman air.

Ada banyak variasi sumber daya biomassa air seperti ganggang, rumput laut, dan mikroflora laut.

f. Sisa-sisa tanaman pertanian.

Yang termasuk di sini adalah biomassa, batang dan daun, yang tidak dipanen atau dibuang dari ladang karena alasan komersil, misalnya sisa jagung (batang, daun, kulit buah dan tongkol jagung), jerami gandum, dan jerami padi.

g. Sisa-sisa hasil hutan.

Sisa-sisa hasil hutan adalah biomassa yang tidak dimanfaatkan atau dibuang dari lokasi pengolahan kayu baik dari pengolahan komersil maupun dari operasi manajemen kehutanan seperti tebang pilih dan pembuangan tunggul-tunggul kayu.

h. Sampah perkotaan.

Sampah-sampah rumah tangga, pasar dsb memiliki kandungan yang berasal dari material organik yang merupakan sumber daya energi terbarukan. Sampah kertas,

kardus, sampah kayu dan sampah di halaman rumah adalah contoh sumber daya biomassa dalam sampah perkotaan.

i. Sisa pengolahan biomassa.

Semua pengolahan biomassa menghasilkan produk sampingan dan aliran sampah yang disebut limbah, yang memiliki potensi energi. Sisa-sisa tersebut gampang digunakan karena telah dipilih, sebagai contoh pemrosesan kayu untuk produk atau pulp menghasilkan sisa gergajian dan tumpukan kulit kayu, ranting-ranting dan daun-daun / biji-bijian

j. Kotoran hewan.

Ladang dan operasi pemrosesan hewan, membuang sampah yang merupakan sumber kompleks material organik. Sampah ini dapat digunakan untuk membuat berbagai produk termasuk energi.

Berikut adalah berbagai komoditi biomassa dari limbah pertanian dan perkebunan yang ada disekitar kita dan nilai kalor yang dapat dihasilkannya :

Tabel 2.1 Komoditi biomassa dari limbah pertanian dan perkebunan.^[4]

Komoditi	Residu	RPR	Kadar air (%)	Nilai kalor (MJ/kg)
Kelapa sawit	Tandan kosong	0,23	55	8,16
	Sabut	0,11	40	11,34
	Cangkang	0,06	10	18,83
Kelapa	Sabut	0,419	10,3	18,62
	Tempurung	0,12	8,7	18,09
Padi	Sekam	0,267	12,37	19,33
	Jerami	1,757	12,71	16,02
Tebu	Bagasse	0,29	49	18,1
	Top/leaves	0,3	10	17,41
Kopi	Husk	2,1	15	12,38
Ubi kayu	Batang	0,062	15	17,5
Jagung	Tongkol	0,273	7,53	16,28
	Batang	2	15	19,66
Kacang tanah	Kulit	0,477	8,2	15,66

Energi kalor ini dapat dikonversi menjadi energi listrik dengan nilai konversi sebagai berikut :

Tabel 2.2. Konversi Energi

KWH	Joule	Kkal
1 KWH	$3,6 \times 10^6$ Joule	8.6×10^2

Sedangkan, untuk mengetahui daya yang dapat dihasilkan dari energi tersebut adalah dengan menggunakan persamaan :

$$P = \frac{E}{t} \dots\dots\dots(2.1)$$

dengan : P : daya (joule/s, watt)
E : energi (joule)
t : waktu (second, detik)

Secara matematis energi yang akan dihasilkan biomassa dapat diperoleh dengan rumus berikut :

$$\text{Energi Biomassa (Joule)} = (1-m) \cdot (RPR \cdot P) \cdot k \dots\dots\dots(2.2)$$

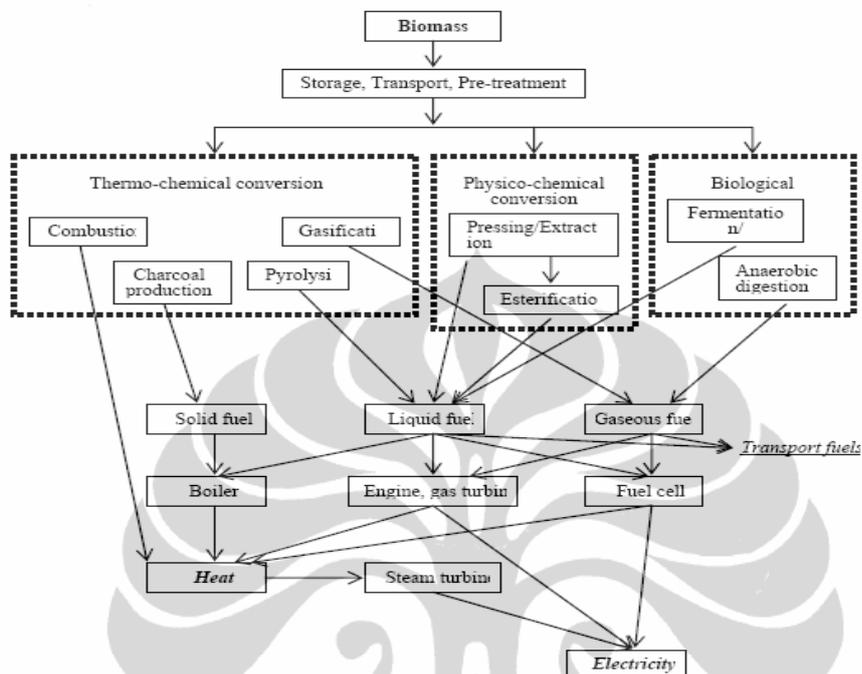
dengan :
m :% kadar air, merupakan jumlah kadar air yang terkandung dalam residu
RPR :konstanta residu dari limbah biomassa (%)
P :Jumlah Produksijumlah produksi biomassa (kg)
k :Nilai kalor, jumlah kalor yang tersimpan (MJ/kg)

Dengan rumus diatas maka dapat diketahui potensi energi biomassa dari bagasse di kabupaten Lampung Tengah yakni ;

$$\begin{aligned} &= (1 - 0,49) \cdot (0,29 \cdot 111.303.000) \cdot 18,1 \text{ setahun} \\ &= 297.957.018 \text{ MJ / tahun} \\ &= 82.765.838 \text{ kWh / tahun} \\ &= 9.448 \text{ kW.} \end{aligned}$$

2.1.3 Teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Biomasa

Berikut ini adalah diagram yang menggambarkan proses konversi energi biomassa menjadi energi listrik :



Gambar 2.3 konversi biomassa menjadi listrik

(sumber: <http://jcwinnie.biz>)

Teknologi pemanfaatan biomassa untuk energi berdasar pada sistem^[5]:

a. Pembakaran langsung

Pembakaran langsung melibatkan pembakaran biomassa dengan udara berlebihan, menghasilkan gas asap panas yang digunakan untuk menghasilkan uap di dalam bagian pertukaran panas dari boiler. Uap digunakan untuk menghasilkan listrik dalam generator turbin uap.

b. Pembakaran bersama

Pembakaran bersama mengarah pada penggunaan biomassa dalam boiler pembakar batu bara efisiensi tinggi sebagai sumber energi tambahan. Pembakaran bersama sudah dievaluasi untuk berbagai teknologi boiler termasuk batubara bubuk, cyclone, fluidized bed dan spreader stokers. Untuk perusahaan utilitas dan pembangkitan dengan sistem pembakar batu bara, pembakaran bersama dengan biomassa dapat merepresentasikan salah satu pilihan energi terbarukan berbiaya rendah.

c. Gasifikasi

Gasifikasi biomassa untuk menghasilkan energi melibatkan pemanasan biomassa dalam lingkungan beroksigen rendah untuk menghasilkan gas berkalori sedang atau rendah. Biogas ini kemudian digunakan sebagai bahan bakar dalam unit pembangkit listrik combined cycle yang terdiri atas turbin gas di siklus atas dan turbin uap di siklus bawah.

2.1.4 Aspek lingkungan

Teknologi biomassa lebih ramah terhadap lingkungan dibandingkan teknologi energi konvensional yang bersumber dari bahan bakar fosil. Saat ini bahan bakar fosil memberikan kontribusi terbesar terhadap masalah lingkungan seperti gas-gas rumah kaca, polusi udara dan kontaminasi air dan tanah. Teknologi biomassa dapat membantu kita untuk menghilangkan pola pemakaian energi konvensional untuk meningkatkan kualitas lingkungan hidup.

a. Kualitas udara

Penggunaan bioenergi dapat mengurangi emisi NO_x , SO_x , dan polutan udara lainnya terkait dengan penggunaan bahan bakar fosil.

b. Perubahan iklim global

Peningkatan emisi dan gas-gas rumah kaca dari penggunaan bahan bakar fosil, khususnya CO_2 , telah membuat efek rumah kaca semakin tinggi yang umum disebut perubahan iklim global atau pemanasan global. Teknologi biomassa menghasilkan sedikit sekali emisi CO_2 .

c. Konservasi tanah

Isu konservasi tanah terkait dengan produksi biomassa antara lain pengendalian erosi tanah, penyimpanan makanan, dan stabilisasi pinggir sungai.

d. Konservasi air

Siklus hidup teknologi biomassa dapat memberikan dampak terhadap stabilitas batas air, kualitas air tanah, aliran dan kualitas air permukaan dan penggunaan air setempat untuk irigasi pertanian dan/atau kebutuhan fasilitas pengolahan.

e. Keanekaragaman hayati dan perubahan habitat

Keanekaragaman hayati merupakan keragaman genetika dan spesies makhluk hidup dalam area atau wilayah tertentu. Perubahan penggunaan lahan untuk menunjang peningkatan produksi biomassa dapat menyebabkan perubahan habitat dan tingkat keragaman hayati.

2.2 Bagase

Bagase atau ampas tebu didapat dari sisa proses pembuatan gula, dimana tanaman tebu adalah hasil pertanian yang ditanam dan dipanen berdasarkan musim. Bagase adalah komoditas yang telah tersedia untuk digunakan, pada tahun 1992 sebanyak 610 juta ton bagase dihasilkan diseluruh dunia. Bagase ini digunakan untuk memproduksi energi listrik, etanol, makanan hewan, produksi kertas, dan bahan bangunan.

Pada masa sekarang ada peningkatan kecenderungan riset dalam kemungkinan untuk mengkonversikan biomassa seperti bagase menjadi bentuk lain dari energi yang bisa digunakan. Bagase pada dasarnya adalah limbah berserat dari tebu yang mengalami proses ekstraksi dan kristalisasi menjadi gula. Fraksi bagase diperoleh dari tebu mentah yang dihancurkan adalah sekitar 20% - 30%. Sebelumnya, bagasse dibakar sebagai sarana pembuangan limbah padat. Namun, karena biaya bahan bakar minyak, gas alam dan listrik meningkat setelah krisis energi pada tahun 1970, perhatian khusus diberikan pada bahan bakar alternatif. Akibatnya, konsep tentang pembakaran bagase berubah dan menjadi salah satu solusi untuk mengatasi krisis energi, yaitu dengan menggunakan bagase sebagai bahan bakar, terutama untuk pembangkit listrik tenaga listrik untuk meningkatkan kontribusi terhadap pasokan energi negara.

2.2.1 Karakteristik Fisik Bagase^[6]

Karakteristik fisik bagase adalah sebagai berikut :

1. Memiliki warna putih dan hijau muda
2. Tidak bau
3. Tipe berat spesifiknya adala 250 kg/m³
4. Kandungan utama terdiri dari 45% moisture, 50% selulosa
5. Kandungan energi sebesar 19.400 KJ/Kg bagase kering (abu)

2.2.2 Karakteristik Kimia Bagase

Untuk dapat digunakan sebagai bahan bakar ketel, maka kandungan uap air dalam bagase tidak boleh lebih dari 50%. Kandungan sabut (fibre) dalam tebu pada umumnya sekitar 12-15%, sehingga kandungan bagase dalam tebu sekitar 24-30% berat tebu.^[9]

Komposisi kimia dari bagase kering bervariasi, standar rata-rata komposisi hasil perhitungan yaitu meliputi kandungan :

Tabel 2.3. Kandungan senyawa kimia bagasse

Senyawa Kimia	Kadar (%)
C	49
H	6,5
O	42,7
N	0,2
S	0,1
Ash	1,5

Sumber: Bode Haryanto, USU Digital Library.^[4]

Rumusan kimia bagase yang diperkirakan tanpa kandungan air adalah **C₁₁₂₅H₁₈₀₀O₇₃₅N₄S** sedangkan rumusan kimia bagase dengan kandungan air diperkirakan adalah **C₁₁₂₅H₄₂₅₀O₁₉₈₅N₄S**. Nilai kalori kotor (*Gross Calorific Value / GCV*) dari abu bagase kering adalah 19400 KJ/Kg, bagase yang memiliki kandungan moisture sebesar 50% memiliki *GCV* sebesar 9.600 KJ/Kg dan nilai kalori bersih (*Nett Calorie Value / NCV*) sebesar 7.600 KJ/Kg. *GCV* juga dikenal sebagai nilai panas tertinggi (*Higher Heat Value / HHV*) dan *NCV* adalah nilai panas terendah (*Lower Heat Value / LHV*). Pada tulisan ini bagase digunakan sebagai bahan bakar pembangkit listrik tenaga biomasa dengan menggunakan metode gasifikasi.

Konversi efisiensi energi rata-rata untuk proses gasifikasi biomasa sekitar 60 – 70 % dan dirumuskan dengan persamaan berikut :

$$\eta_{\text{Gas}} = \frac{\text{nilai kalori gas / kg bahan bakar}}{\text{nilai kalori rata - rata setiap 1 kg bahan bakar}} \quad (2.3)$$

Contoh :

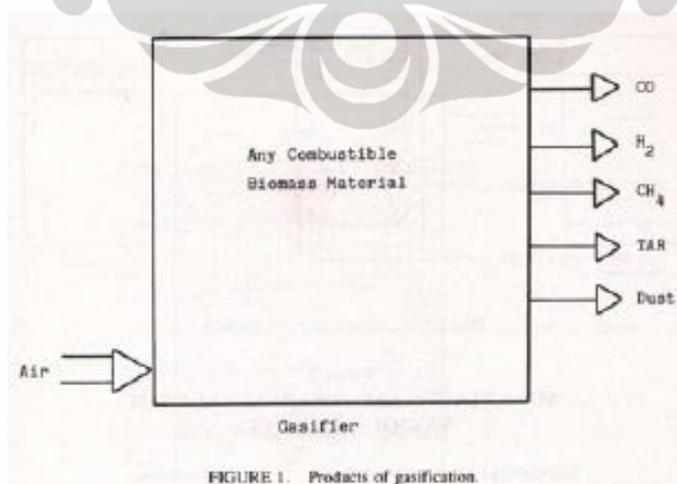
1 kg bahan bakar biomasa serbuk kayu menghasilkan 2.5 m³ gas dengan nilai rata-rata kalori adalah 5.4 MJ/m³. Nilai rata kalori serbuk kayu adalah 19.8 MJ/kg

$$\text{Jadi } \eta_{\text{Gas}} = \frac{2.5(\text{m}^3) \times 5.4(\text{MJ/m}^3)}{19.80(\text{MJ/kg}) \times 1(\text{kg})} = 68\%$$

2.3 Gasifikasi Biomassa

Gasifikasi merupakan proses yang menggunakan panas untuk merubah biomassa padat atau padatan berkarbon lainnya menjadi gas sintetik "seperti gas alam" yang mudah terbakar. Melalui proses gasifikasi, kita bisa merubah hampir semua bahan organik padat menjadi gas bakar yang bersih, netral. Gas yang dihasilkan dapat digunakan untuk pembangkit listrik maupun sebagai pemanas.

Untuk melangsungkan gasifikasi diperlukan suatu reaktor. Reaktor tersebut berfungsi sebagai tungku tempat berlangsungnya proses gasifikasi dan dikenal dengan nama gasifier. Ketika gasifikasi dilangsungkan, terjadi kontak antara bahan bakar dengan medium penggasifikasi di dalam *gasifier*. Kontak antara bahan bakar dengan medium tersebut menentukan jenis *gasifier* yang digunakan^[7]



Gambar 2.4 Produk hasil gasifikasi

Sumber : book "Alternative Energy in Agriculture", Vol. II, Ed. D. Yogi Goswami, CRC Press[7]

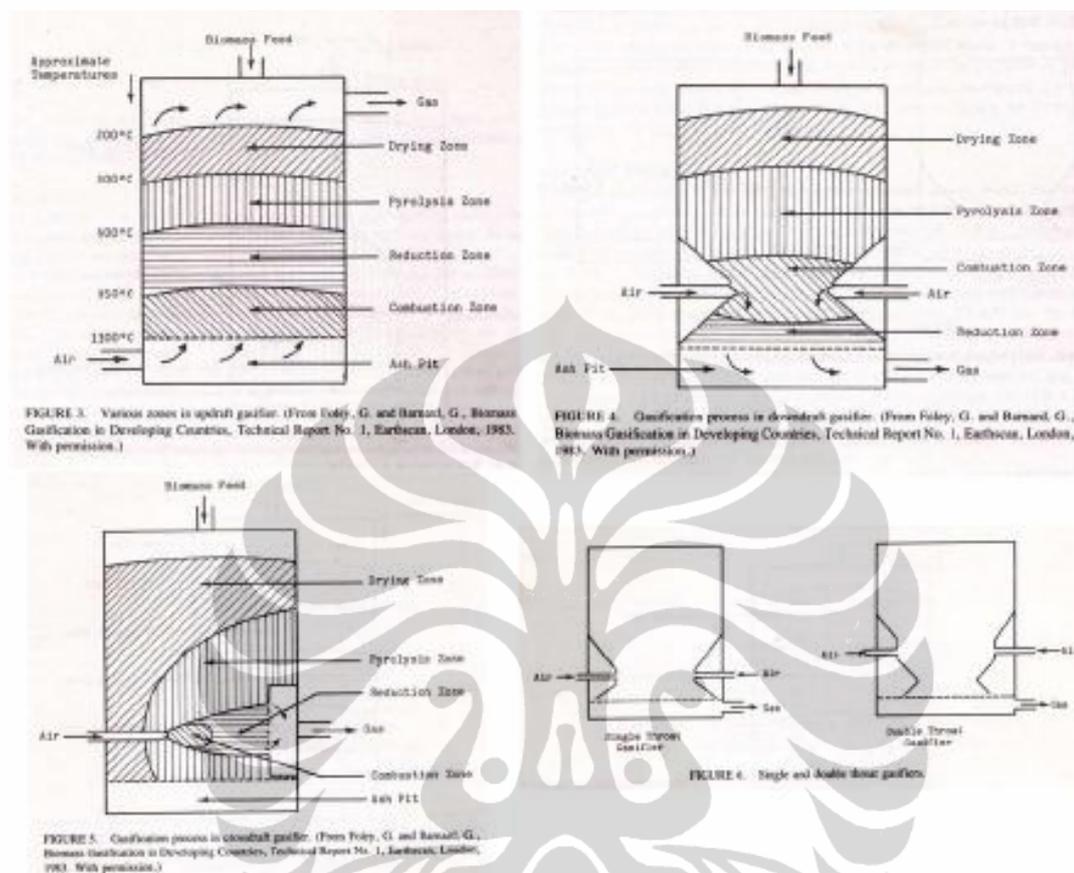
2.3.1 Proses Pembentukan Gas Sintetik

Secara sederhana, gasifikasi bisa dijelaskan sebagai proses pembakaran bertahap. Hal ini dilakukan dengan membakar padatan biomassa dengan ketersediaan oksigen yang terbatas, sehingga gas yang terbentuk dari hasil pembakaran masih memiliki potensi untuk terbakar. Bahan bakar gasifikasi dapat berupa material padatan berkarbon – biasanya biomassa (kayu atau limbah berselulosa). Semua senyawa organik mengandung atom karbon (C), hydrogen (H) dan oksigen (O), dalam wujud molekul kompleks yang bervariasi. Tujuan dari gasifikasi adalah untuk memutuskan ikatan dari molekul kompleks ini menjadi gas yang sederhana yaitu Hidrogen dan karbon monoksida (H_2 dan CO). Kedua gas ini merupakan gas yang mudah terbakar serta memiliki kerapatan energi dan densitas. Keduanya merupakan gas yang sangat bersih dan hanya memerlukan satu atom oksigen untuk dibakar menghasilkan karbon dioksida dan air (CO_2 , H_2O). Inilah yang menyebabkan pembakaran yang melalui proses gasifikasi memiliki emisi yang sangat bersih. Dalam prosesnya, gasifikasi merupakan rangkaian proses termal hingga terbentuk gas. Tujuan dari gasifikasi adalah untuk mengendalikan proses termal secara terpisah yang biasanya tercampur dalam proses pembakaran sederhana dan diatur sehingga menghasilkan produk yang diinginkan.

Gasifikasi terdiri dari empat tahapan terpisah: pengeringan, pirolisis, oksidasi/pembakaran dan reduksi. Keempat tahapan ini terjadi secara alamiah dalam proses pembakaran. Dalam gasifikasi keempat tahapan ini dilalui secara terpisah sedemikian hingga dapat menginterupsi “api” dan mempertahankan gas mudah terbakar tersebut dalam bentuk gas serta mengalirkan produk gasnya ke tempat lain. Salah satu cara untuk mengetahui proses yang berlangsung pada *gasifier* jenis ini adalah dengan mengetahui rentang temperatur masing-masing proses, yaitu:

- a. Pengeringan: $T > 150\text{ }^{\circ}C$
- b. Pirolisis/Devolatilisasi: $150 < T < 700\text{ }^{\circ}C$
- c. Oksidasi/pembakaran: $700 < T < 1500\text{ }^{\circ}C$
- d. Reduksi: $800 < T < 1000\text{ }^{\circ}C$

Proses pengeringan, pirolisis, dan reduksi bersifat menyerap panas (endotermik), sedangkan proses oksidasi bersifat melepas panas (eksotermik).



Gambar 2.5 Proses Gasifikasi

Sumber : book “Alternative Energy in Agriculture”, Vol. II, Ed. D. Yogi Goswami, CRC Press,

2.3.1.1 Pengeringan:

Pada pengeringan, kandungan air pada bahan bakar padat diuapkan oleh panas yang diserap dari proses oksidasi.

2.3.1.2 Pirolisis

Pada pirolisis, pemisahan *volatile matters* (uap air, cairan organik, dan gas yang tidak terkondensasi) dari arang atau padatan karbon bahan bakar juga menggunakan panas yang diserap dari proses oksidasi. Pirolisis atau devolatilisasi disebut juga sebagai gasifikasi parsial. Suatu rangkaian proses fisik dan kimia terjadi selama proses pirolisis yang dimulai secara lambat pada T 700 °C. Komposisi produk yang tersusun merupakan fungsi temperatur, tekanan, dan

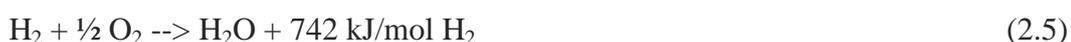
komposisi gas selama pirolisis berlangsung. Proses pirolisis dimulai pada temperatur sekitar 230 °C, ketika komponen yang tidak stabil secara termal, seperti lignin pada biomassa dan *volatile matters* pada batubara, pecah dan menguap bersamaan dengan komponen lainnya. Produk cair yang menguap mengandung tar dan PAH (*polyaromatic hydrocarbon*). Produk pirolisis umumnya terdiri dari tiga jenis, yaitu gas ringan (H_2 , CO , CO_2 , H_2O , dan CH_4), tar, dan arang.

2.3.1.3 Oksidasi (Pembakaran):

Pembakaran mengoksidasi kandungan karbon dan hidrogen yang terdapat pada bahan bakar dengan reaksi eksotermik, sedangkan gasifikasi mereduksi hasil pembakaran menjadi gas bakar dengan reaksi endotermik. Oksidasi atau pembakaran arang merupakan reaksi terpenting yang terjadi di dalam gasifier. Proses ini menyediakan seluruh energi panas yang dibutuhkan pada reaksi endotermik. Oksigen yang dipasok ke dalam gasifier bereaksi dengan substansi yang mudah terbakar. Hasil reaksi tersebut adalah CO_2 dan H_2O yang secara berurutan direduksi ketika kontak dengan arang yang diproduksi pada pirolisis. Reaksi yang terjadi pada proses pembakaran adalah:



Reaksi pembakaran lain yang berlangsung adalah oksidasi hidrogen yang terkandung dalam bahan bakar membentuk kukus. Reaksi yang terjadi adalah:



2.3.1.4 Reduksi (Gasifikasi)

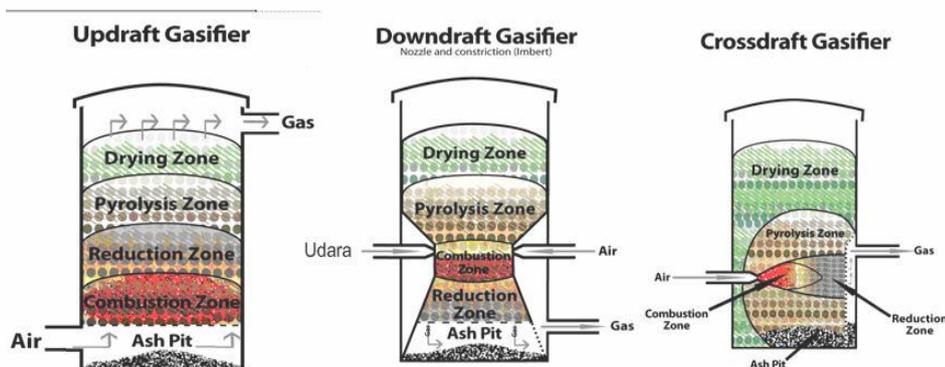
Reduksi atau gasifikasi melibatkan suatu rangkaian reaksi endotermik yang disokong oleh panas yang diproduksi dari reaksi pembakaran. Produk yang dihasilkan pada proses ini adalah gas bakar, seperti H_2 , CO , dan CH_4 . Reaksi berikut ini merupakan empat reaksi yang umum terlibat pada gasifikasi.





2.3.2 Jenis-Jenis Gasifier

Gasifier unggun tetap (Fixed bed gasifier) menggunakan sejumlah bahan padat dimana udara dan gas dapat lewat baik ke atas maupun ke bawah. Jenis ini merupakan tipe yang paling sederhana dan hanya digunakan untuk aplikasi dalam skala kecil. Yang termasuk dari jenis ini adalah up, down dan cross draft gasifier. Down-draft gasifier (gambar b) dikembangkan untuk merubah bahan bakar volatile (kayu, biomassa) menjadi gas dengan kandungan tar rendah. Up-draft gasifier (Gambar a) umum digunakan untuk gasifikasi batubara dan bahan bakar non-volatil seperti arang batu-bara. Namun demikian, karena tingginya kandungan tar-nya (5-20%) membuatnya tidak praktis untuk bahan bakar motor. Kros-draft gasifier (Crossdraft gasifier) merupakan gasifier yang paling sederhana dan paling ringan (gambar c). Sedangkan gasifier unggun terfluidakan (fluidized bed gasifier) lebih umum digunakan untuk skala besar dan gasifier yang menggunakan partikel yang relatif kecil. Dalam hal ini udara dialirkan dengan kecepatan tinggi sehingga bisa mengangkat partikel padatan. Gasifier suspensi partikel (suspended particle gasifier) menggerakkan suspensi menuju tungku panas, menyebabkan terjadinya pirolisis, pembakaran dan reduksi. Tipe ini hanya digunakan untuk gasifikasi skala besar. Untuk selanjutnya hanya akan dijelaskan lebih rinci mengenai gasifier unggun tetap (kros, up dan downdraft).^[8]



Gambar 2.6 Tipe-tipe Gasifikasi

Sumber : book "Alternative Energy in Agriculture", Vol. II, Ed. D. Yogi Goswami, CRC Press,

a. Gasifier Crossdraft

Pada tipe ini, udara masuk pada kecepatan tinggi melalui nozzle tunggal, termasuk beberapa aliran sirkulasi, dan mengalir sepanjang unggun dari bahan baku dan kokas (char). Hal ini menghasilkan temperature yang sangat tinggi pada volume yang sangat kecil sehingga menghasilkan gas tar yang rendah, sehingga memudahkan pengaturan yang cepat pada mesin bakar yang aa dijalankan. Bahan bakar beserta abu berguna sebagai isolator sepanjang dinding konstruksi gasifier, sehingga mild-steel dapat digunakan sebagai material konstruksi kecuali nozel dan grate-nya yang memerlukan bahan lain, refraktori atau pendingin. Nozel berpendingin udara atau air cukup umum digunakan. Pencapaian temperature yang tinggi memerlukan bahan bakar dengan kadar abu rendah untuk mencegah penyumbatan.

b. Updraft Gasifier

Tipe ini telah umum digunakan untuk bahan bakar batubara sejak 150 tahun yang lalu. Selama pengoperasian, biomassa diumpankan di bagian atas sementara udara masuk melalui grate yang umumnya di selubungi oleh abu. Grate berada dibagian bawah gasifier, dimana udara bereaksi dengan biomassa menghasilkan CO₂ yang sangat panas dan H₂O. Sebaliknya, CO₂ dan H₂O bereaksi kembali dengan kokas menghasilkan CO dan H₂. Temperatur dibagian grate harus dibatasi dengan menambahkan kukus atau resirkulasi gas keluaran untuk mencegah rusaknya greates dan penyumbatan akibat tingginya temperature ketika karbon bereaksi dengan udara. Gas panas yang naik mempirolisa biomasa diatasnya kemudian mendingin sepanjang proses. Biasanya 5-20 persen tar dan minyak terbentuk pada suhu yang terlalu rendah dan terbawa pada aliran gas produk. Panas yang tersisa juga mengeringkan biomassa yang masuk sehingga hampir tidak ada energi yang hilang dari gas. Up draft gasifier terbatas digunakan hingga kapasitas 10 giga joule/jam.m² dibatasi oleh stabilitas unggun atau fluidisasi, pergerakan atau pemanasan berlebih yang menurunkan efesiensi.

c. Downdraft Gasifier

Bagian atas dari silinder gasifier diisi bahan bakar yang selama operasi, setiap beberapa jam diisi dan diposisikan tertutup ketika beroperasi. Penutup ini juga difungsikan sebagai keran pengaman (safety valve) untuk mengantisipasi terjadinya ledakan.

Kira-kira sepertiga bagian dari atas, terdapat nozel untuk mengalirkan udara ke biomassa yang siap di gasifikasi. Biasanya nozelnya berjumlah ganjil dan dihubungkan dengan distributor. Distributor ini juga terhubung dengan udara luar untuk menyediakan udara yg cukup untuk pembakaran. Biasanya juga terdapat lubang untuk pembakaran awal dalam memulai proses gasifikasi.

Selama operasi, udara yang masuk membakar dan mempiralisa sebagian bahan bakar, sebagian besar tar dan minyak, dan sebagian arang yang mengisi gasifier dibawah nozel. Sebagian besar padatan dikonversi menjadi biomassa di zona pembakaran ini karena biomassa mengandung sekitar 80% senyawa volatil. Gasifier memiliki sifat pengaturan mandiri. Jika arang tidak cukup, pada bagian nozel, lebih banyak kayu yang akan terbakar dan terpirolisa untuk menghasilkan lebih banyak arang. Jika arang terlalu banyak pada kondisi pengisian penuh, jumlah char meningkat sekitar nozel sehingga menghambat udara masuk dan pada akhirnya mengurangi jumlah arang. Begitulah zona reaksi dikendalikan pada bagian nozel.

Dibawah nozel udara merupakan zona reduksi, yang merupakan bagian inti gasifier. Biasanya bagian ini berbentuk „V“, namun model terbaru ada juga yang berbentuk datar. Peningkatan kualitas isolasi di bagian ini akan menurunkan produksi tar dan peningkatan efisiensi operasi. Gas CO₂ dan H₂O yang dihasilkan di zona pirolisis dan pembakaran mengalir melalui arang ini dimana terjadi reduksi parsial membentuk gas CO dan H₂. Proses ini menyebabkan pendinginan gas karena sebagian panas dirubah menjadi energi kimia. Proses ini menghilangkan sebagian besar arang/kokas dan meningkatkan kualitas dari sin-gas. Ujung-ujungnya arang/kokas „dilarutkan“ oleh gas ini dan dipecah-pecah menjadi partikel kecil kemudian dipisahkan di siklon. Tar yang tidak terbakar

pada nozel dapat terpecah lebih lanjut pada kokas panas. Abu kokas bisa menyumbat unggun kokas dan mengurangi aliran gas sehingga harus dibersihkan. Umumnya gasifier dilengkapi grate yang bisa di getar-getarkan untuk membersihkan gasifier dari penyumbatan oleh abu.

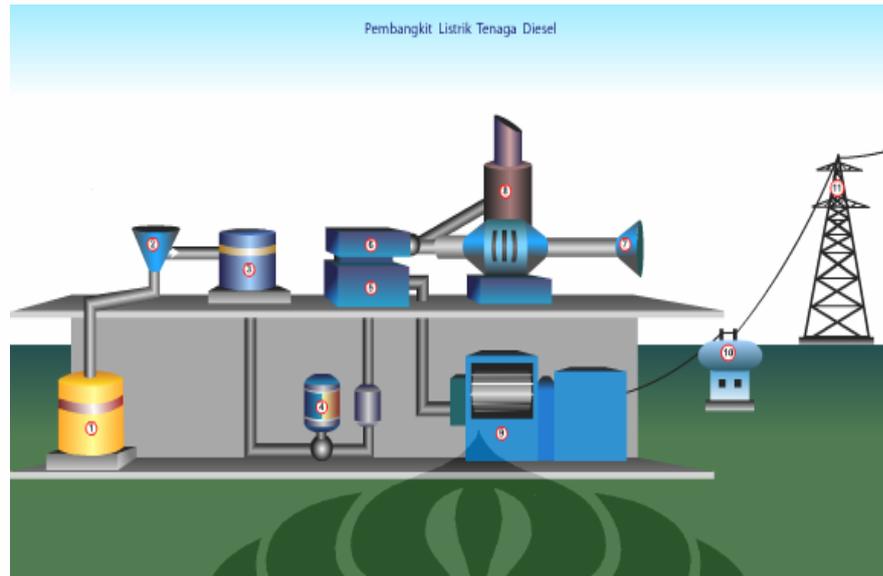
2.4 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD)

Pusat Listrik Tenaga Diesel (PLTD) sesuai untuk diimplementasikan pada lokasi dimana pengeluaran bahan bakar rendah, persediaan air terbatas, minyak sangat murah dibandingkan dengan batubara dan semua beban dasarnya adalah seperti yang dapat ditangani oleh mesin pembangkit dalam kapasitas kecil, serta dapat berfungsi dalam waktu yang singkat. Kegunaan utama PLTD adalah penyedia daya listrik yang dapat berfungsi untuk pusat pembangkit, cadangan (stand by plant), beban puncak dan cadangan untuk keadaan darurat (*emergency*)^[9].

Faktor-faktor yang merupakan pertimbangan pilihan yang sesuai untuk PLTD antara lain :

- a. Jarak dari beban dekat
- b. Persediaan areal tanah dan air
- c. Pondasi, tidak diperlukan untuk PLTD jenis mobile
- d. Pengangkutan bahan bakar
- e. Kebisingan dan kesulitan lingkungan

Bagian-bagian utama pada PLTD adalah mesin (motor) diesel dan generator. Mesin diesel adalah motor bakar berfungsi menghasilkan tenaga mekanis yang dipergunakan untuk memutar rotor generator. Mesin diesel menggunakan bahan bakar minyak diesel dengan kecepatan tinggi, bekerja dengan prinsip pembakaran kompresi dan menggunakan dua langkah putaran dalam operasi, ini digunakan bilamana mesin berkapasitas tinggi.



Gambar 2.7 Cara Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Diesel

Sumber : <http://www.pln.co.id/InfoUmum/ElectricityEvocation>

Keterangan gambar ^[10]:

1. *Fuel Tank*
2. *Fuel oil separator*
3. *Daily tank*
4. *Fuel oil booster*
5. *Diesel motor* : menghidupkan mesin diesel untuk mempunyai energi untuk bekerja
6. *Turbo charger* : menaikkan efisiensi udara yang dicampur dengan bahan bakar dan menaikkan tekanan serta temperaturnya.
7. *Air intake filter* : Perangkat untuk mengalirkan udara
8. *Exhaust gas silincer* : Peredam dari sisa gas yang digunakan
9. *Generator* : Menghasilkan energi listrik
10. *Pengubah utama* : Alat pengubah utama untuk menjadi energi listrik
11. *Jalur transmisi* : Penyaluran energi listrik ke konsumen

Daya yang dihasilkan oleh kerja mesin diesel ditentukan faktor-faktor sebagai berikut^[9] :

$$P = \frac{P_e \cdot v \cdot i \cdot n}{450000 \cdot a} \quad (2.10)$$

Dengan :

- Pe adalah tekanan efektif yang bekerja
- v adalah volume langkah silinder yang dapat dicapai
- i adalah jumlah silinder
- n adalah putaran permenit atau kecepatan putar mesin
- a bernilai 2 untuk tipe mesin 4 langkah
bernilai 1 untuk tipe mesin 2 langkah

Untuk jenis 2 langkah daya keluarannya adalah 2 kali jenis 4 langkah, tetapi jenis 4 langkah banyak dipilih karena efisiensi bahan bakar yang digunakan lebih besar. Mesin diesel adalah motor bakar dimana daya yang dihasilkan diperoleh dari pembakaran bahan bakar. Adapun daya yang dihasilkan akan berubah menjadi :

- | | |
|---|-----|
| a. Daya manfaat | 40% |
| b. Panas yang hilang untuk pendingin | 30% |
| c. Panas yang hilang untuk pembuangan gas | 24% |
| d. Panas yang hilang dalam pergeseran, radiasi dan sebagainya | 6% |

Keuntungan jika menggunakan PLTD sebagai pembangkit listrik adalah daya listrik tersedia sesuai dengan kebutuhan, secara teknis handal, layanan purna jual relatif mudah diperoleh, biaya investasi (Rp/kW) relatif murah.

Kelemahan PLTD antara lain : biaya operasi dan pemeliharaan mahal, memerlukan transportasi penyediaan dan penyimpanan BBM, menimbulkan polusi udara, kebisingan, dan bau, memerlukan pemeliharaan rutin, sistem operasi tidak efisien (boros) pada kondisi beban rendah.

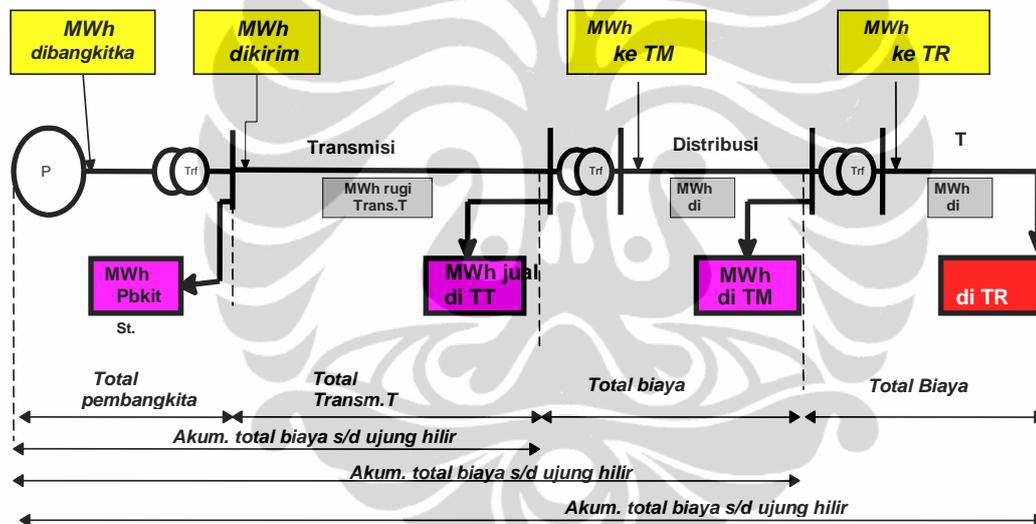
2.5 Biaya Pokok Penyediaan Tenaga Listrik

Dalam bisnis ketenagalistrikan komponen utama yang harus menjadi pertimbangan adalah biaya pokok penyediaan tenaga listrik. Suatu perusahaan didirikan dengan tujuan ingin memperoleh laba, meraih pangsa pasar dengan mendayagunakan seluruh sumber daya yang dimiliki secara efektif dan efisien.

Hingga saat ini harga jual tenaga listrik kepada masyarakat masih belum melalui mekanisme pasar, namun masih diatur melalui penetapan tarif oleh

pemerintah. Pendekatan pembenaran yang lazim pada penetapan harga/tarif yang diatur adalah melalui biaya. Sehingga pada dasarnya tarif adalah merupakan refleksi dari biaya. Oleh sebab itu alur berfikir di dalam penetapan tarif dapat dipilah antara lain ; penetapan biaya penyediaan tenaga listrik secara efisien (total biaya; HPP); perhitungan biaya yang dikontribusikan oleh masing-masing pelanggan (HPP/Load Curve); pengalokasian beban biaya kepada masing-masing pelanggan (rasio Tarif/HPP); penjabaran tarif ke dalam struktur tarif.

Pemilahan biaya menurut sifatnya dapat dibedakan antara lain *Fixed Cost* (biaya tetap) dan *Variable Cost* (biaya variabel), sementara berdasarkan fungsinya biaya dapat dibagi menjadi biaya pembangkitan, biaya transmisi, biaya distribusi dan biaya retail.

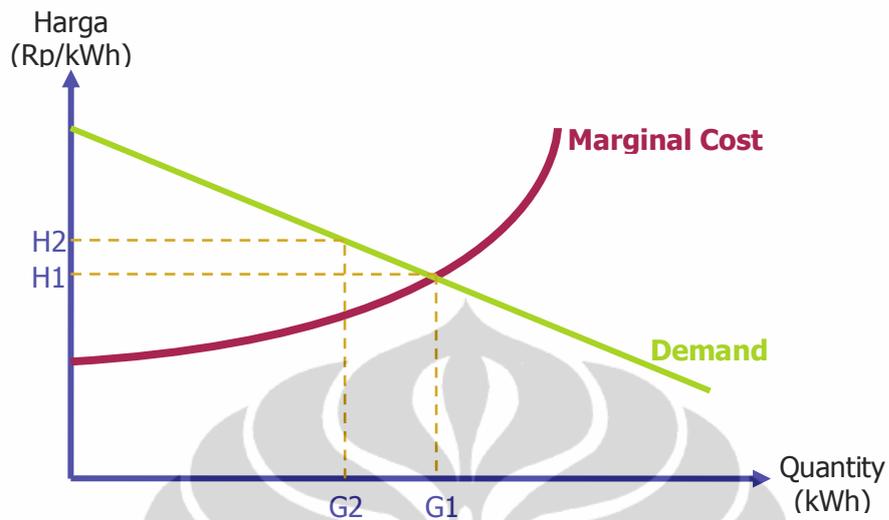


Gambar 2.8 Bagan perhitungan total biaya pokok penyediaan (kapasitas + energi)

Dalam bisnis ketenagalistrikan hal mendasar yang perlu diperhatikan adalah konsep biaya marginal (*marginal cost*) yang pada dasarnya merupakan pertambahan biaya untuk memenuhi pertambahan (output) beban. Biaya marginal akan lebih mencerminkan situasi keseimbangan permintaan (*demand*) dan suplai (*supply*) yaitu; harga tinggi jika permintaan mendekati batas suplai (konsep 'scarcity of supply') dan harga rendah jika suplai berlimpah.

Biaya marginal akan memberi signal yang benar mengenai kondisi *demand-supply* sistem kelistrikan, baik kepada konsumen maupun investor. Konsumen

akan bereaksi terhadap harga tinggi saat terjadi kelangkaan suplai dan investor akan didorong untuk menanamkan investasinya saat harga tinggi.



Gambar 2.9 Grafik hubungan marginal cost dan demand.

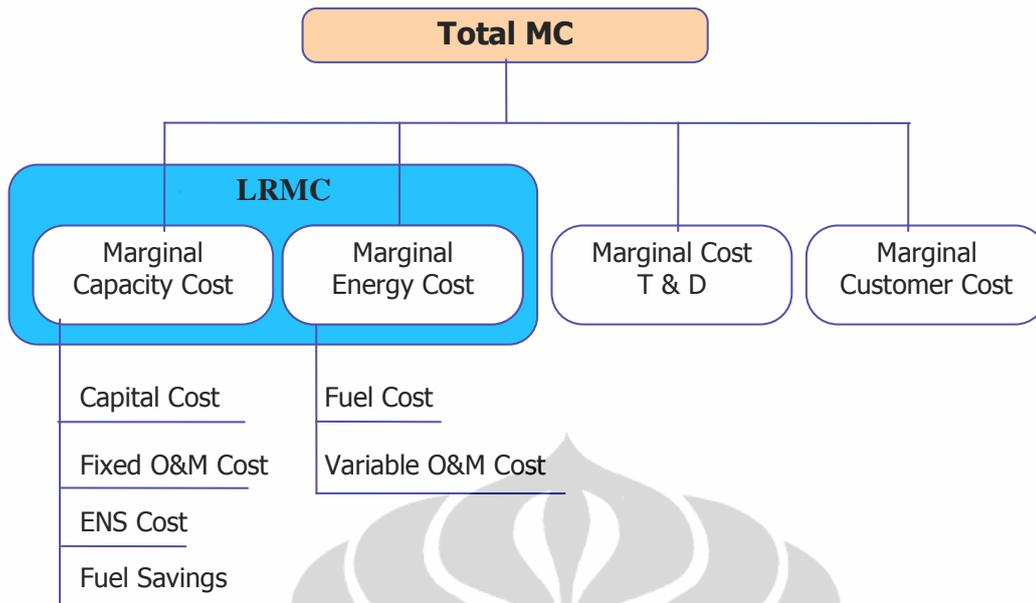
Dalam Industri Ketenagalistrikan Marginal-Cost dibedakan berdasarkan;

Long Run Marginal Cost (LRMC)

Yaitu mencari biaya produksi yang paling murah dengan asumsi fleksibilitas faktor-faktor produksi (seperti: modal, bahan bakar). Dalam LRMC perhitungannya berdasarkan proyeksi ke depan dan dibedakan antara lain biaya marginal kapasitas pembangkit, biaya marginal kapasitas jaringan dan biaya marginal energi.

Short Run Marginal Cost (SRMC) :

Yaitu memegang kapasitas apa adanya, jadi hanya mencerminkan kenaikan biaya operasi, yaitu kenaikan kWh hanya dilayani dengan membakar lebih banyak bahan bakar.



Gambar 2.10 Struktur / komponen total biaya marginal.

Biaya marginal kapasitas pembangkit menurut metoda ”*Peaker*” dipakai untuk menghitung prakiraan biaya ini dengan dasar pemikiran bahwa biaya yang paling kecil untuk mendapatkan kapasitas adalah unit penanggung beban puncak dan jenis pembangkit lainnya diperuntukan bagi penghematan energi.

Biaya tahunan yang merupakan biaya marginal kapasitas pembangkit disesuaikan untuk cadangan serta pemakaian sentral.

Biaya Marginal Kapasitas Pembangkit (C_{mc}) :

$$(C_{mc}) = [(K) (1 + RM/100) / (1 + SL/100)] \quad (2.11)$$

dimana ;

K = Biaya tahunan peaking unit (Rp./kW-tahun)

RM = Perencanaan reserve margin (%)

SL = Pemakaian sentral (%)

Biaya marginal kapasitas jaringan; pendekatan yang sering digunakan untuk memperkirakan biaya marginal jaringan transmisi (T&D) adalah metoda Long Run Average Incremental Cost (LRAIC). LRAIC merupakan *present value* dari seluruh investasi T&D selama jangka waktu perencanaan tertentu dibagi dengan

present value dari penambahan beban puncak tahunan dalam jangka waktu yang sama.

Biaya marginal energi; terdiri atas biaya marginal bahan bakar dan biaya variabel O&M didasarkan kepada pendekatan campuran pembangkit yang dioperasikan pada margin dalam periode WBP dan LWBP

