

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Mesin Penggerak

Mesin penggerak adalah suatu mesin yang amat vital dalam proses permesinan yang berhubungan dengan gaya mekanik yang bertujuan untuk mendapat efek gerakan pada suatu komponen yang diam dengan adanya mesin penggerak maka komponen itu berkerja dengan semestinya. Ada pun secara umum pengklasifikasi mesin penggerak yaitu ada 2 mesin penggerak listrik dan motor bakar.

2.1.1 Motor Penggerak Listrik

Motor listrik adalah alat untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Alat yang berfungsi sebaliknya, mengubah energi mekanik menjadi energi listrik disebut generator atau dinamo. Motor listrik dapat ditemukan pada peralatan rumah tangga seperti kipas angin, mesin cuci, pompa air dan penyedot debu.

Dalam memahami sebuah motor listrik, penting untuk mengerti apa yang dimaksud dengan beban motor. Beban mengacu kepada keluaran tenaga putar/torsi sesuai dengan kecepatan yang diperlukan. Beban umumnya dapat dikategorikan ke dalam tiga kelompok:

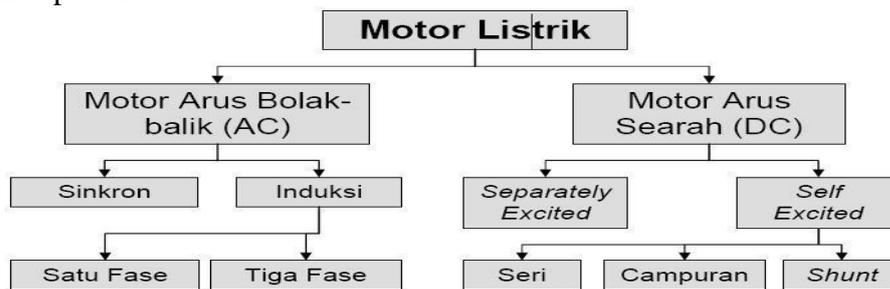
- Beban torsi konstan, adalah beban dimana permintaan keluaran energinya bervariasi dengan kecepatan operasinya, namun torsinya tidak bervariasi. Contoh beban dengan torsi konstan adalah conveyors, rotary kilns, dan pompa displacement konstan.
- Beban dengan torsi variabel, adalah beban dengan torsi yang bervariasi dengan kecepatan operasi. Contoh beban dengan torsi variabel adalah pompa sentrifugal dan fan (torsi bervariasi sebagai kwadrat kecepatan).
- Beban dengan energi konstan, adalah beban dengan permintaan torsi yang berubah dan berbanding terbalik dengan kecepatan. Contoh untuk beban dengan daya konstan adalah peralatan-peralatan mesin.



Gambar 2.1 Motor Listrik (wikipedia)

2.1.2 Jenis-jenis Motor Listrik

Bagian ini menjelaskan tentang dua jenis utama motor listrik: DC dan AC. Motor-motor ini diklasifikasikan berdasarkan pasokan input, konstruksi, dan mekanisme operasi



Gambar 2. Klasifikasi Jenis Utama Motor Listrik

Gambar 2.2 Klasifikasi Jenis Utama Motor Listrik (<http://elektronika-dasar.web.id/>)

- **Motor Listrik DC (arus searah)**

Motor arus searah,(motor DC) sebagaimana namanya, menggunakan arus langsung yang tidak langsung/*direct-unidirectional*. Motor DC digunakan pada penggunaan khusus dimana diperlukan penyalaan *torque* yang tinggi atau percepatan yang tetap untuk kisaran kecepatan yang luas.

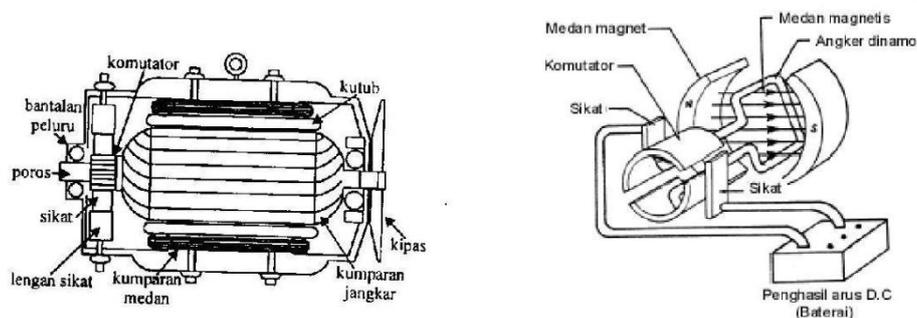
Ada tiga komponen utama dalam motor listrik DC:

- 1) Kutub medan. Secara sederhana digambarkan bahwa interaksi dua kutub magnet akan menyebabkan perputaran pada motor DC. Motor DC memiliki kutub medan yang stasioner dan dinamo yang menggerakkan

bearing pada ruang diantara kutub medan. Motor DC sederhana memiliki dua kutub medan: kutub utara dan kutub selatan. Garis magnetik energi membesar melintasi bukaan diantara kutub-kutub dari utara ke selatan. Untuk motor yang lebih besar atau lebih kompleks terdapat satu atau lebih elektromagnet. Elektromagnet menerima listrik dari sumber daya dari luar sebagai penyedia struktur medan.

- 2) Dinamo. Bila arus masuk menuju dinamo, maka arus ini akan menjadi elektromagnet. Dinamo yang berbentuk silinder, dihubungkan ke as penggerak untuk menggerakkan beban. Untuk kasus motor DC yang kecil, dinamo berputar dalam medan magnet yang dibentuk oleh kutub-kutub, sampai kutub utara dan selatan magnet berganti lokasi. Jika hal ini terjadi, arusnya berbalik untuk merubah kutub-kutub utara dan selatan dinamo.
- 3) Commutator. Komponen ini terutama ditemukan dalam motor DC.

Kegunaannya adalah untuk membalikan arah arus listrik dalam dinamo. *Commutator* juga membantu dalam transmisi arus antara dinamo dan sumber daya.



Gambar 2.3 Motor Listrik DC (*Electrical Engineering: Principles and Applications, 5e, by Allan R. Hambley*)

Ada pun jenis-jenis motor listrik DC:

- Motor DC sumber daya terpisah/ *Separately Excited*

Jika arus medan dipasok dari sumber terpisah maka disebut motor DC sumber daya terpisah/*separately excited*.

- Motor DC daya sendiri/ *Self Excited*: motor *shunt*

Pada motor *shunt*, gulungan medan (medan *shunt*) disambungkan secara paralel dengan gulungan dinamo (A). Oleh karena itu total arus dalam jalur merupakan penjumlahan arus medan dan arus dinamo. Berikut tentang kecepatan motor *shunt*:

- Kecepatan pada prakteknya konstan tidak tergantung pada beban (hingga *torque* tertentu setelah kecepatannya berkurang,) dan oleh karena itu cocok untuk penggunaan komersial dengan beban awal yang rendah, seperti peralatan mesin.
- Kecepatan dapat dikendalikan dengan cara memasang tahanan dalam susunan seri dengan dinamo (kecepatan berkurang) atau dengan memasang tahanan pada arus medan (kecepatan bertambah).

- Motor listik daya listrik : motor seri

Dalam motor seri, gulungan medan (medan *shunt*) dihubungkan secara seri dengan gulungan dinamo (A). Oleh karena itu, arus medan sama dengan arus dinamo. Berikut tentang kecepatan motor seri (Rodwell International Corporation, 1997; L.M. Photonics Ltd, 2002):

- Kecepatan dibatasi pada 5000 RPM
Harus dihindarkan menjalankan motor seri tanpa ada beban sebab motor akan mempercepat tanpa terkendali.

- Motor listrik DC kompon/gabungan

Motor Kompon DC merupakan gabungan motor seri dan *shunt*. Pada motor kompon, gulungan medan (medan *shunt*) dihubungkan secara paralel dan seri dengan gulungan dynamo seperti yang ditunjukkan dalam gambar 6. Sehingga, motor kompon memiliki *torque* penyalan awal yang bagus dan kecepatan yang stabil. Makin tinggi persentase penggabungan (yakni persentase gulungan medan yang dihubungkan secara seri), makin tinggi pula *torque* penyalan awal yang dapat ditangani oleh motor ini. Contoh, penggabungan 40-50% menjadikan motor ini cocok untuk alat pengangkat *hoist* dan derek, sedangkan motor kompon yang standar (12%) tidak cocok .

2.1.3 Prinsip Kerja Motor Listrik DC

Motor DC memerlukan suplai tegangan yang searah pada kumparan medan untuk diubah menjadi energi mekanik. Kumparan medan pada motor dc disebut stator (bagian yang tidak berputar) dan kumparan angkar disebut rotor (bagian yang berputar). Jika terjadi putaran pada kumparan jangkar dalam pada medan magnet, maka akan timbul tegangan yang berubah-ubah arah pada setiap setengah putaran, sehingga merupakan tegangan bolak-balik. Prinsip kerja dari arus searah adalah membalik fasa tegangan dari gelombang yang mempunyai nilai positif dengan menggunakan komutator, dengan demikian arus yang berbalik arah dengan kumparan jangkar yang berputar dalam medan magnet. Bentuk motor paling sederhana memiliki kumparan satu lilitan yang bisa berputar bebas di antara kutub- kutub magnet permanen.

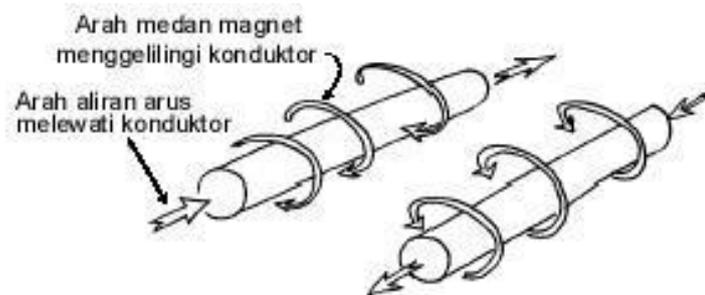
Catu tegangan dc dari baterai menuju ke lilitan melalui sikat yang menyentuh komutator, dua segmen yang terhubung dengan dua ujung lilitan. Kumparan satu lilitan pada gambar di atas disebut angker dinamo. Angker dinamo adalah sebutan untuk komponen yang berputar di antara medan magnet.

Jika arus lewat pada suatu konduktor, timbul medan magnet di sekitar konduktor. Arah medan magnet ditentukan oleh arah aliran arus pada konduktor. Aturan Genggaman Tangan Kanan bisa dipakai untuk menentukan arah garis fluks di sekitar konduktor. Genggam konduktor dengan tangan kanan dengan jempol mengarah pada arah aliran arus, maka jari-jari anda akan menunjukkan arah garis fluks. Gambar 3 menunjukkan medan magnet yang terbentuk di sekitar konduktor berubah arah karena bentuk U.

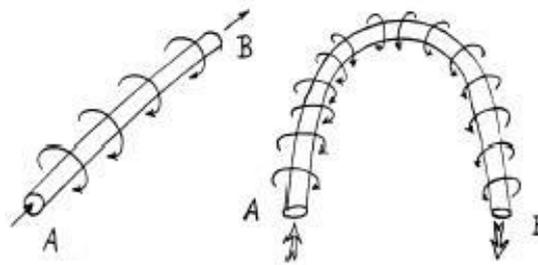
Medan magnet hanya terjadi di sekitar sebuah konduktor jika ada arus mengalir pada konduktor tersebut. Pada motor listrik konduktor berbentuk U disebut angker dinamo. Jika konduktor berbentuk U (angker dinamo) diletakkan di antara kutub utara dan selatan yang kuat medan magnet konduktor akan berinteraksi dengan medan magnet kutub.

Lingkar bertanda A dan B merupakan ujung konduktor yang dilengkungkan (looped conductor). Arus mengalir masuk melalui ujung A dan keluar melalui ujung B. Medan konduktor A yang searah jarum jam akan

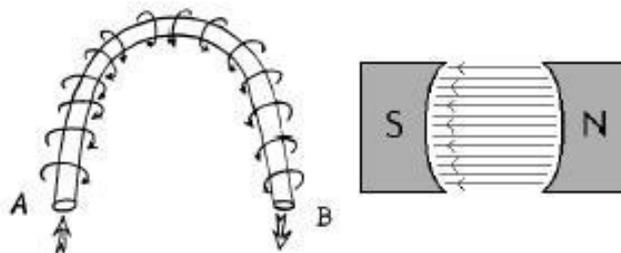
menambah medan pada kutub dan menimbulkan medan yang kuat di bawah konduktor. Konduktor akan berusaha bergerak ke atas untuk keluar dari medan kuat ini. Medan konduktor B yang berlawanan arah jarum jam akan menambah medan pada kutub dan menimbulkan medan yang kuat di atas konduktor. Konduktor akan berusaha untuk bergerak turun agar keluar dari medan yang kuat tersebut. Gaya-gaya tersebut akan membuat angker dinamo berputar searah jarum jam.



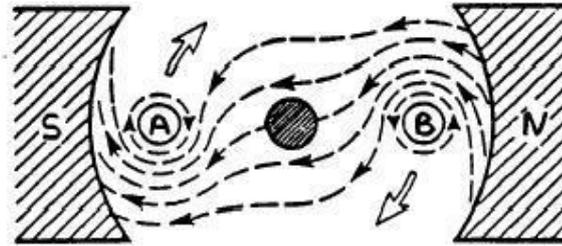
Gambar 2.4 Medan Magnet yang Membawa Arus Mengelilingi Konduktor (*elektronika-dasar*)



Gambar 2.5 Medan Magnet yang Membawa Arus Mengelilingi Konduktor(*elektronika-dasar*)



Gambar 2.6 Medan Magnet Mengelilingi Konduktor dan Diantara Kutub(*elektronika-dasar*)



Gambar 2.7 Reaksi Garis Fluks(elektronika-dasar)

2.1.4 Motor Listrik AC (Arus Bolak-Balik)

Motor listrik jenis ini menggunakan arus listrik yang membalikkan arahnya dengan teratur pada rentang waktu tertentu. Motor listrik arus bolak-balik mempunyai dua buah bagian dasar listrik, yaitu stator dan rotor. Stator adalah komponen listrik statis, sedangkan rotor adalah komponen listrik berputar untuk memutar poros motor.

Berikut bagian-bagian dari motor listrik AC :

1. Stator/Rangka gandar

Pada motor arus searah, gandar berfungsi sebagai bagian dari rangkaian magnetik yang biasanya di buat dari besi tuang. Pada gandar terdapat seperangkat kutub-kutub medan yang dibuat dari inti laminasi baja pelat dan kumparan medan dipasang pada kutub-kutub medan tersebut.



Gambar 2.8 Stator (IE3 energy-saving motors)

Sepatu kutub dibuat dari besi lapis yang cukup tipis (plat dinamo) yang dijadikan satu, dimasukkan kedalam kumparan magnetnya yang telah di bungkus isolasi yang memadai. Sepatu kutub ini dipasang pada rangka (yoke) yang sekaligus jadi badan mesin dengan dua buah baut. Bagian dalam badan motor arus searah (yoke) dibubut agar sepatu kutubnya

mempunyai celah udara serapat mungkin (minimum) dan lingkaran dalam betul-betul bulat. Dalam rangka ini ditempatkan sejumlah pasang sepatu kutub. Pasangan kutub U dan S selalu berurutan seperti letak sepatu kutubnya dan ujung-ujung kawat kumparannya dihubungkan satu pada yang lain sehingga keluar hanya 2 ujung dan dipasang pada kotak klem dengan tanda huruf simbol F1 dan F2; pada kotak/plat klem itu juga ditempatkan klem untuk kabel peralatan sikat yang berhubungan dengan jangkar (armature) atau rotor dan diberi huruf simbol A1 dan A2.

2. Kumparan Medan

Kumparan medan juga dikenal dengan kumparan penguat untuk menghasilkan medan magnet pada kutub utama (*main pole*).

3. Rotor atau jangkar

Rotor motor arus searah dilengkapi komutator dengan elemen-elemen sebagai terminal kumparan jangkar motor dan dipasang pada poros rotor atau jangkar terbuat dari plat-plat tipis baja campuran dalam bentuk tertentu. Alur-alur pada jangkar dibuat untuk meletakkan lilitan jangkar (lihat gambar 2.9).



Gambar 2.9 Rotor(en.wikipedia.org)

4. bantalan atau bearing

Bantalan atau bearing berfungsi:

- Memperlancar gerak putar poros
- Mengurangi gesekan putaran dan perlu diberi pelumas
- Penstabil poros terhadap gaya horizontal

- Gaya vertikal poros motor.

5. Tutup (end plate) rangka mesin

Pada motor listrik pasti memiliki 2 bagian casing yang masing-masing terletak pada setiap sisi motor listrik yang di ikat dengan baut yang berfungsi sebagai berikut :

- Dudukan bantalan poros motor/dinamo
- Titik senter antara rotor/poros dengan rumah stator
- Pelindung bagian dalam motor/dynamo

Adapun jenis dari motor listrik AC_dibedakan lagi berdasarkan sumber dayanya sebagai berikut :

1. Motor sinkron, adalah motor AC bekerja pada kecepatan tetap pada sistim frekwensi tertentu. Motor ini memerlukan arus searah (DC) untuk pembangkitan daya dan memiliki torque awal yang rendah, dan oleh karena itu motor sinkron cocok untuk penggunaan awal dengan beban rendah, seperti kompresor udara, perubahan frekwensi dan generator motor. Motor sinkron mampu untuk memperbaiki faktor daya sistim, sehingga sering digunakan pada sistim yang menggunakan banyak listrik.
2. Motor induksi, merupakan motor listrik AC yang bekerja berdasarkan induksi meda magnet antara rotor dan stator. Motor induksi dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok utama sebagai berikut :
 - Motor induksi satu fase. Motor ini hanya memiliki satu gulungan stator, beroperasi dengan pasokan daya satu fase, memiliki sebuah rotor kandang tupai, dan memerlukan sebuah alat untuk menghidupkan motornya. Sejauh ini motor ini merupakan jenis motor yang paling umum digunakan dalam peralatan rumah tangga, seperti fan angin, mesin cuci dan pengering pakaian,

- Motor induksi tiga fase. Medan magnet yang berputar dihasilkan oleh pasokan tiga fase yang seimbang. Motor tersebut memiliki kemampuan daya yang tinggi, dapat memiliki kandang tupai atau gulungan rotor (walaupun 90% memiliki rotor kandang tupai); dan penyalaan sendiri. Diperkirakan bahwa sekitar 70% motor di industri menggunakan jenis ini, sebagai contoh, pompa, kompresor, belt conveyor, jaringan listrik, dan grinder. Tersedia dalam ukuran 1/3 hingga ratusan Hp.

2.1.5 Prinsip Kerja Motor Listrik AC

Keistimewaan umum dari semua motor ac adalah medan-magnet putar yang diatur dengan lilitan stator. Konsep ini dapat diilustrasikan pada motor tiga-fase dengan mempertimbangkan tiga kumparan yang diletakkan bergeser 120° listrik satu sama lain. Masing-masing kumparan dihubungkan dengan satu fase sumber daya tiga-fase. Apabila arus tiga-fase melalui lilitan tersebut, terjadi pengaruh medan- magnet berputar melalui bagian dalam inti stator. Kecepatan medan-magnet putar tergantung pada jumlah kutub stator dan frekuensi sumber daya. Kecepatan itu disebut kecepatan *sinkron*. yang ditentukan dengan rumus:

- Dimana S = kecepatan sinkron dalam rpm
- F = Frekwensi sumber daya dalam Hz
- P = Jumlah lilitan kutub pada tiap lilitan satu fase

2.1.6 Motor Bakar

Motor bakar adalah salah satu pesawat kalor yang mengubah energi panas hasil pembakaran bahan bakar dalam selinder menjadi energi mekanik yang keluar pada poros engkol. Bahan bakar yang di-isap ke dalam selinder kemudian di kompres sehingga tekanan dan tempraturnya meningkat yang selanjutnya terjadi proses pembakaran baik oleh percikan bunga api busi pada motor bensin atau terbakar dengan sendirinya jika menggunakan solar. Tekanan hasil pembakaran ini mendorong piston bergerak lurus. Gerak lurus

piston diubah menjadi gerak putar oleh batang piston dan diteruskan ke poros engkol yang menimbulkan energi mekanik / putar.

A. Klasifikasi Motor Bakar

Motor bakar / mesin kalor dapat dikelompokkan menjadi dua jenis yaitu :

- External Combustion Engine (Mesin Pembakaran Luar) yaitu proses pembakaran bahan bakar dilakukan di luar mesin sehingga konstruksi lebih kompleks dan memerlukan area dan peralatan lebih besar. Contoh jenis mesin ini adalah Mesin Uap , Turbin Uap.
- Internal Combustion Engine (Mesin Pembakaran Dalam) yaitu proses pembakaran bahan bakar dilakukan di dalam mesin itu sendiri sehingga konstruksi lebih sederhana dimana gas hasil pembakaran bahan bakar langsung berfungsi sebagai fluida kerja . Contoh jenis mesin ini adalah Motor Bakar, Turbin Gas. Konstruksi jenis mesin ini lebih sederhana sehingga banyak digunakan sebagai kendaraan atau alat transportasi maupun mesin industri.

Ditinjau dari konstruksi, prinsip kerja dan bahan bakarnya maka Motor Bakar dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

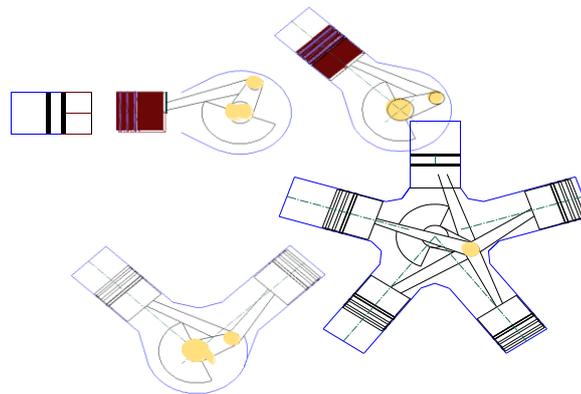
1. Menurut jumlah selinder : 1 , 2 , 3 , 4 , 5 , 6 , 8 ...

Penentuan jumlah selinder yang dipakai tergantung pada kapasitas selinder, semakin banyak selinder, getaran dan suara mesin semakin halus tetapi ukuran mesin semakin panjang dan tidak cocok untuk kendaraan.

2. Menurut konstruksi selinder : Datar, Tegak, Miring , bentuk V dan Bintang Konstruksi Datar sangat baik untuk tenaga karena berat piston dan batan piston tidak mengurangi tekanan hasil pembakaran tetapi mempunyai kelemahan karena mempercepat keausan dinding selinder liner bagian bawah piston. Konstruksi Tegak mempunyai kelemahan karena sebagian tenaga digunakan untuk mengangkat piston dan batang piston pada langkah kompresi dan buang tapi usia ring piston dan selinder liner lebih panjang karena gesekan yang terjadi hampir merata di sekeliling

selinder liner.

Konstruksi Miring merupakan gabungan antara tegak dan datar dengan tujuan mengurangi gesekan pada selinder liner dan ring piston sekali gus meningkatkan tenaga mesin yang terjadi pada mesin tegak. Konstruksi bentuk V, merupakan gabungan dari konstruksi miring yang bertujuan untuk mengurangi ukuran panjang mesin berselinder banyak tetapi membuat konstruksi blok dan poros engkol menjadi lebih rumit. Konstruksi Bintang ada yang bintang tiga atau lima tergantung pada jumlah selindernya. Mesin jenis ini mempunyai suara dan getaran lebih halus dari jenis lainnya dan tenaga pun lebih tinggi pada kapasitas selinder yang sama. Tetapi mempunyai kelemahan yaitu ukuran (tinggi) mesin bertambah dan konstruksi lebih rumit sehingga mempersulit assembling maupun pemeliharannya.

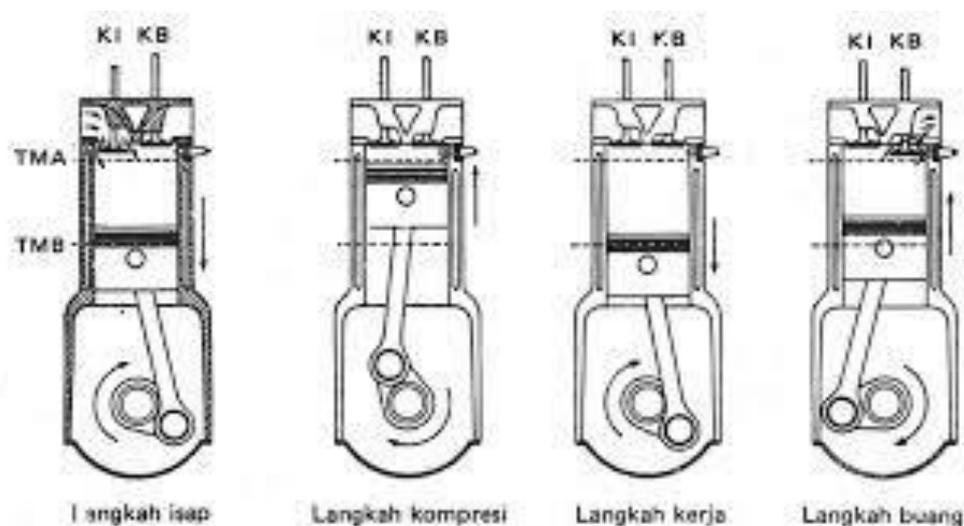


Gambar 2.10. Susunan Konstruksi Selinder

3. Menurut prinsip kerja : 4 Langkah, 2 Langkah dan Motor Wankel
4. Menurut bahan bakar : Bensin, Solar dan Alternatif
(Gas,LPG,Metanol- Biodiesel dan Dimetil-Eter)
5. Menurut sistem pendingin : Air, Udara dan Oli

B. Prinsip Motor 4 Tak

Pada *generator set* di judul laporan ini mesin penggeraknya adalah termasuk motor bakar 4 tak / motor bakar 4 langkah adalah mesin pembakaran dalam, yang dalam satu kali siklus pembakaran akan mengalami empat langkah piston. Sekarang ini, mesin pembakaran dalam pada mobil, sepeda motor, truk, pesawat terbang, kapal, alat berat dan sebagainya, umumnya menggunakan siklus empat langkah. Empat langkah tersebut meliputi langkah hisap (pemasukan), kompresi, tenaga dan langkah buang. Yang secara keseluruhan memerlukan dua putaran poros engkol (*crankshaft*) per satu siklus pada mesin bensin atau mesin diesel. Berikut langkah yang terjadi pada motor bakar 4 langkah :



Gambar 2.11 . Proses Kerja Motor 4 Langkah

(Sumber : Arismunandar, 2002)

- Langkah Hisap

Untuk pertama sekali motor di start/diengkol, katup isap terbuka dan piston bergerak turun dari Titik Mati Atas (TMA) ke Titik Mati Bawah (TMB) sehingga terjadi setengah putaran pada poros engkol. Pada saat piston turun volume ruang bakar bertambah besar mengakibatkan tekanan di dalam ruang bakar turun sampai di bawah tekanan Atmosfir. Karena perbedaan tekanan ini maka bahan bakar minyak bercampur udara terisap ke dalam ruang

bakar.

- Langkah Kompresi

Katup isap dan buang tertutup, piston bergerak dari TMB ke TMA, poros engkol sudah bergerak satu putaran. Pada saat piston bergerak menuju TMA, volume ruang bakar mengecil dan terkompresi sehingga tekanan dan temperatur bahan bakar bertambah besar. Setelah piston mencapai sekitar $8 - 12^\circ$ engkol sebelum TMA, busi mengeluarkan percikan bunga api dan membakar bahan bakar dengan harapan setelah piston mencapai TMA seluruh bahan bakar sudah terbakar dengan sempurna.

- Langkah Ekspansi (KERJA)

Katup isap dan buang masih tertutup, seluruh bahan bakar sudah terbakar menimbulkan tekanan yang tinggi dan berkembang (expansion) menekan piston sehingga piston bergerak dari TMA menuju TMB membuat poros engkol berputar mencapai satu setengah putaran.

- Langkah Buang

Katup isap masih tertutup dan katup buang sudah terbuka sehingga gerakan piston mulai dari TMB menuju TMA mendorong gas bekas hasil pembakaran keluar ruang bakar. Akhir langkah buang ini poros engkol sudah mencapai berikutnya.

Dari keseluruhan proses kerja empat langkah tersebut dapat disimpulkan bahwa :

- Dalam satu siklus terjadi empat langkah piston dan dua kali putaran poros engkol
- Dalam dua kali putaran engkol terjadi satu kali percikan bunga api busi
- Dalam satu siklus masing-masing katup terbuka satu kali
- Awal langkah isap atau akhir langkah buang kedua katup saling terbuka
- Proses pembakaran bahan bakar dalam ruang bakar sekitar $8 - 12^\circ$ engkol
- Pemasukan bahan bakar diatur oleh katup sehingga lebih terkontrol dan irit
- Oli pelumas tidak bercampur dengan bahan bakar sehingga lebih dingin dan proses pembakaran sempurna sehingga tidak mengeluarkan asap.

- Kerja motor terjadi pada langkah ekspansi dimana sebagian tenaga disimpan oleh rotor dan *flywheel* kemudian digunakan untuk menggerakkan piston pada langkah isap-kompresi dan langkah buang.

C. Bagian – Bagian Motor Bakar 4 Langkah

Berikut nama bagian dan fungsi komponen dari motor bakar 4 langkah :

BUSI dipasang pada kepala selinder yang berfungsi untuk menimbulkan bunga api pada saat engkol $8 - 12^\circ$ sebelum TMA. Spelling 0,6 – 0,8 dan kebersihan busi harus dijaga supaya bunga api yang timbul berbentuk tajam berpenjar. **KEPALA / COP SELINDER** dipasang pada bagian atas untuk menutup ruang bakar sekali gus tempat pemasangan busi, perangkat katub, saluran masuk bahan bakar dan knalpot. Permukaan Kepala selinder harus rata / plat dan dikunci dengan ikatan sejumlah baut dengan momen puntir yang kuat dan merata. **KATUP ISAP DAN BUANG** berfungsi untuk mengatur masuknya bahan bakar dan pengeluaran gas bekas hasil pembakaran sesuai dengan waktu tertentu. Ukuran katup isap ini biasanya dibuat lebih besar dari katup buang supaya proses pemasukan bahan bakar lebih sempurna. Kebersihan dan spelling katup harus dijaga supaya pemakaian bahan bakar efisien *Spelling* katup biasanya distel 0,15 untuk isap dan 0,25 untuk buang tergantung jenis kendaraannya. **SALURAN ISAP DAN BUANG** berfungsi sebagai saluran masuknya bahan bakar dan saluran pengeluaran gas bekas hasil pembakaran. Guna menjaga proses pemasukan bahan bakar terjadi dengan baik maka saluran masuk dibuat pendek artinya jarak karburator ke ruang bahan bakar harus sedekat mungkin. **RUANG BAKAR** berfungsi sebagai tempat proses pembakaran bahan bakar. Bagian samping berbentuk selinder dan bagian atas beraneka bentuk sesuai jenis motor, misalnya rata, lengkung setengah bola dan sebagainya. **BLOK SELINDER** merupakan badan mesin yang berfungsi sebagai dinding ruang bakar, tempat piston bergerak dan bagian dalam dipasang selinder liner guna mempermudah proses assembling dan pemeliharaan jangka panjang. **PISTON (TORAK)** merupakan jantung motor yang berfungsi untuk menampung dan meneruskan gaya tekan gas hasil pembakaran bahan bakar. Sesuai fungsinya maka bahan piston ini harus tahan panas, ringan dan muai

panjangnya kecil.

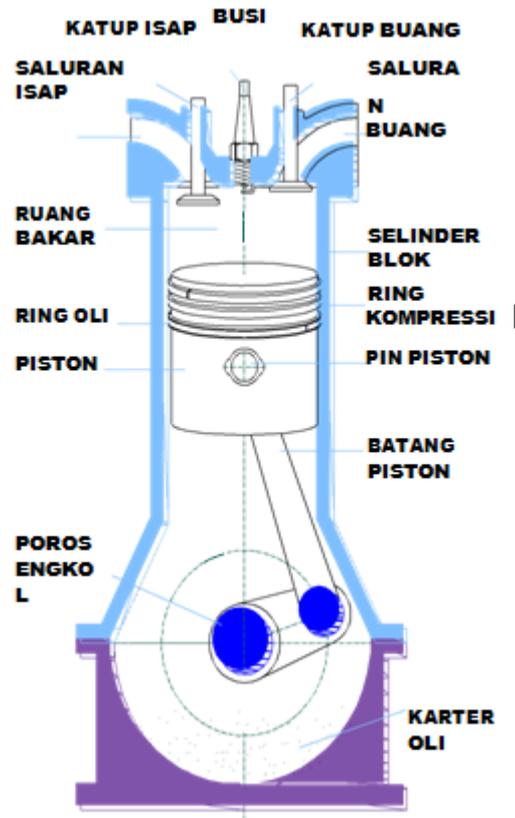
RING PISTON terdiri dari ring kompresi dan ring oli untuk motor empat tak. Ring kompresi dipasang di bagian atas antara piston dan selinder liner yang berfungsi untuk menjaga kebocoran tekanan gas pembakaran dan sekaligus memperkecil bidang gesek antara piston dan selinder liner. Ring oli dipasang bagian bawah yang berfungsi untuk menjaga supaya tebaran oli dari karter tidak masuk ke dalam ruang bakar.

PIN PISTON berfungsi sebagai tempat penyambungan antara piston dan batang piston. Untuk mempermudah assembling dan menjaga posisi pin maka pada ke dua ujungnya dipasang clip ring.

BATANG PISTON (CONNECTING ROD) berfungsi untuk meneruskan gaya dorong dan sekaligus merubah gerak lurus piston menjadi gerak putar pada poros engkol. Pada kedua lubang batang piston biasanya dipasang bantalan luncur atau *rollbearing* sesuai dengan jenis motor yang digunakan.

POROS ENKOL (CRANK SHAFT) merupakan poros utama yang berfungsi untuk meneruskan putaran dan momen putar motor ke mesin/alat yang menggunakannya. Pada poros engkol ini biasanya dilengkapi balance atau roda gila yang berfungsi untuk menjaga keseimbangan gerak putar poros tersebut.

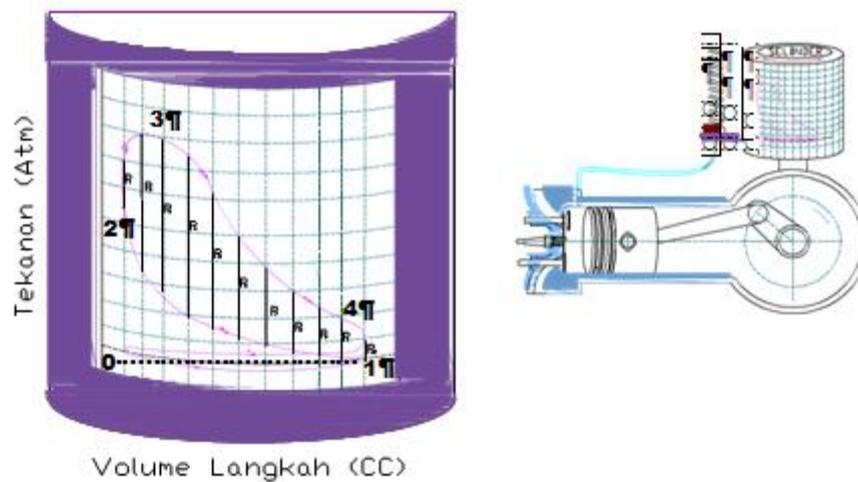
KARTER OLI dipasang pada bagian bawah mesin yang berfungsi sebagai wadah oli. Bila poros engkol berputar maka oli yang berada di karter akan terlempar ke dinding selinder bagian bawah piston yang berfungsi untuk melumasi gerak antara ring piston dan selinder liner. Untuk motor dua langkah karter ini tanpa oli karena berfungsi sebagai tempat penampungan bahan bakar dan sering disebut juga sebagai ruang kompresi kedua (*Secondary Compression*).



Gambar 2.12 Kontruksi Motor Bakar 4 Langkah

D. Diagram Indikator (diagram P-V)

Motor Bakar adalah salah satu pesawat kalor yang mengubah energi panas hasil pembakaran bahan bakar dalam selinder menjadi energi mekanik yang keluar pada poros engkol. Proses pembakaran yang terjadi mengikuti aturan termodinamika dan sesuai dengan Hukum Boyle Gau-Lussac. Untuk mempermudah analisa maka digunakan alat (Indikator) yang dapat mencatat/menggambarkan perubahan tekanan dan volume gas dalam ruang bakar dan hasilnya disebut Diagram Tekanan-Volume atau Diagram P-V seperti gambar berikut ini.



Gambar 2.13 Diagram Indikator Motor

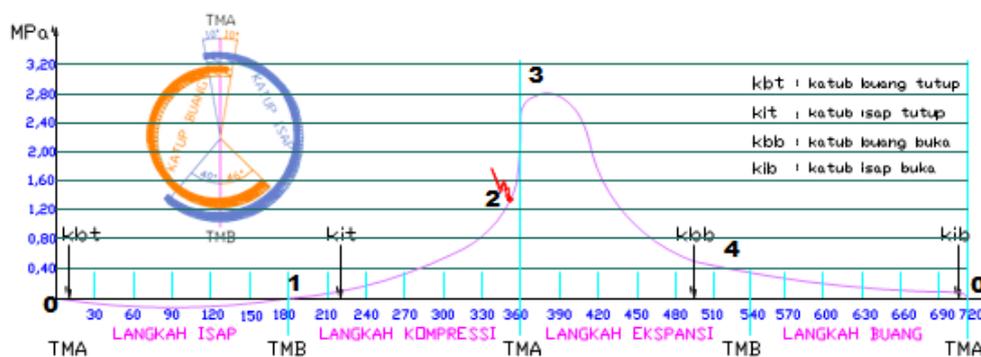
Percobaan ini hanya dapat dilakukan dengan menggunakan motor putaran lambat, sedangkan untuk putaran tinggi biasanya menggunakan osiloskop. Selinder yang dibungkus kertas grafik dihubungkan dengan poros dan pin eksentris pada ujung poros motor. Jika motor berputar maka selinder bergerak bolak-balik kekiri dan kekanan sedangkan pena yang dipasang pada tabung pegas akan bergerak naik turun sesuai besar tekanan diruang bakar. Adapun proses penggambaran diagram dapat diuraikan sebagai berikut :

- 0 -1 Langkah Isap, piston bergerak kekanan, selinder indikator berputar kekiri, tekanan dalam ruang bakar turun dibawah atmosfer membuat pena bergerak turun dibawah garis atmosfer, proses ini berjalan dengan proses **Isobaric** .
- 1- 2 Langkah Kompresi, piston bergerak kekiri, selinder indikator berputar ke kanan, tekanan naik secara perlahan mengangkat pena bergerak teratur ke atas sampai engkol mencapai $\pm 10^\circ$ sebelum Titik mati Atas (TMA), prpses ini berjalan dengan proses **Isentropic** yaitu P, V dan T berubah.
- 2 – 3 Busi mengeluarkan api, terjadi proses pembakaran bahan bakar menyebabkan tekanan dan tempratur meningkat dengan tajam mengangkat pena keatas dan selinder masih berputar kekanan . Pada proses ini terjadi pemasukan kalor dengan proses **Isochoric** yaitu volume

dianggap konstan.

- 3-4 Langkah Ekspansi disebut langkah kerja, piston bergerak kekanan, selinder berputar ke kiri, tekanan dan temperatur menurun secara teratur membuat pena bergerak turun. Tekanan gas hasil pembakaran ini menekan piston bergerak translasi dan menimbulkan kerja dengan proses **Isentropic**.
- 4-0 Langkah Buang, piston bergerak ke kiri, selinder berputar kekanan, tekanan turun dengan cepat membuat pena pun ikut turun. Pada langkah ini katup buang terbuka sehingga gas bekas keluar menyebabkan tekanan turun sampai mendekati/di atas tekanan atmosfer. Proses ini berjalan dengan proses **Isobar**.

Bila gerak selinder indikator disetel mengikuti putaran motor dan kertas grafiknya dibentangkan, maka bentuk Diagram P-V di atas dapat dilukiskan sebagai berikut :



Gambar 2.14 Grafik Indikator Tekanan – Derajat Engkol

Katup Isap terbuka 10° sebelum TMA sampai 40° sesudah TMB \rightarrow selama 230° Katup Buang terbuka 46° sebelum TMB sampai 10° sesudah TMA \rightarrow selama 236° Jadi katup Isap dan buang overlapping selama 20° engkol.

2.2 Generator

Generator adalah sebuah alat yang memproduksi energi listrik dari sumber energi mekanik, biasanya dengan menggunakan induksi elektromagnetik. Proses ini dikenal sebagai pembangkit listrik. Walau generator dan motor punya banyak kesamaan, tapi motor adalah alat yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Generator mendorong muatan listrik untuk bergerak melalui sebuah sirkuit listrikesternal, tapi generator tidak menciptakan listrik yang sudah ada di dalam kabel lilitannya. Hal ini bisa dianalogikan dengan sebuah pompa air, yang menciptakan aliran air tapi tidak menciptakan air di dalamnya. Sumber energi mekanik bisa berupa resiprokat maupun turbin mesin uap, air yang jatuh melakui sebuah turbin maupun kincir air, mesin pembakaran dalam, turbin angin, engkol tangan, energi surya atau matahari, udara yang dimampatkan, atau apapun sumber energi mekanik yang lain.

2.2.1 Klasifikasi Generator

A. Generator AC

Generator AC bekerja berdasarkan atas prinsip dasar induksi elektromagnetik. Tegangan bolak-balik akan dibangkitkan oleh putaran medan magnetik dalam kumparan jangkar yang diam. Dalam hal ini kumparan medan terletak pada bagian yang sama dengan rotor dari generator. Nilai dari tegangan yang dibangkitkan bergantung pada :

1. Jumlah dari lilitan dalam kumparan.
2. Kuat medan magnetik, makin kuat medan makin besar tegangan yang diinduksikan.
3. Kecepatan putar dari generator itu sendiri. Prinsip generator ini secara sederhana dapat dijelaskan bahwa tegangan akan diinduksikan pada konduktor apabila konduktor tersebut bergerak pada medan magnet sehingga memotong garis-garis gaya. Hukum tangan kanan berlaku pada generator dimana menyebutkan bahwa terdapat hubungan antara penghantar bergerak, arah medan magnet, dan arah resultan dari aliran arus yang terinduksi. Apabila ibu jari menunjukkan arah gerakan

penghantar, telunjuk menunjukkan arah fluks, jari tengah menunjukkan arah aliran elektron yang terinduksi. Hukum ini juga berlaku apabila magnet sebagai pengganti penghantar yang digerakkan. Terdapat dua jenis konstruksi dari generator ac, jenis medan diam atau medan magnet dibuat diam dan medan magnet berputar.

B. Generator DC

Generator DC merupakan sebuah perangkat Motor listrik yang mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Generator DC menghasilkan arus DC / arus searah. Generator DC dibedakan menjadi beberapa jenis berdasarkan dari rangkaian belitan magnet atau penguat eksitasinya terhadap jangkar (*anker*), jenis generator DC yaitu:

- a. Generato penguat terpisah
- b. *Generator shunt*
- c. Generator kompon

2.2.2 Bagian-bagian Utama Generator Set

A. *Main Stator*

Stator generator adalah bagian statis dari generator yang merubah perubahan garis gaya magnet yang melaluinya menjadi sumber tegangan/ mengeluarkan tegangan. Didalam stator generator terdapat belitan belitan penghantar yang disusun sedemikian rupa sesuai kaidah baik jumlah lilitan, jarak antara lilitan (*pitch factor*) dan beda sudut antara *phase*, sehingga menghasilkan tegangan 3 phase yang mempunyai sudut 120 derajat terhadap phase lainnya. Kemampuan dan kualitas generator ditentukan juga oleh bahan inti besi dan bahan tembaga yang dipakai serta tingkat ketahanan isolasi terhadap panas yang melaluinya. Bahan inti dari stator merupakan bahan terpilih yang mempunyai tingkat permeabilitas *magnetic* yang tinggi, terbentuk dari lapisan lapisan plat yang terlamnasi satu sama lain. Hal ini adalah dimaksudkan untuk mengurangi rugi besi karena rugi arus hystresis yang berpusar dalam inti besi. Demikian juga dengan lilitan tembaga atau kawat email mempunyai kualitas yang khusus disamping biasanya mempunyai lapisan isolasi (*email*) yang *double/* ganda. Juga mempunyai

ketahanan yang tinggi sampai 150 derajat celcius sehingga tahanan isolasi masih cukup kuat untuk menahan panasnya stator generator maupun arus lilitan itu sendiri.



Gambar 2.15 Main stator (<http://utcaerospacesystems.com/>)

B. Mains Rotor

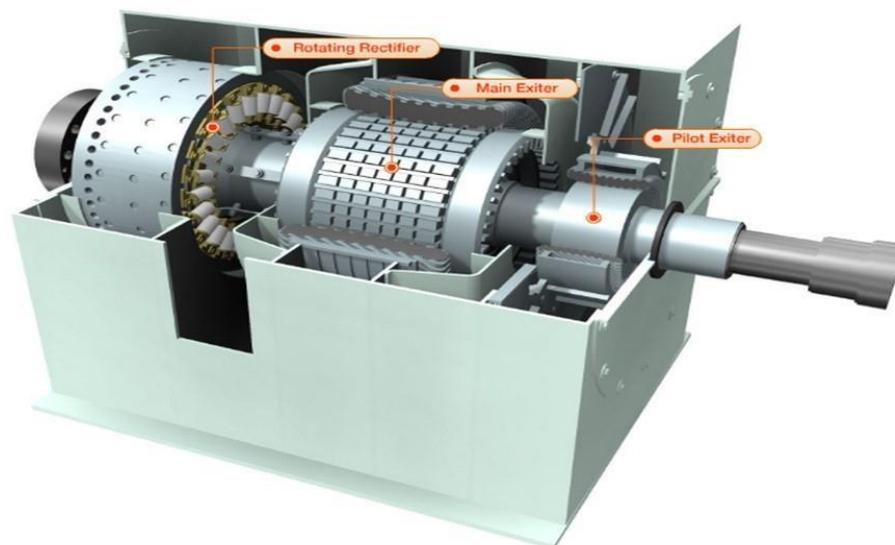
Mains rotor adalah bagian dinamis dari generator, yaitu sebagai bagian yang berputar yang memberikan perubahan garis gaya magnet terhadap permukaan inti stator. *Mains rotor* ini terdiri dari inti besi yang membentuk sepatu kutub yang didalamnya terdapat kumparan magnet yang akan membentuk kutub utara dan selatan. Konstruksi *Mains rotor* ini harus sangat kokoh karena mempunyai bagian yang selalu berputar, bagian yang berputar akan mempunyai gaya tekanan keluar (sentrifugal), untuk itu bisa dilihat bahwa sambungan dan ikatan pada mains rotor terlihat kokoh



Gambar 2.16 Main Rotor (electricalpanelindo.com)

C. Exciter

Exciter adalah bagian generator yang berfungsi untuk pembangkitan tegangan sebagai sumber arus mains rotor untuk pembentukan kutub. *Exciter* ini terdiri dari *exciter stator* dan *exciter rotor*. *Exciter stator* dapat sumber arus dari AVR sedangkan *Exciter rotor* mengeluarkan tegangan untuk arus kutub *mains rotor*.



Gambar 2.17 Exciter

D. Automatic Voltage Regulator (AVR)

Automatic voltage regulator adalah bagian dari Generator yang berfungsi mengatur, mengontrol dan memonitor tegangan yang keluar dari mains stator berdasarkan prinsip umpan balik / *feed back* dimana output dimonitor untuk mengontrol input supaya terjadi keseimbangan antara tegangan keluar dengan tegangan reference. sehingga tegangan yang keluar dari generator selalu konstan dengan berbagai level beban.



Gambar 2.18 Automatic Voltage Regulator (AVR)

E. *Cooling Fan*

Cooling Fan adalah bagian dari generator yang berfungsi mengeluarkan disipasi panas dari dalam generator, sumber panas yang terbesar berasal dari inti stator dan inti rotor sumber panas lain berasal dari penghantar/belitan. *Cooling fan* ini digerakkan oleh poros generator itu sendiri. Dengan bentuk *fan* sentrifugal yang akan menghisap udara dari dalam generator dan mengeluarkan secara sentrifugal. *Cooling fan* ini sangat penting artinya untuk menjaga temperature generator tidak melebihi ambient temperature kerja.



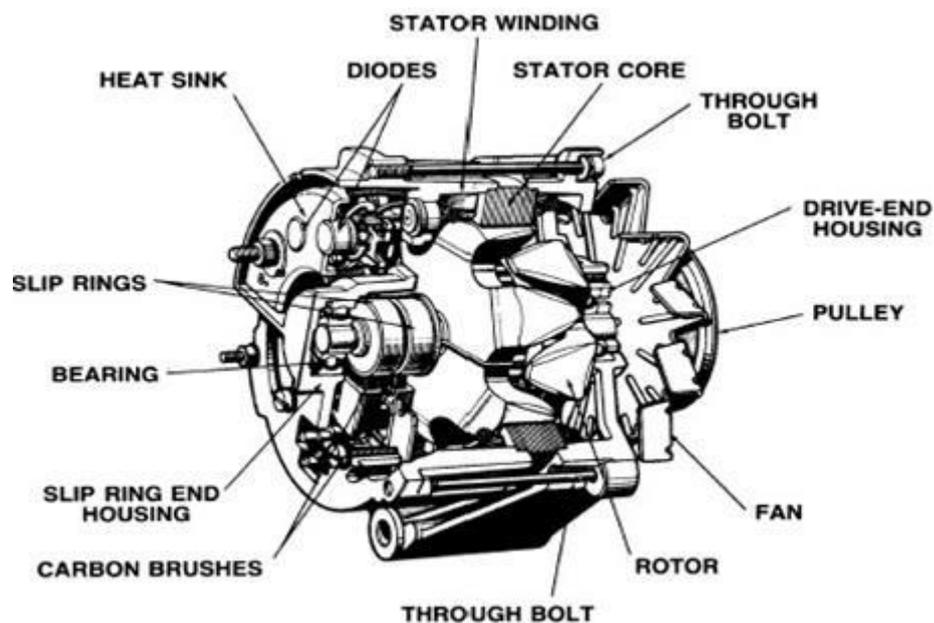
Gambar 2.19 cooling fan

F. *Space Heater*

Space heater adalah peralatan tambahan dari generator yang berfungsi untuk memberikan pemanasan di dalam generator. Pemanasan ini dimaksudkan untuk mengurangi / menghindarkan kelembaban didalam generator. Kelembaban yang berlebihan dapat merusakkan nilai resistansi atau tahanan isolasi dari hantaran / lilitan.

G. *Alternator*

Alternator, juga dikenal sebagai ‘*genhead*’, adalah bagian dari generator yang menghasilkan output listrik dari input mekanis yang diberikan oleh mesin. Ini berisi perakitan bagian-bagian diam dan bergerak terbungkus dalam perumahan. Komponen bekerja sama untuk menyebabkan gerakan relatif antara medan magnet dan listrik, yang pada gilirannya menghasilkan listrik.



Gambar 2.20. Alternator

2.3 Sistem Instrumen dan Kendali pada *Generator Set*

2.3.1 *Voltage Regulator*

Komponen ini mengatur tegangan keluaran dari generator. Mekanisme ini dijelaskan di bawah ini terhadap satu komponen yang berperan dalam proses siklus regulasi tegangan. Konversi Tegangan AC ke DC Kini – regulator tegangan memakan sebagian kecil dari output generator tegangan AC dan

mengkonversikannya menjadi arus DC. Regulator tegangan DC ini kemudian feed saat ini untuk satu set gulungan sekunder di stator, yang dikenal sebagai gulungan exciter.



Gambar 2.22 Automatic Regulator Voltage

2.3.2 Exciter Belitan

Konversi DC ke AC Current Kini – gulungan exciter sekarang mirip dengan gulungan stator utama fungsi dan menghasilkan arus AC kecil. Gulungan *exciter* yang terhubung ke unit yang dikenal sebagai berputar *rectifier*.

2.3.3 Rotating Rectifier

Konversi dari AC ke DC Current kini – ini memperbaiki arus AC yang dihasilkan oleh gulungan exciter dan mengubahnya menjadi arus DC. Ini arus DC diumpankan ke rotor / angker untuk menciptakan medan elektromagnetik selain medan magnet yang berputar rotor / angker.

2.3.4 Rotor / Amature

Konversi DC sekarang untuk Tegangan AC – Rotor / angker sekarang menginduksi tegangan AC yang lebih besar di seluruh gulungan stator, yang kini memproduksi generator sebagai tegangan output AC yang lebih besar.

Siklus ini terus berlanjut sampai generator mulai memproduksi setara tegangan output untuk kapasitas operasi penuh. Sebagai output dari kenaikan generator, regulator tegangan kurang menghasilkan arus DC. Setelah generator mencapai kapasitas operasi penuh, regulator tegangan mencapai keadaan kesetimbangan dan menghasilkan DC saat ini hanya cukup untuk mempertahankan output generator di tingkat operasi penuh

2.3.5 Pendingin & Exhaust Sistem

(A) Sistem Pendingin

Penggunaan terus menerus generator menyebabkan berbagai komponen untuk mendapatkan memanas. Sangat penting untuk memiliki pendingin dan sistem ventilasi untuk menarik panas yang dihasilkan dalam proses.

Air baku / segar kadang-kadang digunakan sebagai pendingin untuk generator, tetapi ini sebagian besar terbatas pada situasi tertentu seperti generator kecil dalam aplikasi kota atau unit yang sangat besar di atas 2250 kW dan di atas. Hidrogen kadang-kadang digunakan sebagai pendingin untuk gulungan stator unit pembangkit besar karena lebih efisien dalam menyerap panas dari pendingin lainnya. Hidrogen menghilangkan panas dari generator dan transfer melalui penukar panas menjadi sirkuit pendingin sekunder yang berisi de-mineralisasi air sebagai pendingin. Inilah sebabnya mengapa sangat besar dan generator pembangkit listrik kecil sering memiliki menara pendingin yang besar di samping mereka. Untuk semua aplikasi umum lainnya, baik perumahan dan industri, radiator standar dan kipas terpasang pada generator dan bekerja sebagai sistem pendingin primer.

(B) Sistem Pembuangan Gas

Exhaust asap yang dipancarkan oleh generator hanya seperti knalpot dari setiap diesel atau mesin gasonline dan mengandung bahan kimia yang sangat beracun yang perlu dikelola dengan baik. Oleh karena itu, adalah penting untuk menginstal sistem pembuangan yang memadai untuk membuang gas buang. Hal ini tidak dapat ditekankan cukup sebagai

keracunan karbon monoksida tetap menjadi salah satu penyebab paling umum untuk kematian di daerah pasca badai yang terkena dampak karena orang cenderung tidak berpikir tentang hal itu sampai terlambat.

2.3.6 Sistem pelumas

Sejak generator terdiri dari bagian yang bergerak dalam mesin, memerlukan pelumasan untuk memastikan operasi daya tahan dan halus untuk jangka waktu yang panjang. Mesin generator dilumasi oleh minyak disimpan dalam pompa. Anda harus memeriksa tingkat minyak pelumas setiap 8 jam operasi generator.

2.3.7 Charger Baterai

Fungsi awal dari generator adalah dioperasikan dengan baterai. Pengisi daya baterai membuat baterai pembangkit dibebankan dengan memasok dengan tegangan yang tepat 'melayang'. Jika tegangan mengambang sangat rendah, baterai akan tetap undercharged. Jika tegangan mengambang sangat tinggi, akan mempersingkat masa pakai baterai. Pengisi baterai yang biasanya terbuat dari stainless steel untuk mencegah korosi. Mereka juga sepenuhnya otomatis dan tidak memerlukan pengaturan yang harus dilakukan atau pengaturan diubah. Output tegangan DC dari charger baterai ditetapkan sebesar 2,33 Volt per sel, yang adalah tegangan mengambang tepat untuk baterai asam timbal. Pengisi daya baterai memiliki output tegangan DC terpendek yang tidak mengganggu fungsi normal dari generator.

2.3.8 AMF (*Automatic Main Failure*) dan ATS (*Automatic Transfer Switch*)

AMF merupakan alat yang berfungsi menurunkan downtime dan meningkatkan keandalan sistem catu daya listrik. AMF dapat mengendalikan transfer *Circuit Breaker* (CB) atau alat sejenis, dari catu daya utama (PLN) ke catu daya cadangan (genset) dan sebaliknya. Dan ATS merupakan pelengkap dari AMF dan bekerja secara bersama-sama



Gambar 2.23 AMF dan ATS

2.3.9 Control Panel

Control Panel adalah antarmuka pengguna dari generator dan mengatur beberapa ketentuan untuk outlet listrik dan kontrol. Artikel berikut memberikan rincian lebih lanjut mengenai panel kontrol pembangkit. Produsen yang berbeda telah bervariasi fitur yang ditawarkan dalam panel control unit mereka. Beberapa di antaranya disebutkan di bawah.

- awal *Electric* dan *shut-down* – panel kontrol Auto awal secara otomatis memulai generator selama pemadaman listrik, memantau generator saat beroperasi, dan secara otomatis mematikan unit ketika tidak lagi diperlukan.
- Mesin pengukur – pengukur yang berbeda menunjukkan parameter penting seperti tekanan minyak, suhu pendingin, tegangan baterai, kecepatan putaran mesin, dan durasi operasi. Pengukuran dan pemantauan konstan dari parameter ini memungkinkan built-in menutup generator ketika salah satu menyeberangi tingkat masing-masing ambang batas.
- Generator alat pengukur – Panel kontrol juga memiliki meter untuk pengukuran arus keluaran dan tegangan, dan frekuensi operasi.
- kontrol lain – Tahap pemilih beralih, frekuensi switch, dan mesin