# BAB II

# DASAR TEORI

Generator Set atau kalau dikapal disebut Motor Bantu adalah snatu mesin yang dapat mengubah tenaga mekanis dan tenaga listrik melalui proses induksi magnet. Generator ini memperoleh energi mekanis dari prime mover atau penggerak mula seperti dari tenaga angin, tenaga air, tenaga diesel, dan tain-lain prinsip kerja dari generator sesuai LENS yaitu arus listrik yang diberikan pada stator akan memmbulkan momen elektromagnet yang bersifat melawan putaran motor.

## 2.1. Konversi Energi Elektromekanis

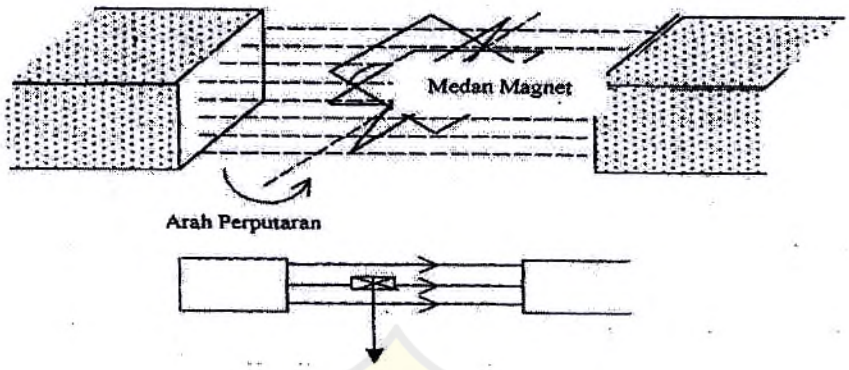
Konversi energi baik dari energi listrik menjadi energi mekanik (motor) maupun sebaiknya dari energi mekanik ke energy listrik (generator). Berlangsung melalui medan magnet. Dengan demikian medan magnet berfungsi sebagai tempat penyimpanan energi sekaligus sebagai medium untuk mengkoppel proses perubahan energi.

Efek konversi energi elektromekanis pada generator dirumuskan oleh hukum Faraday, dimana bila sebuah konduktor digerakkan tegak lurus sejauh *ds* memotong suatu medan magnet dengan kecepatan fluks B maka perubahan fluks pada konduktor dengan panjang adalah (Ref No. 14 Hal 67)

$$d\phi = B.\,l.ds$$

diketahui $e = d\phi / dt$ dan $v = ds / dt$, maka:

$e = B\,.\,1\,.\,v$, dimana e = gaya gerak listrik dan v = kecepatan menurut aturan tangan kanan dengan jempol, telunjuk dan jari tengah saling tegak lurus menunjukkan arah v, B dan I. Bila konduktor dihubunbgkan dengan beban (tahanan) maka konduktor akan mengalir arus menjauhi kita.




Gambar 2.1 : Pembangkit Energy Listrik

Perubahan Fluks karena gerakan mekanis menyebabkan pengubahan energi elektrbmekanis dimana arus listrik mengaliri konduktor. Jadi tegangan dibangkitkan pada konduktor lilitan atau sekielompok kumparan dengan memutar lilitan-lilitan tersebut secara mekanis melalui suatu medan magnetik, dengan memutar secara mekanis suatu medan magnetik melalui lilitan atau dengan merancang suatu rangkaian magnetik sedemikian sehingga harga relukstan berubah-ubah sesuai putaran rotor. Dengan salah satu cara tersebut fluks yang bersangkutan dengan kumparan tertentu akan berubah secara berulang, sehingga timbul tegangan berubah waktu, kumparan aini disebut kumparan jangkar(armatur).

Pada umumnya kumparan jangkar dililitkan pada inti besi guna memaksimumkan gandengan dan memperbesar kerapatan tenaga magnetik yang bersangkutan dengan interaksi elektromekanis. Perubahan fluks magnetik akan menimbulkan arus induksi (arus Eddy), arus feryteristis untuk memperkecil rugi-rugi arus Eddy itu, maka kumparan jangkar dibuat dari lapisan-lapisan tipis besi ferromagnetik.

Aliran magnetik disalurkan melalui besi ferromagnetik pada bagian mesin yang lain yang disebut kumparan medan. Agar menghasilkan medan magnet, kumparan medan

dialiri arus searah (DC). Arus searah ini dikenal sebagai arus excitasi (arus penguatan/pembangkitan).

Tegangan arus bolak balik yang terbangkit pada kumparan jangkar memiliki frekuensi gelombang

$f = p.n/60(Hz)$

Dimana $p$ = jumlah pasangan kutub medan (2,4,6...)

$n$ = putaran rotor (rpm)

Sehingga putaran sinkron yang dibutuhkan dari prime mover, ns = 120.f7p (rpm)

Frekuensi adalah jumlah getaran listrik setiap detik dinyatakan dalam satuan Hertz atau Cycle/detik. Disingkat Hz. Apabila dikatakan frekuensi f = 1 Hz, hal ini berarti bahwa rotor bergerak mengitari dua buah kutub, yaitu rotor berputar dengan jarak 360 derajat listrik. Oleh karena itu frekuensi tergantung pada putaran dan jumlah kutub. Rating kecepatan putaran tergantung pada tipe prime movernya. Apabila prime mover dari suatu alternator mempunyai kecepatan rendah maka alternator tersebut membutukan banyak kutub sehingga tercapai besar frekuensi yang telah ditentukan. Alternator yang tipe prime movernya mempunyai kecepatan tinggi maka biasanya generator tersebut mempunyai jumlah kutub 2, 4 atau 6 dan seterusnya. Frekuensi yang biasa digunakan adalah 50 Hz dan 60 Hz, dimana sekali putaran mekanik induksi yang dibangkitkan sudah menyelesaikan 2 siklus penuh.

Jadi untuk menghasilkan frekuensi tegangan arus bolak balik yang konstan hams diperoleh putaran poros rotor dari prime mover yang konstan pula, karena itu generator disebut mesin sinkron atau mesin serempak. Keadaan sinkron ini sangat dipengaruhi oleh beban yang dipikul dan akan terpengaruh oleh suatu beban kejut.

Pembangkitan tegangan 3 fasa diperoleh dengan menyusun kumparan jangkar dari 3 kumparan yang saling beda sudut 120° berputar pada medan magnet homogen. Tegangan bolak balik yang dibangkitkan berselisih waktu sepertiga pada tiap periode gelombang sinus. Sifat ketiganya: tegangan tiap fasa sama, nilai puncak sama (beda fasa 120°) dan jumlah nilai sesaat sama dengan nol. Tegangan terbangkit tersebut ditransmisikan dalam 4 kawat dimana 3 kumparan jangkar disusun dalam bentuk Y-connection dengan 3 kawat saluran ( R,S,T) dan satu kawat netral, sehingga bila diperoleh tegangan 1 fasa (biasanya 220 volt) dan tegangan antar fasa V3 tegangan fasa (380 volt).

## 2.2. Konstruksi Generator AC

Alternator digunakan untuk membangkitkan tegangan bolak-balik, maka alternator tidak membutuhkan komutator sehingga hal ini memungkinkan dibuatnya kumparan pembangkit (jangkar) pada bagian yang tidak bergerak, yaitu stator. Hal ini mempunyai keuntungan yakni:

1. Memungkinkan untuk membuat isolasi kawat jangkar yang lebih kuat . Karena kumparan dan isolasi tidak dipukul oleh rotor sehingga dapat mengurangi getaran mekanis.
2. Tegangan tinggi yang dibangkitkan dalam kawat jangkar tidak lagi memerlukan slip ringuntuk mensuplainya kerangkaian luar (jala-jala) tetapi dapat langsung menghubungkannya dengan terminal stator.

Secara umum konstruksi generator AC sinkron (Alternator) serupa dengan mesin listrik lainnya seperti motor dan mesin asinkron. Berdasarkan letak kumparan medan dan jangkar, dikenal mesin kutub dalam dan mesin kutub luar. Mesin kutub dalam berarti kumparan medan (penghasil medan kutub magnet) terletak pada poros berputar (rotor)

sedangkan kumparan jangkar sebagai stator. Demikian pula sebaliknya dengan mesin kutub luar. Perbedaan prinsip keduanya adalah dengan konstruksi kutub dalam tegangan dan arus langsung diambil dari kumparan jangkar pada stator. Keuntungannya cincin geser dan sikat tidak diperlukan sehingga mengurangi rugi-rugi panas gesekan dan lebih memudahkan menyusun kumparan 3 fasa serta isolasinya.

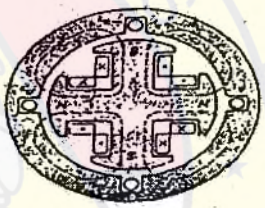
Ditinjau dari bentuk rotomya untuk generator putaran prime mover tinggi biasanya digunakan bentuk silindris sehingga keseimbangan dinamis mudah dicapai. Pada rotor dengan kutub sepatu (kutub menonjol/salient pole) keseimbangan dinamis sulit dicapai pada kecepatan putaran tinggi, maka rotor dilengkapi dengan kumparan peredam (damper winding) dekat ujung sepatu kutub yang berfungsi mengamankan generator dari guncangan (isolasi) sewaktu terjadi perubahan kecepatan yang mendadak. Damper winding terdiri dari kumparan tembaga bulat yang dihubung singkatkan pada semua ujungnya dengan cincin tembaga.

Sebagai medium yang menyalurkan tegangan induksi dari kumparan medan ke kumparan jangkar dan clearance untuk putaran rotor dibuat celah udara antara rotor dan stator. Celah udara dibuat tidak terlalu lebar maupun sempit karena factor kehilangan akibat gesekan yang timbul antara rotor dan stator.

Pada mulanya lamel rotor dan stator dibuat dari satu bahan, lengkap dengan bentuk kutub rotor dan lubang poros serta alur pasaknya. Poros terbuat dari besi tempa (forged steel) yang dirancang pada kecepatan kritis dari putaran prime movernya. Hal ini berhubungan dengan getaran yang timbul dari transmisi daya yang tidak seimbang. Torsi yang timbul pada poros generator merupakan hasil gaya luar seperti perubahan tiba-tiba pada beban, hubung singkat ataupun gangguan lain dari torsi akibat variasi putaran poros prime mover seperti pada internal combustion engine (start up - start down).

Pendinginan pada alternator dengan rotor kutub salient tidak perlu dilakukan (ditambah), karena udara yang ada dalam celah-celah antar kutub cukup untuk keperluan pendinginan. Pada alternator dengan jenis rotor silinder, pada dasarnya sistem pendinginan dilakukan dalam dua macam, yakni:

1. Pendinginan radial: dilakukan dengan memasukkan udara atau gas melalui saluran (celah udara) yang ada dalam inti stator (jangkar) dan keluar melalui celah udara yang ada disekitar poros. Dengan demikian udara atau gas tesebut bergerak secara radial sehingga panas yang timbul dapat dikurangi.
2. Pendinginan aksml : udara atau gas mengalir dari satu ujung mesin ke ujung lainnya melalui celah udara dalam jangkar.

a. b. 

Gambar 2.2 : Rotor
a. Bentuk Salient Pole (Ref. No. 17 hal 7)
b. Bentuk Cylindrical Pole

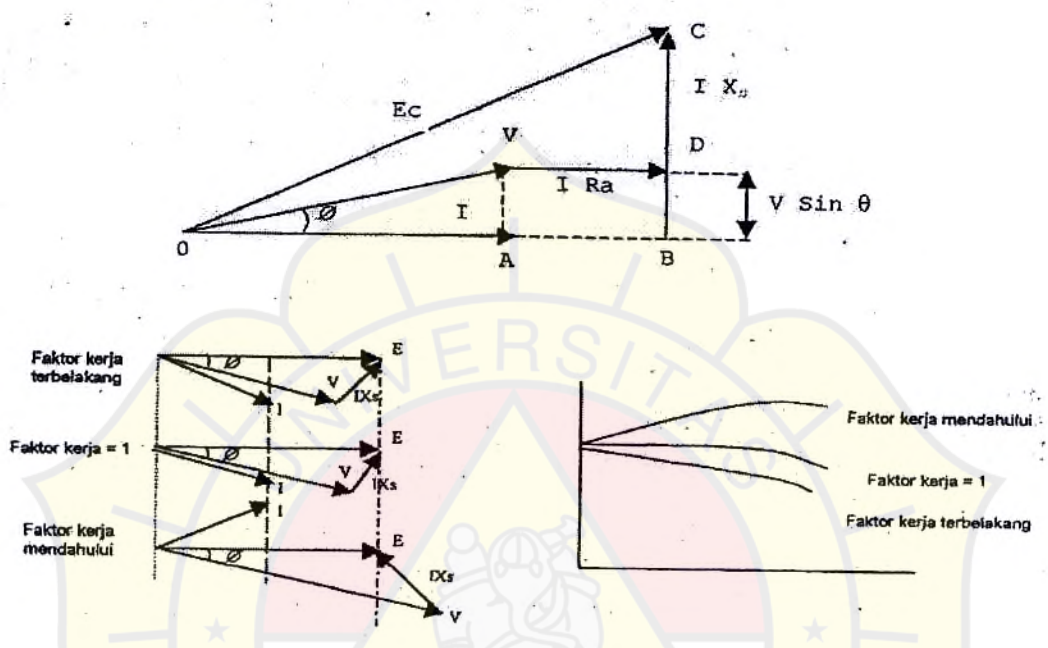
## 2.3. Pengaturan tegangan

Pengaturan tegangan didefinisikan sebagai perubahan dari saat beban nol (Eo) ke kondisi penuh (E) dengan arus excuasi dan putaran poros konstan. Dirumuskan Pengaturan tegangan (%) = $(E_0 - E)$ Ex 100%

Perbedaan antara Eo dan E selain di pengaruhi factor kerja juga di pengaruhi oleh arus jangkar (I*)* Saat berbeban arus jangkar akan mengalir menimbulkan reaksi jangkar yang reaktif sehingga di sebut reaktansi jangkar (Xm), selain tahanan jangkar sendiri (Ra)(. Reaktansi jangkar bersama reaktansi flukts bocor stator (Xa) dikenal sebagai reaktansi sinkron (Xs) yang di perhitungkan saat generator akan beroperasi paralel.

Apabila beban di lepas, kecepatan dan arus medan tidak berubah maka terjadi tegangan beban nol. Untuk alternator berlaku hubungan :

$$Eo = (V \cos \phi + I.Ra) + j\,(V \sin \phi + I.Xs)$$




Gambar 2.3 : Faktor Kerja Generator

Beban Listrik yang mempengaruhi pengaturan tegangan ada tiga macam, yaitu :

a. Beban dengan factor kerja leading :

   Gelombang sinus Arus (I) mendahului $\phi^0$ dari tegangan (E), beban bersifat resesif – kapasitif.

b. Beban dengan factor kerja unity :

   Gelombang sinus arus (I) mendahului sefasa dengan tegangan (E), beban bersifat resesif murni.

c. Beban dengan factor kerja legging :

Gelombang sinus arus (I) tertinggal (j)° dari tegangan (E), beban bersifat resesif-induktif.

Pengaturan tegangan pada Brushless Generator diperoleh lewat system automatic voltage regulator (AVR). Tegangan AC yang diperoleh dari terminal generator melalui transformator dan diode rectifier dibandingkan dengan tegangan stabil reference yang dihasilkan dalam regulator. Setiap beda tegangan (error voltage), diperkuat dan dipergunakan untuk mengontrol penyala thyristor circuit yang mensuplai excitaci pada kumparan medan generator utama atau lewat generator exciternya. Sehingga arus excitasi akan bertambah atau berkurang untuk mengembalikan tegangan generator pada tingkat dengan error voltage mendekati nol.

Komponen utama yang bertindak sebagai pangaturan tegangan, yaitu diode Zener, berbeda dari diode yang biasanya bekerja sebagai penyearah. Dioda-dioda penyearah tak pernah dengan sengaja dioperasikan pada daerah dadalnya karena akan merusak diode tersebut. Tetapi diode zener justru bekerja paling baik pada daerah dadalnya dimana tegangan keluar diode zener cenderung tetap. Dengan mengubah derajat ketidakmurnian (doping) diode silicon dapat dihasilkan dioda zener mempertahankan tegangan keluaran yang tetap meskipun tegangan masukan dan arus yang melalui berubah, hal ini disebabkan resistansi diodea zener yang kecil. Kadang rangkaian dioda zener diseri dengan tahanan untuk membatasi pembuangan daya.

## 2.4. Sistem Excitasi

Arus excitasi merupakan arus searah yang dialirkan ke kumparan medan supaya kumparan medan tersebut bersifat magnetik dan menghasilkan medan magnetik konstan.

Seperti telah dikemukakan di atas pada generator besar maka kumparan kutublah yang berputar dan kumparan jangkar tetap (stator). Dengan demikian arus dan tegangan bisa diperoleh dari bagian generator yang tetap, sedangkan arus excitasi harus melalui sikat dan cincin geser. Sikat dan cincin geser menghubungkan kumparan medan dengan sumber tegangan dari luar. 'Hal ini merupakan titik lemah sebab untuk satuan daya besar kerugian panas pun menjadi besar pula. Untuk menghidari kerugian tersebut dipasang generator penguat (Exciter) berupa DC Exciter atau AC Exciter yang dipasang terpisah atau seporos dengan generator utama. Sistem terakhir yang banyak digunakan saat ini dimana AC Exciter merupakan mesin kutub luar sehingga arus excitasi diperoleh langsung dari rotor melalui penyearah 3 fasa kekumparan medan generator utama. Generator dengan sistem ini dikenal sebagai Brushless Generator.

Arus Excitasi sangat berpengaruh pada penampilan karakteristik generator. Lewat pengaturan arus excitasi dapat dicapai kestabilan operasi generator sesuai beban terhubung dengan tegangan dan arus yang dibutuhkan.

Sistem excitasi dapat dibagi dalam dua kelompok, yaitu system excitasi terpisah (Separated Excitation System) dimana sumber arus excitasi diperoleh dari sumber tegangan terpisah dari generator utama seperti battery, accu dan generator lain lewat cincin gesek dan sikat, sedangkan sistem excitasi sendiri (Self Excitation System) sumber arus excitasi diperoleh dari keluaran generator utama atau lewat AC Exciter yng terpasang satu poros dengan generator utama. Type terakhir lebh berkembang dengan beberapa variasi dimana system automatic voltage regulator (AVR) harus dipakai.

Excitasi diberikan oleh hasil tegangan keluaran generator utama yang dilewatkan oleh regulator untuk penyesuaian tegangan pada kumparan medan. Tegangan medan sangat dipengaruhi karakteristik tegangan beban,

a. Direct-Self Excitation

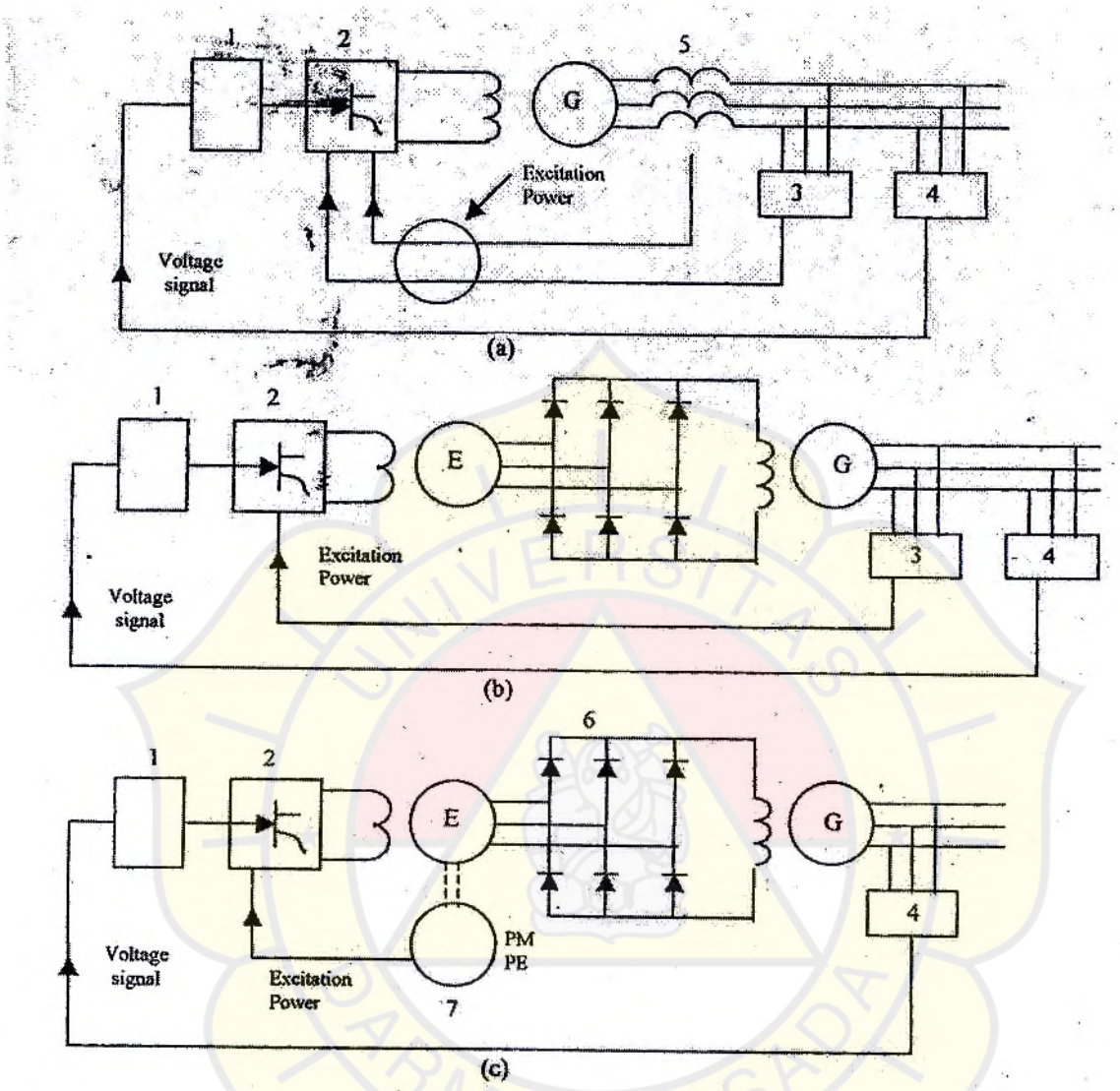
Generator dengan sistem ini menguntungkan untuk kebutuhan dimana luas ruangan terbatas tapi kapasitas keluaran juga terbatas dibawah 100 KVA dengan respon pada perubahan voltage 50% berlangsung dalam 0,2 detik.

b. Inderect-Self Excitation

Excitasi diperoleh tidak langsung dengan melalui AC Exciter yaitu generator kutub luar dengan arus excitasi dilewatkan suatu penyearah berputar (rotating rectifier). Baik rotating AC Exciter maupun rotating rectifier terpasang satu poros dengan generator utama. Medan pada AC Exciter dikontrol oleh suatu regulator elektrik dengan sumber daya diperoleh dari keluaran generator utama. Generaot ini tidak memerlukan sikat dan cincin gesek (Brushless generator) dengan kapasitas bisa di atas 100 KVA tapi respon pada perubahan voltage berlangsung lebih lama yaitu 0,5 detik.

c. Separated Excitation

Sistem excitasi ini mirip dengan point (b) dengan sumber excitasi untuk rotating AC Exciter diperoleh dari suatu Pilot Exciter dengan tegangan konstan. Kapasitas output dari jenis ini bisa diatas 10 MVA sampai batas maksimum. Pada sistem ini dipakai Permanent Magnet Pilot Exciter yang terpasang seporos dengan AC Exciter dan generator utamanya. Keuntungannya pada awal pembangkitan tegangan tidak perlu ada magnet residu pada AC Exciter untuk starting karena telah disuplai langsung oleh Permanent Magnet Generator yang bertindak sebagai Pilot Exciter. Kerugian biasanya pada penambahan panjang total generator yang bersangkutan.




Gambar 2.4 : Jaringan Listrik
a. Direct setf-excitabon, b. Indirect self-excitation, c. Separated excitation. l).Control unit, 2). Power output stage *(AVR)*, 3). Excitation power transformer, 4). Voltage transformer, 5). Current transformer for excitation power, 6). Dioda rectifier *(static or rotating)*, 7). Permanent magnet pilot exciter.

## 2.5 Karakteristik Generator AC( Alternator)

Karakteristik generator bisa diperoleh lewat percobaan. Dari hasil percobaan tersebut dibuat lengkung kurva penampilan generator yang bersangkutan. Karakteristik yang diamati meliputi

a. Karakteristik beban kosong.

Lewat percobaan dengan memutar alternator pada kecepatan konstan $n_s$ dan kumparan medan (pada rotor) menerima arus penguatan (excitasi) lm. Diperoleh hubungan:

E = E(Im) n = $n_g$,I = 0 Tegangan antar fasa E terinduksi pada kumparan stator tapi arus jangkar tidak mengalir pada stator (beban nol, 1-0). Tetapi tegangan E merupakan fungsi arus excitasi lm. Bila arus IM diubah-ubah akan diperoleh kurva E - lm.

b. Karakteristik hubung singkat

Lewat percobaan hubung singkat yang merupakan pengukuran arus hubung singkat sebagai fungsi excitasi dengan tegangan apit nol pada putaran rotor konstan. Diperoleh hubungan:

Ik = Ik($I_m$)n = $n_s$,u = 0 Jika nilai arus hubung singkat sangat tinggi akan timbul pemanasan pada sistem. Dengan demikian peranan alat pengatur excitasi harus bereaksi cepat agar saat terjadi hubung singkat pada saluran generator utama, arus excitasi dapat diturunkan.

c. Karakteristik beban penuh

Lewat percobaan alternator berbeban penuh dengan menghubungkan output pada system jala-jala, tegangan apit ukur sebagai fungsi arus medan. Putaran rotor arus beban dan factor kerja dijaga konstan. Faktor kerja yang diamati meliputi leading (mendahului), unity (sefasa) dan lagging (tertinggal) walaupun dalam prakteknya sering diambil factor kerja 0,8 lagging.

d. Karakteristik pengaturan

Karakteristik ini member jawaban bagaimana arus medan (arus excitasi) harus diatur agar tegangan apit konstan bila beban berubah-ubah. $I_m$ sebagai fungsi arus jangkar (pada stator) I serta 0 sudut antara E dan I. Diperoleh hubungan:

Im = Im(I)n,u,$\phi$

e. Karakteristik lengkung V

Merupakan kebalikan karakteristik pengaturan.Diperoleh hubungan: I = $I(I_m)$n,u,$P_p$

Daya poros $P_p$ dipertahankan konstan.

f. Karakteristik luar

Merupakan penggambaran .dari hubungan antara tegangan jepit (V) sebagai rungsi arus beban (I) dimana arus penguat magnet ($I_m$) tetap, putaran tetap dan cos □ yang tetap.

## 2.6. Kebutuhan Tenaga Listrik di Kapal

Sistem tenaga listrik di kapal terdiri dari alat pembangkit tenaga (generator), sistem distribusi daya (MSB, kabel) dan peralatan pengguna. Tenaga Listk dipakai, sebagai penggerak mesin bantu, permesinan geladak, penerangan, pemanasan, ventilasi dan pengkondisian udara, suplai tenaga listrik yang kontinyu sangan penting untuk keselamatan kapal besrta operasi permesinan sehingga perlu ada suatu sistem suplay darurat berupa emergency genertor atau betery yang bekerja secara automatis serta pengamanan yang memadai.

Pemilihan dan penggunaan semua sistem tenaga listrik di kapal harus mendapat persetujuan dari Biro Klasifikasi sehingga akan sangat berbedan dengan dengan sistem di darat, termasuk juga hal pemilihan generator kapal.

Seperti dikemukakan di atas, penggunaan tenaga listrik di kapal mencakup sistem tenaga (power system), berupa motor - motor penggerak, sistem pengendalian (navigation

system), vevntilasi dan sistem penerangan (lighting system). Dari sumber dY tenaga listrik dialirkan ke kotak pembagi (junction box) yang melayani sekelompok peralatan pengguna di tiap geladak. Junction power melayani pengguna berdaya besar dengan sistem 2 kabel (1 fase) dengan navigasi, komunikasi dan manuering tersedia juntion tersendiri.

Pada dasarnya daya Generator AC diambil berdsarkan jumlah total kebutuhan beban daya pengguna seperti menentukan kapasitas battery emergency power (DC power system). Dengan semakin berkembangnya teknologi generator AC dan pengalaman dari penggunaaan tenaga listrik pada kegiatan utama saat berlabuh, berlayar dan bongkar muat terdapat selisih pada listriknya. Selisih kebutuhan daya pada tiap kondisi tersebut cenderung konstan, karena memang pada tiap keaadaan utama tersebut peralatan - peralatan yang digunakan tidak sama dan setiap peralatan digunakan pada waktu yang sama. Perkembangan selanjutnya kapasitas genarator ditentukan dengan memperhitungkan faktor beban (load factor) yaitu perbandingan beban pemakaian rata - rata suatu peralatan terhadap beban nominal peralatan yang bersangkutan.

Nilai load factor berkisar antaraa nol sampai satu, peralatan yang jarang digunakan pada tiap kegiatan diperoleh harga load utama kapal maka nilai factor akan mendekati satu. Setelahhh jumlah hasil perkalian load factor tiap peralatan denga beban nominalnya pada tiap kegiatan diperoleh (tentuanya lebih kecil dari nominal terpasang) dipilih generator dengan kapastas mencukupi untuk tiap, kondisi kegiatan utama sesuai klasifikasi. Besar load factor ditentukan dari pengalaman yang sangat dipengaruhi factor jenis kapal, tonase kapal, jumlah peralatan pengguna serta rute pelayaran. Sehingga tidak ada harga pasti untuk load factor ini (tergantung perancang).

Pada saat ini kapasitas gnerator ditetukan dengan memasukkan pula factor kebersaamaan (diversity factor) yaitu perbandingan jumlah peralatan tersedia dengan yang

beroperasi pada saat suatu kegiata berlangsung. Bilai diversity factor biasanya berkisar 90% -95%.

Dari perhitungan terakhir ini diperoleh kebutuhan daya generator lebih kecil dari daya terpasang, namun diperkirakan akan mampu melayani kebutuha daya pada tiap kondisi operasi. Keuntungan yang diperolehdari perencaan kapasitas generator seperti di atas jelas lebih ekonomis (menghemat biaya pembelian generator), kebutuhan ruang lebih kecil, sistem penunjang lebih sederhana serta biaya pemeliharaan lebih ringan. Langkah berikutnya adalah memilih type generator yang sesuai.

Secara umura guna memilih type ukuran generator yang sesuai, perlu diperhitungkan faktor - faktor sebagai berikut:

1. Aplikasi Generator

   Menyangkut mode operasi yang diinginkan seperti standby atau continous, single atau paralel operation dan load power factor.

2. Lokasi Penempatan

   Meliputi attitude (ketinggian), temperatur udara sekitar (ambient temperature) kelembaban udara, (humudity) serta kondisi ekstrim lingkungan sekitar.

3. Beban Dinamis

   Ada tidaknya r3embatasan beban motor atau sekelompok motor yang dapat di start bersamaan atau penggunaan lainnya dengan daya besar pada waktu yang sama.

Pada sub bab berikut peranan faktor - faktor pemilihan dia atas untuk generator di kapal akan lebih diperjelas.

## 2.7. Kondisi Lingkungan Kerja di Kapal

Persyaratan utamam yang harus dipenuhi oleh generator di kapal adalah harus tetap mampu berfungsi dengan baik dalam kondisi pemakaian di kapal. Kedudukan di kapal cenderung dinamis, antara lain akibat gerakan gelombang, arus maupun angin kapal mengalami olengnan (rolling), heaving dan yawing. Kondisi tersebut akan mempengaruhi operasional generator kapal terutama instalasi yang dikopel dengan main propulsion dimna keaadaan sinkron sukar dipertahankan.

**Tabel 2.1 : Sudut Inklinasi sebagai Kondisi Kerja Permesinan**

| Equipment Components | Angle of inclination | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Arthwarti ships | | Longitudin | |
| | Static | Dyn | Static | Dyn |
| Main engines and auxiliary machinery | 15 " | 22,5 | 5 | 7,5 |
| Safety Equipment including emergency source of power, emergency fire pumps and thir drivers switchgear, electric and electronic equioment, remote control | 22,2 | 22,5 | 10 | 10 |

Kondisi mekanis dari gerakan kapal yang mempengaruhi perancangan generator kapal berupa gerakan badan kapal dan getaran kapal. Gerakan kapal yaitu pada posisi kemiringan arah melintang dan arah memanjang baik pada keaadaan statis dan dinamis.

**Tabel 2.2. : Kondisi Lingkungan Sekitar**

| Equipment Compenents | Location arrangement | Temperature Range (°C) |
|---|---|---|
| | In enclosed spaces | 0 to + 45 |
| Machinery and electrical installation | At machinery component, boliers in spaces subject to higher or lower etemperature | According to specific local conditions |
| | On the open deck | -25 to+ 45 |

1) Electrical appliances are to designed and tested to ensure saticfactory cooperation even at constant air temperature + 55°C
2) BKI may lower air temperature for ships intended only for service in special geographical afears.

| Location | Conditons |
|---|---|
| In all spaces | Ability to with stand oil vapour and saltladen air |
| | Saticfactory operationing the temperature ranges and with a relative atmosphere humidity of up to 100% at a reference temperature of 45°C |
| | Tolarance to condensation is assumed |
| In specially protected control rooms | With a relative atmosphere humidity or 80% at a reference temperature 45°C |
| On the open deck | Ability to with stand to temporary flooding by seawater and salt spray |

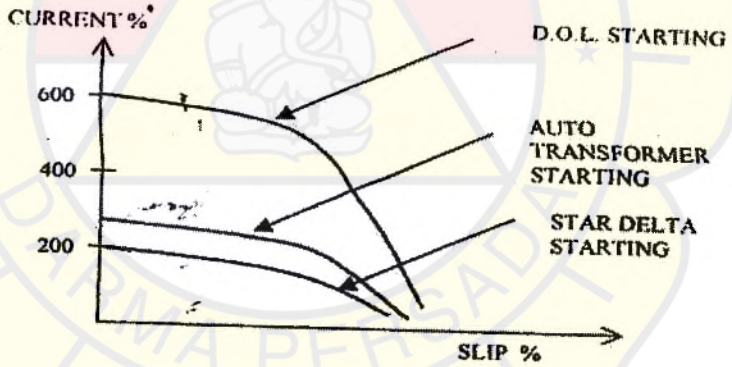
Kondisi temperatur udara sekitar (ambient temperature) untuk daerah tropis 45° - 50°C. Peralatan elektronis dirancang dengan pengetes suhu udara tetap 55°C pada tekanan

atmosfir 1000 mbar dan relative humidity 60%. Persyaratan suhu udara ini memperhitungkan pula lokasi pnempatan peralatan yang bersangkutan.

Kondisi sekitar lainnya seperti kemampuan menahan pengaruh uao minyak, udara yang mengandung garam, kelembaban dan percikan air laut umumnya berhubungan dengan pemilihan selungku pelindung sesuai standar IEC publications untuk instalasi listrik di kapal.

## 2.8. Kondisi Operasional di Kapal

Operasional generator kapal sangat dipengaruhi oleh peralatan - peralatan pengguna disuplainya. Tenaga listrik digunakan untuk penerangan yang berdaya kecil sampai motor cargo winch yang mengkonsumsi daya besar.




Gambar 2.5 : Diagram Arus Starting pada Motor

Gambar diatas memperlihatkan besarnya arus starting mototr terutama pada metode start Direct On Line (DOL) yang bisa mencapai 6-7 kai arus beban nominal (full load current/flc) disampingpenaruh design danjumlah kutub utara.

Puncak arus motor induksi pada saat start pada power factor (pf) rendah, biasanya antara 0,3 - o,4 dengan kehilangan daya besar. Meskipun kumparan generator dan kabel

hubung adalah subyek dari beban ini dimana beban mekanis pada prime mover tidak seketika naik karena governir dan flywheel akan menjaga kecepayan dalam batas - batas tertrny saat beban mekanis berubah tiba- tiba.

Akibat puncak arus ada pf rendah atau beban berdaya besar lainnya (beban kejut) yang terhubung pada instalasi berdaya kecil akan seketika itu juga menurunkan tegangan generator (voltage dip). Biasanya harga voltage dip tergantung dari beban yang siap dilayani oleh generator, khususnya beban campuran seperti pemanasan dan penerangan dengan sebagian untuk power motor atau permesinan bantu. Voltage dip yang terlalu besar dan lama waktu pulihnya (recovery time). Akan menyebabkan gangguan pada penerangan dan sebagian besar instrumen elektronis yang sangat peka seperti radar dan istrumen pengukuran. Automatic voltage regulator dari mesin penguat statis tidak bisa mengatur besarnya voltage dip, tapi dapat mengatur dan mempengaruhi kecepatan pemulihan ke keadaan beban normal. Gambar 2.8 memperihatkan karakteristik voltage respon penampilan generator pada kondisi peralihan (transient). Kondisi ini berlangsung saat start berdaya besar atau sekelompok motor yang bekerja bersamaan.

British standart 2949 (Referensi No. 15) mensyaratkan starting simultan sekelompok motor tidak boleh lebih dari 60% dari kapasitas generator terpasang. Pada kondisi tersebut voltage tidak sampai jatuh di bawah 80% atau naik di atas 120% dari rating voltage generator dimana beban dengan 60% arus beban pada pf antara 0,3 - 0,4 dihubungkan pada generator tanpa beban. Voltage harus kembali ke ± 3% dari normal dalam waktu 1.5 detik dan arus sampai tiga kai normal selama 2 detik tidak mengurangi faktor keselamatan.

Aspek operasional lain menyangkut generator berpenggerak. Main Engine yang banyak dipakai saat ini ileh kapal pelayaran rute jarak jauh dengan konstan speed. Selain guna menghemat ruangan juga memanfaatkan putaran konstans low spees diesel engine lewat suatu sistem transmisi. Pengurangan biaya operasi bisa mencapai 50% menyangkut biaya pemeliharaan generator set.

Hal yang harus diperhatikan menyangkut pemilihan sistem transmisi. Pilihan bsa dari: transmisi sabuk atau rantai, paralel pada poros propeller, ransmisi gearbox dan transmisi diambil dari ujung lain pros Main Engine (power take ofiTPTO). Kesulitan yang dihadapi adalah mempertahankan putaran konstan (stabiliitas operasi) pada kondisi pelayaran, saat manuver dan factor arah putaran poros. Karenanya sistem ini hanya bisa dipakai oleh kapal dengan Controlable Pitch Propeler/CPP). Disamping itu harus tersedia satu Genset terpisah berpenggerak sendiri yang bekerja saat kecpatan putaran poros propeller di bawah putaran yang disyaratkan.

## 2.9. Rating dan Kontrol Pada Generator AC (Alternator)

Secara umum persyaratan generator kapal (marine use) disusun oleh klasifikasi guna mengantisipasi kondisi kerja dan operasional di kapal. Alternator-alternator 3 fasa harus dirancang daya nyatanya sehingga terhindar dari jatuh tegangan dalam jaringan listrik kapal itu sendiri seperti diuraikan pada sub bab terdahulu. Hal ini berlaku pada untuk generator yang bekerja parallel, bentuk gelombang tegangan jarigan tanpa beban hams berbentuk se-smusoidal mungkin dengan deviasis kurang dari 50 % nilai puncak . tegangan fasa pada system 3 fasa tidak bolehy berbeda melebihi 0,5% satu terhadap lainnya dibawah beban seimbang tiap fasa. Tegangan fasa biasanya didistribusikan merata pada beban peralatan satu fasa seperti penerangan pada masing-masing geladak.

Untuk alternator dan system exciternya diberi ukuran guna memperkenankan alternator bekerja selama dua menit pada 150% dari arus ratingnya dengan pf 0,5 lagging dimana tegangan rating dijaga. Alternator dan penguatnya tersebut hams tahan terhadap hubung singkat baik saat pengetesan maupun saat operasional selama system pemutus sirkuit (circuit breaker) belum bereaksi, sesuai perhitungan saat perancangan. Pada alternator dengan pengendali tegangan hams diamankan terhadap tegangann terminal tertinggi akibat kesalahan nilai daya masuk.

Kondisi pengendalian transient dimana suatu alternator sedang bekerja pada perputaran dan tegangan keluar normal, tegangannya tidak boleh jatuh sampai 80% atau melebihi 120% ketika suatu beban seimbang yang mempunyai arus nyata dan power factor dihubungkan tiba-tiba atau dipindahkaa Tegangan hams dapat dipulihkan pada harga nominal + 2,5% dalam waktu kurang dari 1,5 detik. Untuk penggunaan yang belum ditentukan alternator diujji dengan penguatan samapai tegangan keluar nominal dengan tiba-tiba dibebani 605 arus kerjanya pada suatu factor daya kurang dari 0,4 lagging (tertinggal) dan sesudah kondisi pengendalian mantap, beban sekonyong-konyong dilepaskan.

Selain persyaratan teknis di atas untuk generator yang diparalel dari alternator yang berdaya nominal sama beban aktif hams dibagi sama, daya reaktif masing-masing mesin tidak boleh berbeda melebihi 10% daya reaktif nominal dalam batas 20% sampai berdaya nominal berbeda deviasi yang diijinkan 10% daya reaktif nominal mesin terbesar atau 255 mesin terkecil dipilih nilai terendah.

Suatu perjanjian khusus antara owner dan pabrik diperlukan saat generator dirancang untuk mensuplai motor bongkar muat multi speed atau beban-beban dengan karakteristik

pemakaian sama, sehingga generator dan beban bisas dirancang bersama untuk memperoleh pemakaian optimum.

Pengendalian operasional alternator dapat dilakukan dari engine room maupun anjungan (bridge). Guna melindungi peralatan pengguna dan generatomya dimana system pengendali intern (AVR Excitasi, Governor, Prime Mover) gagal beroperasi, dibutuhkan system pengaman pada system traansmisi daya antara generator dengan system jala-jala (peralatan pengguna).

Bila beban yang ditanggung generator melampaui kapasitsa generator, timbul arus berlebihan (overcurrent). Dalamhal ini overload protection berupa circuit breaker segera memutus beban (trip) pada saat beban missal sebesar 125% nominal (rating 10% - 50% over current) selama $\pm$ 2 menit. Pada kondisi arus sangat berlebihan (missal saat short circuit) dimana time delay circuit breaker pada overload protection belum tercapai.