

2. DASAR TEORI

Pada masa sekarang ini di negara-negara berkembang seperti di negara kita ini kebutuhan akan energi listrik semakin hari semakin meningkat, terutama dengan semakin berkembangnya sektor industri, pendidikan, telekomunikasi, teknologi dan lain sebagainya. Sumber energi listrik tersebut dapat diperoleh dari pengubahan suatu energi primer menjadi bentuk energi lainnya secara langsung ataupun tidak langsung. Sistem langsung atau biasa disebut sistem konvensional energi, dimana energi primer dikonversikan menjadi energi listrik dengan bantuan suatu mediator perantara, seperti turbin, motor bakar, dan lain sebagainya. Pada sistem tidak langsung atau sistem non konvensional disini energi primer dikonversikan menjadi energi listrik tanpa mediator atau perantara, sebagai contohnya adalah solarcell, fotosintesis, dan sebagainya.

Pada sistem konvensional banyak macam atau tipe pembangkitan tenaga listrik yang digunakan untuk menunjang serta menyediakan tenaga listrik, antara lain pembangkit listrik tenaga air (PLTA), pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD), pembangkit listrik tenaga gas (PLTG), pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN), pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTPB), pembangkit listrik tenaga surya (PLTS)

Hal-hal yang harus diperhatikan dalam merencanakan suatu sistem pembangkitan listrik adalah :

1. Jenis pembangkit.
2. Daya yang dibutuhkan.
3. Biaya operasi dan perawatan serta biaya pembangunan.

4. Lokasi pusat pembangkitan.
5. Keuntungan dan kerugian sistem pembangkitan.

Berdasarkan hal-hal tersebut diatas, maka dalam sektor industri banyak digunakan pembangkit energi listrik tenaga diesel sebagai penambah daya listrik ataupun sebagai emergency power. Suplai PLN dipakai sebagai main supply untuk memenuhi kebutuhan listrik di industri. Sedangkan untuk emergency power didapat dari pembangkit energi listrik tenaga diesel. Kedua sumber energi listrik tersebut tidak dapat bekerja bersama-sama melainkan bergantian, bila supply dari PLN down atau mengalami gangguan maka genset akan bertindak sebagai main supply. Sedangkan bila keadaan kembali normal maka PLN akan bertindak sebagai main supply dan genset akan off.

Adapun perbandingan keuntungan serta kerugian kedua macam sistem pembangkit adalah sebagai berikut:

Sumber Listrik PLN

Keuntungan :

1. Tidak ada polusi udara dan suara.
2. Tidak menghasilkan limbah buangan.
3. Operasional cost dan maintenance cost murah.
4. Umur pemakaian relatif lama.
5. Mudah perencanaannya karena hemat tempat.

Kerugian:

1. Kontinuitas tergantung dari situasi operasional PLN.
2. Biaya beban tertentu (batas pemakaian minimum) harus selalu dibayar meski jarang pemakaiannya atau tidak mencapai batas penggunaan minimum.

Sumber Listrik PLTD

Keuntungan :

1. Kontinuitas handal.
2. Tegangan mudah diatur
3. Kestabilan terjamin.
4. Umur pemakaiannya relatif lama.

Kerugian:

1. Timbul polusi suara yang dapat mengganggu lingkungan sekitar.
2. Tidak dapat menanggung beban lebili.
3. Menyebabkan polusi suara dan pencemaran lingkungan.

2.1 Sumber Tenaga Listrik PLN

Pemakaian sumber tenaga listrik PLN digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik di industri, seperti untuk A.C, penerangan, peralatan elektronik seperti komputer. Suplai listrik dari PLN di industri pelayanannya diambil dari jaringan transmisi yang disalurkan ke gardu induk (GI) yang ada di lokasi industri dengan tegangan sebesar 20 KV. Dari jaringan transmisi 20 KV ini kemudian didistribusikan ke tegangan 3 KV melalui trafo penurun tegangan (step down transformer) dan kemudian diterima oleh main substation.

2.2 Sumber Tenaga Listrik Diesel

Sistem pembangkitan listrik tenaga diesel ini menggunakan generator dengan sistem penggerak tenaga diesel atau yang biasa dikenal dengan sebutan Genset (Generator Set). PLTD ini merupakan pembangkit tenaga listrik yang ada

di industri dan tenaga listrik ini digunakan untuk cadangan apabila suplay dari PLN padam, baik itu akibat tegangan drop maupun hal-hal yang bersifat teknis seperti halnya bila ada pemadaraan listrik dari PLN yang biasanya sudah dikonfirmasi terlebih dahulu.

Ada 2 komponen utama dalam genset yaitu :

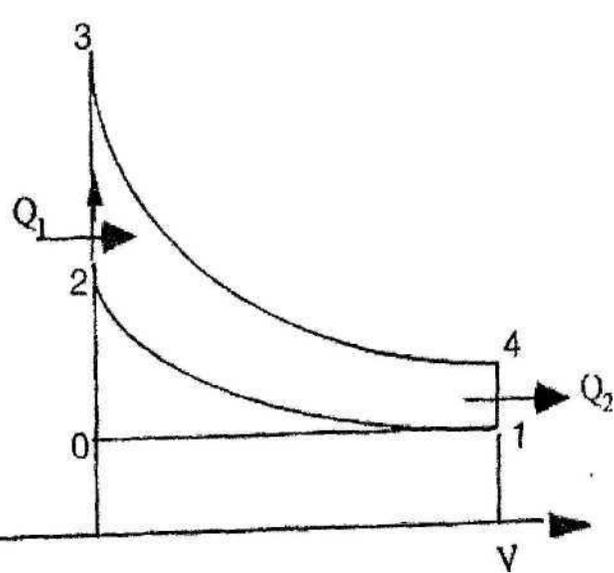
1. Prime mover atau penggerak mula, dalam hal ini mesin diesel/engine.
2. Generator.

2.2.1 Prime Mover / Penggerak Mula

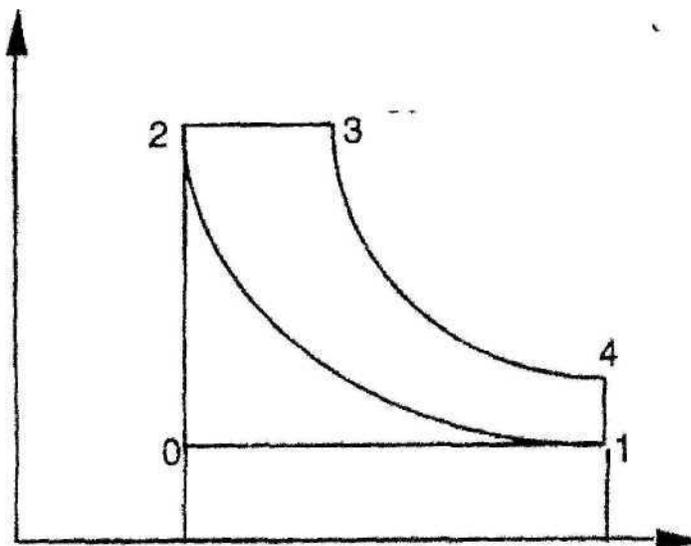
Prime mover merupakan peralatan yang mempunyai fungsi menghasilkan energi mekanis yang diperlukan untuk memutar rotor generator. Penggerak mula yang dipakai dalam suatu PLTD adalah diesel/engine.

Pada mesin diesel/engine terjadi penyalaan sendiri, karena proses kerjanya berdasarkan udara murni yang dimampatkan di dalam silinder pada tekanan yang tinggi (± 30 atm), sehingga temperatur di dalam silinder naik. Dan pada saat itu bahan bakar disemprotkan dalam silinder yang bertemperatur dan bertekanan tinggi melebihi titik nyala bahan bakar sehingga akan menyala secara otomatis. Bahan bakar yang menyala ini menimbulkan ekspansi gas yang akan menggerakkan piston turun ke bawah untuk melakukan langkah kerja. Jadi dalam hal ini engine tidak memerlukan karburator untuk mencampur bahan bakar dengan udara karena telah bercampur dengan sendirinya di dalam silinder. Pada sebuah mesin yang mempergunakan siklus percikan kompresi tidak diperlukan busi, karena percikan yang terjadi disebabkan oleh kompresi udara yang tinggi di dalam silinder sehingga suhu menjadi tinggi. Pada mesin diesel penambahan

panas atau energi senantiasa dilakukan pada tekanan yang konstan. Prinsip tersebut mirip dengan siklus Otto.



Gambar 2.1 Siklus Otto¹



Gambar 2.2 Siklus Diesel²

¹ Rahardjo Tnatmodjo Penggerak Mula p 25

² Ibid p58

Pada mesin diesel, piston melakukan 2 langkah pendek menuju kepala silinder pada setiap langkah daya. Pada langkah ke atas yang pertama adalah langkah pemasukan dan penghisapan, disini udara dan bahan bakar masuk sedangkan poros engkol berputar ke bawah. Kemudian langkah kedua poros engkol terus berputar menyebabkan torak naik dan menekan bahan bakar sehingga terjadi pembakaran. Dan kedua proses ini merupakan langkah dari proses pembakaran. Langkah ketiga adalah langkah ekspansi dan kerja, disini kedua katub yaitu katub masuk dan keluar tertutup sedangkan poros engkol terus berputar dan menarik kembali torak ke bawah. Langkah keempat adalah langkah pembuangan, disini katub buang terbuka dan menyebabkan gas akibat sisa pembakaran terbang keluar. Gas dapat keluar karena pada proses keempat ini torak kembali bergerak naik keatas dan menyebabkan gas dapat keluar. Kedua proses terakhir ini merupakan proses pembuangan. Setelah proses keempat dilakukan maka proses yang berikutnya akan mengulang kembali proses yang pertama, dimana udara dan bahan bakar masuk kembali. Proses yang terjadi pada mesin diesel dapat digambarkan sebagai berikut:



Berdasarkan kecepatan proses diatas maka diesel dapat digolongkan menjadi 3 bagian, maka :

1. Diesel kecepatan rendah ($n < 400$ rpm)
2. Diesel kecepatan menengah (400 - 1000 pm)
3. Diesel kecepatan tinggi ($n > 1000$ rpm)

Hal-hal yang harus diperhatikan dalam pemilihan suatu mesin diesel antara lain :

- Efisiensi thermal tinggi, yaitu sekitar 45 %.
- Design nozzle tidak memerlukan perawatan yang terlalu rumit
- Tekanan efektif yang rata-rata tinggi,
- Mudah distart.
- Pada detonasi tidak menghasilkan suara mesin yang mengganggu.
- Efisiensi volumetris tinggi.
- Gas buang tidak mengandung polusi yang berbahaya.

Keuntungan pemakaian mesin diesel sebagai Prime Mover :

- Design dan instalasi sederhana.
- Auxiliary equipment sederhana.
- Waktu pembebanan relatif singkat.
- Konsumsi bahan bakar relatif murah dan hemat.

Kerugian pemakaian mesin diesel sebagai Prime Mover :

- * Berat mesin sangat berat karena harus dapat menahan getaran serta kompresi yang tinggi.
- * Starting awal berat, karena kompresinya tinggi yaitu sekitar 200 bar.
- * Semakin besar daya maka mesin diesel tersebut dimensinya makin besar pula, hal tersebut menyebabkan kesulitan jika daya mesinnya sangat besar.

Sistem-sistem dalam mesin diesel/engine adalah :

- a. sistem starting.
- b. sistem bahan bakar.
- c. sistem udara dan gas buang.
- d. sistem pendingin.
- e. sistem pelumasan.

a. Sistem Starting

Sistem starting adalah proses untuk menghidupkan/menjalankan mesin diesel. Ada 3 macam sistem starting yaitu :

1. Sistem Start Manual

Sistem start ini dipakai untuk mesin diesel dengan daya yang relatif kecil yaitu < 30 PK. Cara untuk menghidupkan mesin diesel pada sistem ini adalah dengan menggunakan penggerak engkol start pada poros engkol atau poros hubung yang akan digerakkan oleh tenaga manusia. Jadi sistem start ini sangat bergantung pada faktor manusia sebagai operatornya.

2. Sistem Start Elektrik

Sistem ini dipakai oleh mesin diesel yang memiliki daya sedang yaitu < 500 PK. Sistem ini menggunakan motor DC dengan suplai listrik dari baterai/accu 12 atau 24 volt untuk menstart diesel. Saat start, motor DC mendapat suplai listrik dari baterai atau accu dan menghasilkan torsi yang dipakai untuk menggerakkan diesel sampai mencapai putaran tertentu. Baterai atau accu yang dipakai harus dapat dipakai untuk menstart sebanyak 6 kali tanpa diisi kembali, karena arus start yang dibutuhkan motor DC cukup besar maka juga dipakai dinamo yang berfungsi sebagai generator DC. Pengisian ulang baterai atau accu digunakan alat bantu berupa battery charger dan pengaman tegangan. Pada saat diesel tidak bekerja maka battery charger mendapat suplai listrik dari PLN, sedangkan pada saat diesel bekerja maka suplai dari battery charger didapat dari generator. Fungsi dari pengaman tegangan adalah untuk memonitor tegangan battery atau accu. Sehingga apabila tegangan dari battery atau accu sudah mencapai 12/24 volt, yang merupakan tegangan standarnya, maka hubungan antara battery charger dengan baterai atau accu akan diputus oleh pengaman tegangan.

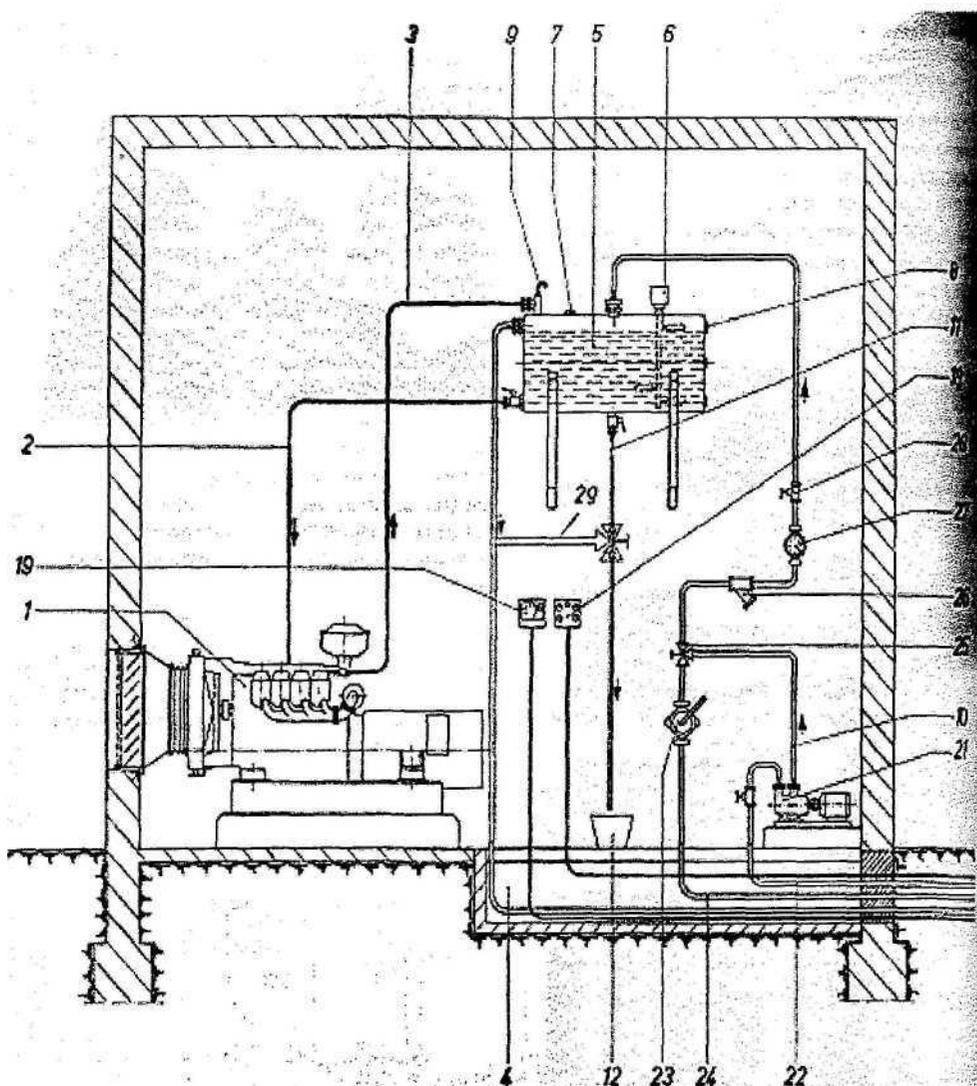
3. Sistem Start Kompresi

Sistem start ini dipakai oleh diesel yang memiliki daya besar yaitu (>500 PK). Sistem ini memakai motor dengan udara bertekanan tinggi untuk start dari mesin diesel. Cara kerjanya yaitu dengan menyimpan udara ke dalam suatu botol udara. Kemudian udara tersebut dikompresi sehingga menjadi udara panas dan bahan bakar solar dimasukkan ke dalam *Fuel Injection Pump* serta disemprotkan lewat *nozzle* dengan tekanan tinggi. Akibatnya akan terjadi pengkabutan dan pembakaran di ruang bakar. Pada saat tekanan di dalam tabung turun sampai batas minimum yang ditentukan, maka kompressor akan secara otomatis menaikkan tekanan udara di dalam tabung hingga tekanan dalam tabung mencukupi dan siap dipakai untuk melakukan starting mesin diesel.

b. Sistem Bahan Bakar

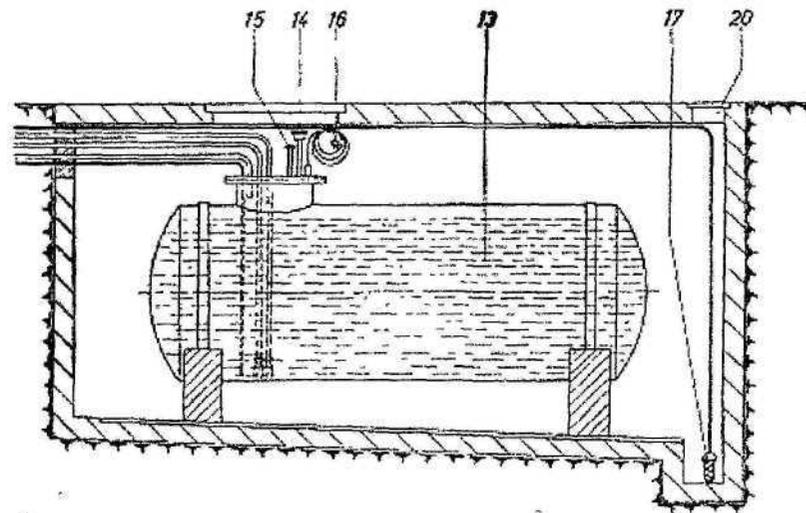
Bahan bakar yang digunakan pada mesin diesel adalah bahan bakar solar. Solar tersebut mengalir dari tangki solar harian menuju ke dalam pompa injeksi (*injection pump*) untuk diinjeksikan ke dalam silinder dengan tekanan di atas 250 bar. Pompa injeksi ini harus dapat mengangkat solar dari tangki solar ke mesin diesel dengan ketinggian tertentu melalui filter bahan bakar dengan tekanan yang konstan. Kontrol dari volume tangki solar harian adalah berupa sebuah *level controller*. Alat tersebut akan mengeluarkan sinyal *low* apabila solar dalam tangki kurang, dan kemudian akan memberikan perintah kepada *fuel inlet* untuk membuka sehingga *fuel transfer pump* akan mengalirkan solar dari *fuel storage tank* sampai tangki terisi penuh. Setelah tangki terisi penuh maka *controller* akan memberikan sinyal *high* dan sinyal tersebut akan memerintahkan *fuel inlet* untuk

menutup. Agar sistem bahan bakar dapat berjalan dengan baik maka proses dari sistem bahan bakar ini harus terhindar dari adanya kandungan udara. Kandungan udara yang terdapat dalam bahan bakar dapat menyebabkan terhambatnya aliran bahan bakar solar ke dalam *injection pump*, sehingga diesel sulit untuk distrait. Peristiwa masuknya udara dalam sistem bahan bakar ini sering disebut dengan "masuk angin".



Gambar 2.3 Sistem balian bakar³

³ Motoren-Werke Mannheim AG. Diesel Generator Manual, p. 102.



Gambar 2.4 (Cont.) Sistem balian bakar⁴

Keterangan gambar :

- 1 : Diesel three phase current generating set
- 2 : Fuel supply line
- 3 : Leakage fuel return line
- 4 : fuel pipe duct
- 5 : Daily service fuel tank
- 6 : Level switch
- 7 : Connection for electrical or pneumatical level indication
- 8 : Optical fuel level control
- 9 : Tank ventilation
- 10 : Filling line to daily service tank
- 11 : Drainage line for sludge and condensation water
- 12 : Collecting tank

⁴ibid. p. 103.

- 13 : Fuel storage tank
- 14 : Filling connection
- 15 : Tank ventilation
- 16 : Overflow protection devices
- 17 : Leakage fuel feeler gauge
- 18 : Leakage indicator
- 19 : Tank level indicator
- 20 : Opening with cover for inspection of leakages
- 21 : Electrical fuel pump
- 22 : Suction line
- 23 : Manually operated fuel pump
- 24 : Suction line
- 25 : Switch over cock
- 26 : Fuel prefilter
- 27 : Fuel flow meter
- 28 : Shut-off valve
- 29 : Drainage line

c. Sistem Udara dan Gas Buang

Pada sistem pembakaran bahan bakar diperlukan udara begitu pula pada sistem pendinginan juga dibutuhkan udara. Udara yang dibutuhkan masuk melalui kisi-kisi pada bagian bawah dinding ruang pembangkit, yang digunakan untuk menangkap debu serta kotoran dari udara yang akan diserap oleh diesel, sehingga pembakaran yang akan terjadi akan memakai udara yang bersih dan dapat

menghasilkan daya maksimal. Hasil sisa dari pembakaran bahan bakar adalah berupa gas buang monoksida yang bersifat mencemari udara. Oleh karena itu pembuangan gas buang ini harus dilakukan dengan baik dan terisolasi.

d. Sistem Pendinginan

Sistem pendinginan pada mesin diesel dan generator harus diperhatikan dengan seksama karena merupakan hal yang sangat penting untuk menunjang kinerja dari genset dan juga akan menentukan kualitas dari sistem pembangkit. Secara umum fungsi dari sistem pendinginan terdiri dari 3 macam, yaitu :

- a. Pendinginan oli, bertujuan untuk mengontrol temperatur oli, sehingga viskositas dari oli dapat terjaga pada kondisi yang tetap dapat menghasilkan pelumasan yang efektif.
- b. Pendinginan mesin, bertujuan untuk menjaga temperatur yang dapat diterima oleh komponen-komponen mesin.
- c. Pendinginan udara, bertujuan untuk menaikkan densitas udara yang masuk ke silinder sehingga tenaga output dari diesel dapat meningkat serta juga memelihara temperatur dari katup pengeluaran udara.

Ada 2 macam sistem pendinginan yang dikenal, yaitu :

1. Sistem Pendinginan dengan Air.

Sistem ini biasanya dipakai pada diesel dengan kapasitas daya yang besar.

Ada 2 macam sistem pendingin air, yaitu :

® Sistem Pendinginan Air Tertutup

Pada sistem ini, air yang bersirkulasi didinginkan kembali oleh radiator. Pada selang waktu tertentu akan dilakukan penambahan air untuk mengganti sejumlah air yang hilang pada proses diatas. Sistem ini sendiri terbagi atas 2 macam, yaitu:

- Sistem yang memakai kipas dengan tenaga diesel

Sistem ini menggabungkan diesel dan radiator menjadi satu. Tingkat kebisingannya lebih besar dan panas yang dihasilkan juga lebih besar.

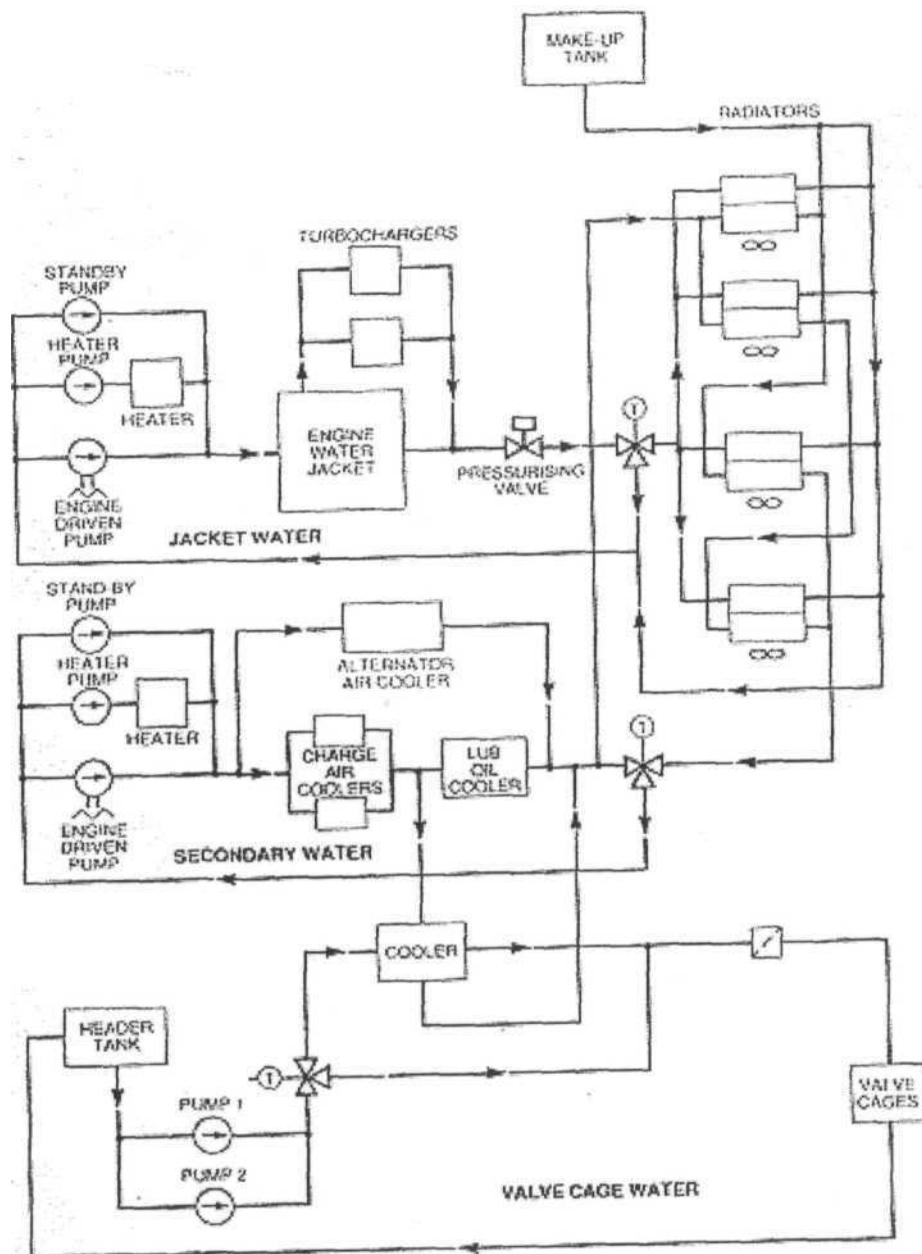
- Sistem yang memakai kipas dengan tenaga listrik

Pada sistem ini radiator ditempatkan di luar ruangan sehingga tidak menimbulkan suara bising dalam ruangan. Pada sistem ini diperlukan biaya operasi, perawatan serta investasi yang lebih besar karena pipa yang dipakai sebagai penyambung semakin panjang pula, hal tersebut tergantung dari jarak sistem ke radiator.

*t Sistem Pendinginan Air Terbuka

Pada sistem ini penambahan air ke dalam tower hams dilakukan secara kontinu agar tidak sampai habis. Agar tidak terjadi pengendapan kerak, ganggang air dan lumut di dalam saluran pendingin sebaiknya air terlebih dahulu diolah. Kerak disebabkan oleh endapan-endapan di dalam air yang mengeras, biasanya diberi larutan 10% HCl untuk menghancurkan kerak. Prinsip kerja sistem ini adalah air dingin dikirim ke dalam silinder dengan bantuan pompa. Air panas dari silinder didinginkan dengan disemprot larutan air dingin dan disirkulasikan kembali dengan bantuan pompa. Suhu dari air dingin harus tetap $\pm 70^{\circ}\text{C}$. Jika suhu

<70°C maka oli pelumas tidak akan dapat tersebar merata, sedangkan jika suhu >70°C maka oli akan terbakar.



Gambar 2.5 Sistem Air Pendingin

⁵British Electricity International. Modern Power Station Practice Electrical System and Equipment Volume D. p.786.

2. Sistem Pendinginan dengan Udara.

Sistem ini biasanya dipakai pada diesel dengan kapasitas daya yang kecil. Sistem ini akan lebih efektif bila memakai udara yang dilewatkan langsung melalui *silinder head*, di ruangan ini juga harus ada *exhaust fan* untuk mengalirkan udara panas dari dalam ke luar serta membawa udara segar sebagai penggantinya. Kipas yang dipakai dalam sistem ini mendapat suplai listrik dari generator serta digerakkan oleh diesel dengan jalan memasang sabuk penghubung antara rotor mesin dengan rotor kipas. Operasional kipas bekerjanya bergantung pada engine/diesel. Pipa pendingin udara harus dibuat sependek mungkin agar tidak mengganggu kinerja dari diesel dan dihubungkan dengan puncak dari rangka mesin diesel.

Keuntungan dari sistem ini antara lain:

- Konstruksinya sederhana.
- Perawatan relatif mudah dan aman penggunaannya.
- Udara keluar membawa panas dari mesin.
- Terhindar dari gangguan penyumbatan.

Kerugian dari sistem ini antara lain :

- Sangat bising.
- Keperluan pipa untuk saluran pembuangan udara sangat banyak.
- Membutuhkan udara segar yang cukup banyak.

e. Sistem Pelumasan

Sistem pelumasan sangat berguna untuk mengurangi panas dan juga aus yang diakibatkan dari gesekan antara bagian-bagian mesin. Oleh karena itu

lifetime dan efisiensi dari diesel juga sangat ditentukan oleh sistem pelumasan ini. Cara pelumasan yaitu dengan jalan mensirkulasikan oli/minyak dari tangki (yang disaring terlebih dahulu oleh *oil filter*, untuk menghilangkan kandungan garam) menuju ke dalam sistem tertutup pada mesin-mesin yang akan dilumasi. Minyak pelumas yang telah menyerap panas akan didinginkan terlebih dahulu di dalam *oil cooler* dengan air pendingin untuk menghilangkan air bekas proses pendingin. Proses pemanasan dan juga untuk mencairkan biasanya digimakan *lube oil heater*, sehingga dapat masuk pada celah mesin yang kecil. Dari oil cooler minyak pelumas disirkulasikan lagi ke bagian yang membutuhkan pelumasan dan akhirnya ditampung dalam *carter*.

Keterangan gambar 2.6:

- | | |
|----------------------------|-----------------------------------|
| 1 : Main oil tank | 10 : Pressure accumulator |
| 2 : Vent Blower | 11 : Seal Oil Supply |
| 3 : Drain | 12 : Limit switch (LS) |
| 4: Tank mounted | 13 : Differential pressure switch |
| 5 : Seal oil cooler | 14 : Transmitter (T) |
| 6 : Generator | 15 : Alarm |
| 7 : Continuous vent return | |
| 8 : Gear Interlock | |
| 9: Mid Point | |

2.2.2 Generator

Generator adalah mesin yang dapat mengubah tenaga mekanis menjadi tenaga listrik melalui proses induksi elektromagnetik. Generator ini memperoleh energi mekanis dari prime mover. Generator arus bolak-balik dikenal dengan sebutan alternator. Generator diharapkan dapat mensuplai tenaga listrik pada saat terjadi gangguan, dimana suplai tersebut digunakan untuk beban prioritas. Prinsip kerja dari generator sesuai dengan hukum Lens, yaitu arus listrik yang diberikan pada stator akan menimbulkan momen elektromagnetik yang bersifat melawan putaran rotor sehingga menimbulkan EMF pada kumparan rotor. Tegangan EMF ini akan menghasilkan suatu arus jangkar. Jadi diesel sebagai prime mover akan memutar rotor generator, kemudian rotor diberi eksitasi agar menimbulkan medan magnet yang berpotongan dengan konduktor pada stator dan menghasilkan tegangan pada stator. Karena ada dua kutub yang berbeda, utara dan selatan, maka tegangan yang dihasilkan pada stator adalah tegangan bolak-balik. Besarnya tegangan induksi memenuhi persamaan :

$$E_g = 4,44 * K_c * K_d * T * f * \Phi \quad (2.1)^7$$

Dimana :

E_g = tegangan efektif per phase (volt); λ^{\wedge} = faktor jarak kumparan (pitch);

K^{\wedge} = faktor distribusi; T = jumlah lilitan per phase;

f = frekuensi (hertz); Φ = fluks per kutub.

⁷ Theraja B.L. Text Book of Electrical Technology Nirja Construction and Development, p.903.

Generator AC (generator arus bolak-balik)

Generator AC bekerja dengan prinsip induksi elektromagnetik. Generator AC terdiri dari stator yang merupakan elemen diam dan rotor yang merupakan elemen berputar dan terdiri dari belitan-belitan medan. Pada generator AC jangkanya diam sedangkan medan utamanya berputar dan lilitan jangkanya dihubungkan dengan dua cincin geser.

a. Kerja Paralel/Sinkronisasi Generator

Generator diputar oleh penggerak mula, dalam hal ini sebagai penggerak mulanya adalah mesin diesel. Untuk mendekati putaran sinkronnya, maka penguatnya diatur sehingga tegangan terminal generatonya sama. Untuk mendekati frekuensi dan urutan phasanya, kedua generator tersebut menggunakan lampu *synchronoscope* yang menggunakan hubungan cahaya berputar dengan hubungan terang dan gelap. Sebagai indikasi generator telah bekerja paralel adalah dengan melihat lampu *synchronoscope* tersebut, jika lampu padam maka generator telah bekerja paralel. Syarat-syarat kerja paralel generator adalah :

- Tegangan terminal kedua generator yang akan dihubungkan dengan sistem harus sama.
- Putaran dari generator harus sedemikian sehingga frekuensi dari tegangan yang dihasilkan kedua generator sama.
- Fasa dari kedua generator harus sama pada saat dihubungkan. Jelas urutan fasa dari kedua generator harus sama.

Toleransi-toleransi tertentu dalam sebuah kerja paralel generator antara lain :⁸

- Beda tegangan efektif $\pm 5\%$.
- Beda phasa $\pm 5\%$.
- Frekuensi incoming generator lebih besar 0,2% dari frekuensi sistem/busbar.

2.3 Transformator

Transformator adalah alat untuk memindahkan daya listrik arus bolak-balik dari suatu rangkaian ke rangkaian lain secara induksi elektromagnetik, baik untuk mentransformasikan tegangan maupun arus listrik yang berbeda nilai tetapi frekuensinya tetap. Pada umumnya alat ini memiliki efisiensi yang tinggi yaitu lebih besar dari 85%. Keuntungan yang didapat dari pemakaian transformator dalam suatu sistem suplai listrik yaitu mendapatkan kemungkinan untuk memilih besar tegangan yang sesuai dengan kebutuhan, Gandengan magnet yang terdapat pada trafo biasanya merupakan suatu inti besi yang berlaminasi. Inti ini merupakan suatu sarana penyebab terjadinya suatu fluks magnetik.

Pada umumnya bagian dari transformator adalah :

- Rangkaian listrik, terdiri dari lilitan primer, lilitan sekunder dan isolasi.
- Rangkaian magnetik, terdiri atas limbs, yokes dan susunan pengikat.
- Terminal, terdiri atas tapping switch dan terminal insulator.
- Tangki minyak, konservator dan peralatan tambahan lainnya.

Berdasarkan fungsi kerjanya, transformator diklasifikasikan atas :

- Transformator daya (*power transformer*).
- Transformator distribusi (*distribution transformer*).

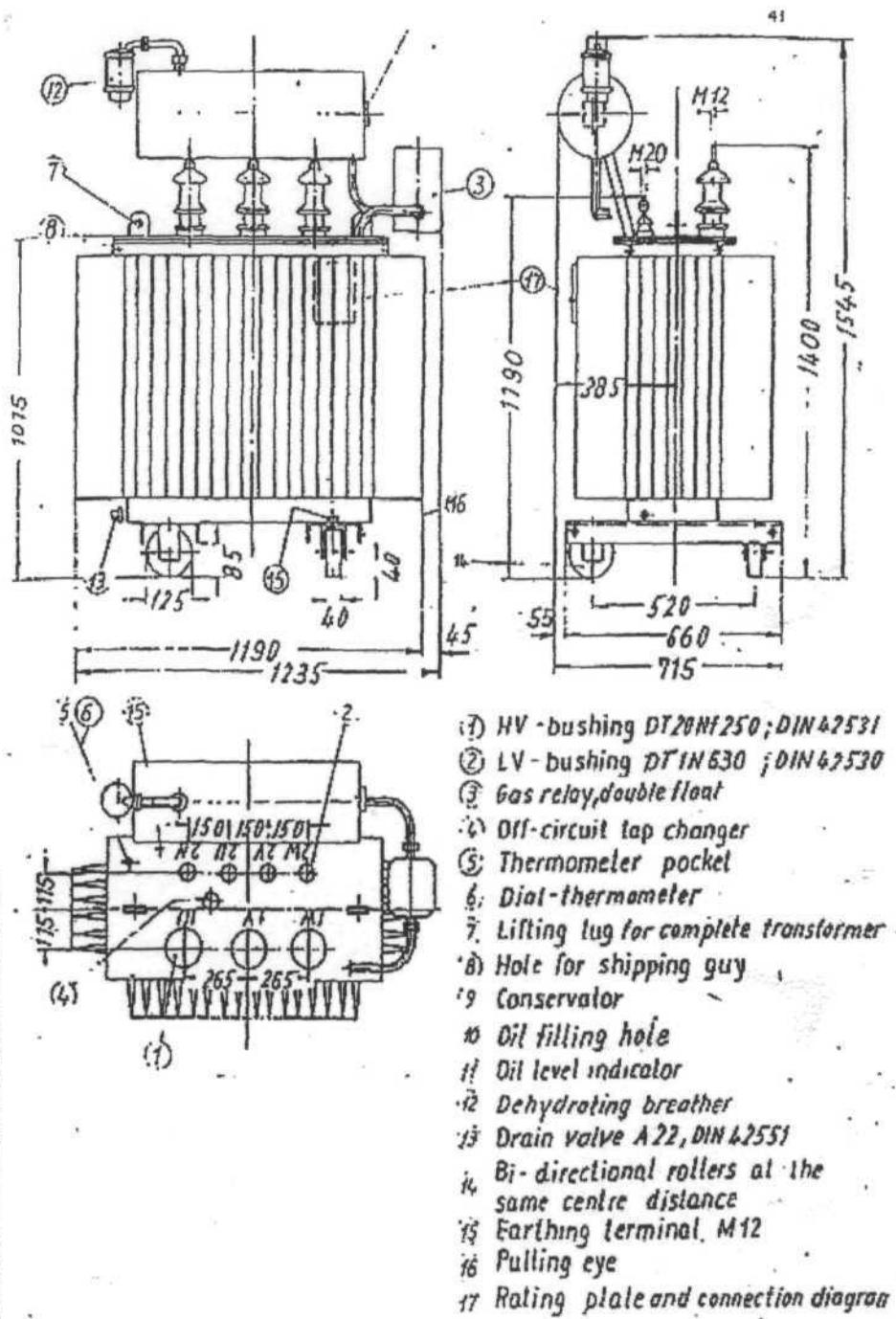
⁸ Laughton MA, Say MG. Electrical Engineering's Reference Book, p.1 1.

- Transformator pengetesan (*testing transformer*).
- Transformator instrumen (*instrument transformer*).

a. Transformator Daya (*Power Transformer*)

Transformator daya adalah merupakan komponen paling utama di sebuah gardu induk. Fungsinya adalah mentransformasikan harga arus dan tegangan pada harga daya dan frekuensi yang sama, yakni menerima tegangan tinggi/extra tinggi pada sisi primemnya dan kemudian tegangan dirubah menjadi tegangan yang lebih rendah. Transformator distribusi ini terdiri atas dua macam yaitu transformator step up dan transformator step down. Dalam pengoperasiannya pada sebuah gardu induk, transformator daya ini dilengkapi dengan perlengkapan-periengkapan pendukung, antara lain :

- Relay-relay pengaman
- Circuit breaker
- Disconnecting switch
- Arrester
- Sistem pentanahan
- Instrumen pendukung, dan sebagainya.

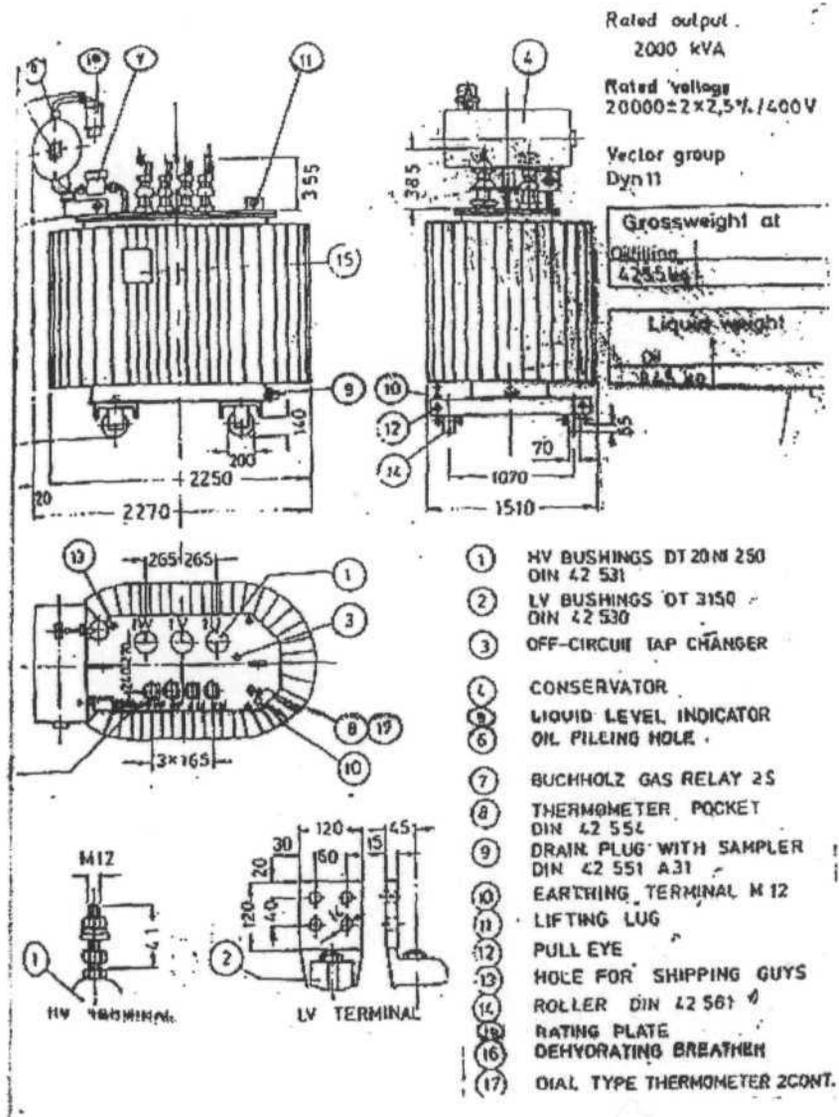


Gambar 2.7 Transformator Daya⁹

⁹ Mahon L.L.J. Diesel Generator Handbook, p.79.

b. Transformator Distribusi (Distribution Transformer)

Transformator distribusi meupakan trafo daya, yang memiliki kapasitas daya lebih kecil dari trafo gardu induk, dan peranannya mentransformasikan tegangan menengah (tegangan output dari trafo gardu induk) ke tegangan rendah untuk selanjutnya disalurkan ke beban.



Gambar 2.8 Transfonnator Distribusi¹⁰

¹⁰ Ibid. p.80.

c. Transformator Instrumen (*Instrument Transformer*)

Transformator jenis ini merupakan transformator yang seringkali dipakai dengan peralatan ukur. Transformator ini dibedakan atas dua macam yaitu :

i. Transformator Arus

Transformator arus atau current transformer dalam sistem distribusi fungsi utamanya adalah untuk mentransformasikan harga arus, dari harga tinggi ke rendah, dengan harga transformasi tertentu, untuk keperluan pengukuran dan pendeteksian. Dengan cara menggunakan trafo arus, maka dapat diperoleh data arus secara langsung tanpa pemutusan rangkaian pengukuran dan data arus cukup berdasarkan perbandingan transformasinya. Hal tersebut sesuai dengan persamaan:

$$\frac{I1}{I2} = \frac{N2}{N1} \quad (2.2)^{11}$$

ii. Transformator Tegangan

Transformator tegangan atau potensial transformer fungsi kerjanya adalah untuk mentransformasikan harga tegangan, dari tegangan tinggi ke tegangan rendah, untuk menghindari bahaya resiko tegangan yang sangat tinggi dan menghindari penggunaan alat ukur dengan dimensi. Ketelitian pada transformator ini penting, karena perbandingan antara tegangan sekunder dengan tegangan primer harus sebanding. Hal ini sesuai dengan persamaan :

$$\frac{V1}{V2} = \frac{N1}{N2}$$

¹¹ Zuhail. Dasar Tenaga Listrik. p. 50.

¹² Ibid. p.52.

Pada pengoperasian *di* gardu induk maupun gardu distribusi, trafo arus dan trafo tegangan biasanya digabung dalam satu koordinasi kerja.

2.4 Beban

Dalam perencanaan suatu sistem pembangkitan listrik, kita juga harus memperhatikan masalah besarnya beban yang harus dipenuhi. Untuk menentukan besarnya daya yang harus dipenuhi tersebut, haruslah diketahui dahulu besarnya beban tersebut. Disamping itu juga harus memperhatikan mengenai perkembangan kebutuhan daya yang mungkin akan bertambah untuk masa yang akan datang, sehingga pada suatu ketika membutuhkan penambahan daya maka tidak perlu untuk melakukan instalasi ulang.

Disamping itu harus diperhatikan juga tentang suplai terhadap beban essential, yaitu suatu kelompok beban yang membutuhkan suplai listrik yang kontinu dan keandalannya sangat tinggi, atau dengan kata lain sebuah suplai yang kontinu dan stabil. Pada umumnya beban essential ini mendapat prioritas utama dalam hal penyediaan suplai listrik, bahkan biasanya disediakan suplai cadangan khusus apabila main suplai mengalami gangguan.

2.5 Aspek Ekonomis

Aspek-aspek ekonomis dalam suatu sistem pembangkitan listrik meliputi biaya modal dasar, biaya perawatan, biaya pemakaian beban, biaya gaji para karyawan. Secara umum dalam perhitungan aspek ekonomi ada dua macam perhitungan pembiayaan dalam suatu sistem suplai listrik, yaitu biaya tetap (*fixed cost*) dan biaya tidak tetap (*variable cost*).

2.5.1 Biaya Tetap (Fixed Cost) PLN dan Genset

Biaya tetap merupakan biaya tetap yang harus dikeluarkan setiap tahun tanpa memperhatikan apakah sumber energi listrik tersebut dipakai atau tidak. Jadi dalam hal ini tidak tergantung dari besarnya jumlah pemakaian KWH. Biaya tetap ini ada beberapa macam yaitu :

i. Biaya Modal Dasar

Biaya modal ini dapat terdiri dari 2 bagian, yaitu :

1. Biaya Penyusutan

Biaya per tahun yang digunakan untuk mengembalikan modal pinjaman atau biaya per tahun yang digunakan untuk membeli peralatan baru sebagai peralatan pengganti dari peralatan lama yang telah habis umurnya.

2. Biaya Bunga Modal

Biaya per tahun yang dipakai untuk membayar bunga dari modal pinjaman. Perhitungan dari kedua macam biaya diatas biasanya dilakukan per tahun.

$$\text{Biaya Modal Dasar} = T * S$$

$$T = b / (1 - [1 / (1 + b)]^u) \quad (2.4)^{13}$$

Keterangan: T = faktor penyusutan

S = biaya pembangunan

u = umur ekonomis peralatan

b = bunga pinjaman per tahun

¹³ Jerry J. Weygandt, Donald E, Walter G. Kell. Accounting Principles, p.412.

ii. Biaya Gaji Karyawan

Biaya per tahun yang digunakan untuk membayar gaji dari karyawan yang bertugas mengawasi operasional sistem suplai listrik.

Hi. Biaya Beban PLN

Biaya beban adalah kontrak pemasangan daya listrik untuk menyuplai kebutuhan pabrik sesuai dengan kewajiban pengguna jasa PLN. Untuk Tarif Dasar Listrik yang berlaku sampai sekarang.

2.5.2 Biaya Tak Tetap (Variable Cost) PLN dan Genset

Biaya tak tetap merupakan biaya yang harus dikeluarkan per tahun, dimana besarnya tergantung dari pemakaian daya listrik.

i. Sumber Energi Listrik PLN

Untuk sumber energi PLN biaya tidak tetapnya terdiri dari :

- Biaya pemakaian daya dalam rupiah per KWH sesuai Tarif Dasar Listrik yang berlaku.
- Denda kelebihan KVARH jika power faktor <0.85 .
- Biaya maintenance peralatan.

ii. Suplai Listrik Diesel Generator

Biaya tidak tetap dari suplai diesel generator terdiri atas;

- Biaya penggunaan KWH (termasuk penggunaan bahan bakar, pelumas, dan air).
- Biaya maintenance peralatan.

2.5.3 Metode Perhitungan Depresiasi

Besarnya depresiasi dapat dihitung dengan berbagai macam metode yaitu:

i. Metode Garis Lurus

Metode ini merupakan cara yang paling sederhana dan paling umum dimana harga perolehan aktiva dialokasikan selama umur produktif. Aktiva dalam jumlah yang sama besar untuk setiap tahunnya.

$$\text{Depresiasi per tahun} = \frac{\text{Harga perolehan aktiva} - \text{Nilai residu}}{\text{Taksiran umur kegunaan}} \quad (2.5)^{14}$$

ii. Metode Prosentase dari Nilai Buku

Penyusutan setiap tahun tidak sama besarnya. Tahun pertama lebih besar daripada tahun kedua dan seterusnya, dimana taksiran umur aktiva dijumlahkan semua. Perbedaan metode ini dengan metode garis lurus terletak pada cara perhitungan. Cara perhitungan metode ini yaitu prosentase depresiasi dikalikan dengan nilai buku aktiva.

$$\text{Depresiasi per tahun} = \text{Nilai buku pada awal tahun} \times \% \text{ fase depresiasi} \quad (2.6)^{15}$$

iii. Metode Satuan Hasil Produksi

Cara menghitung depresiasinya yaitu dengan menaksir jumlah satuan hasil produksi yang dapat dihasilkan oleh aktiva tetap, selama masa produktifnya.

¹⁴ Ibid, p.411.

¹⁵ Ibid, p.415.

Adapun cara menghitung satuan hasil produksi:

$$\text{Taksiran depresiasi per satuan hasil} = \frac{\text{Harga perolehan aktiva} - \text{Taksiran nilai residu}}{\text{Taksiran total unit produksi yang dihasilkan}} \quad (2.7)^{16}$$

¹⁶ Ibid, p.414.