



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Suplai Daya Listrik

Kebutuhan tenaga listrik pada suatu industri harus disesuaikan dengan keadaan produktivitas perusahaan itu sendiri, yang paling penting adalah kontinuitas dan keandalan yang tinggi dalam pelayanannya. Mengingat bahwa tenaga listrik sangat penting dalam proses produksi, maka sumber tenaga listrik ini harus dijaga dari adanya berbagai macam gangguan.

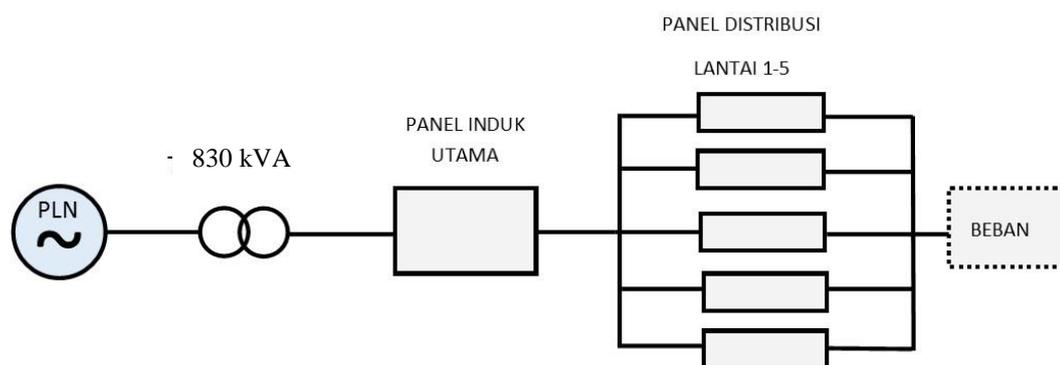
Adapun suplai daya listrik dapat diperoleh dari:

- a) Sulplai jaringan dari PLN
- b) Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD/GENSET)

Namun demikian, untuk dapat menentukan pilihan dalam penyediaan suplai tenaga listrik perlu dipertimbangkan kondisi kelompok beban yang akan terpasang.

2.2 Suplai Daya Listrik Dari Jaringan PLN

Untuk menyalurkan tenaga listrik ke konsumen, PLN membangun gardu distribusi di pusat-pusat beban. Di gardu distribusi ini terjadi penurunan tegangan dari tegangan transmisi ketegangan menengah distribusi. Dalam ketentuan pelanggan atau konsumen itu harus memiliki gardu distribusi sendiri.¹



Gambar 2.1 Distrbusi Listrik Di Kantor Ditjen Pajak Sumsel dan Kepulauan Babel

¹ Dunia Listrik, Sistem Distribusi Tenaga Listrik. <http://dunia-listrik.blogspot.co.id>.



2.2.1 Transformator

Transformator atau sering disingkat dengan istilah Trafo adalah suatu alat listrik yang dapat mengubah taraf suatu tegangan AC ke taraf yang lain. Maksud dari perubahan taraf tersebut diantaranya seperti menurunkan Tegangan AC dari 220VAC ke 12 VAC ataupun menaikkan Tegangan dari 110VAC ke 220 VAC. Transformator atau Trafo ini bekerja berdasarkan prinsip Induksi Elektromagnet dan hanya dapat bekerja pada tegangan yang berarus bolak balik (AC). Transformator (Trafo) memegang peranan yang sangat penting dalam pendistribusian tenaga listrik. Transformator menaikkan listrik yang berasal dari pembangkit listrik PLN hingga ratusan kilo Volt untuk di distribusikan, dan kemudian Transformator lainnya menurunkan tegangan listrik tersebut ke tegangan yang diperlukan oleh setiap rumah tangga maupun perkantoran yang pada umumnya menggunakan Tegangan AC 220Volt..

Sebuah Transformator yang sederhana pada dasarnya terdiri dari 2 lilitan atau kumparan kawat yang terisolasi yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. Pada kebanyakan Transformator, kumparan kawat terisolasi ini dililitkan pada sebuah besi yang dinamakan dengan Inti Besi (Core). Ketika kumparan primer dialiri arus AC (bolak-balik) maka akan menimbulkan medan magnet atau fluks magnetik disekitarnya. Kekuatan Medan magnet (densitas Fluks Magnet) tersebut dipengaruhi oleh besarnya arus listrik yang dialirinya. Semakin besar arus listriknya semakin besar pula medan magnetnya. Fluktuasi medan magnet yang terjadi di sekitar kumparan pertama (primer) akan menginduksi GGL (Gaya Gerak Listrik) dalam kumparan kedua (sekunder) dan akan terjadi pelimpahan daya dari kumparan primer ke kumparan sekunder. Dengan demikian, terjadilah perubahan taraf tegangan listrik baik dari tegangan rendah menjadi tegangan yang lebih tinggi maupun dari tegangan tinggi menjadi tegangan yang rendah. Sedangkan Inti besi pada Transformator atau Trafo pada umumnya adalah kumpulan lempengan-lempengan besi tipis yang terisolasi dan ditempel berlapis-lapis dengan kegunaanya untuk mempermudah jalannya Fluks Magnet yang ditimbulkan oleh arus listrik.



2.2.2 Perhitungan Arus Beban Penuh Transformator

Daya transformator bila ditinjau dari sisi tegangan tinggi (primer) dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana :

S : Daya transformator (kVA)

V : Tegangan sisi primer transformator (kV)

I : Arus jala-jala (A)

Sehingga untuk menghitung arus beban penuh (*full load*) dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} \dots\dots\dots (2.2)$$

dimana :

I_{FL} : Arus beban penuh (A)

S : Daya transformator (kVA)

V : Tegangan sisi sekunder transformator (kV)

2.3 Sumber Tenaga Listrik Cadangan

Sistem tenaga listrik cadangan (*stand-by power*) adalah suatu sumber tenaga listrik yang berdiri sendiri jika terjadi kegagalan penyediaan tenaga listrik dalam jumlah dan kualitas yang dapat diterima oleh konsumen dengan peralatan Genset.

Beberapa persyaratan yang harus dipenuhi oleh suatu sumber tenaga listrik cadangan antara lain :

1. Sebagai sumber tenaga listrik pengganti yang dapat diandalkan yang terpisah dari sumber tenaga listrik normal.
2. Genset harus dilengkapi dengan pengendali pengaturan tegangan dengan kecepatan putaran untuk pengaturan frekuensi sistem dan dilengkapi dengan pengendali transfer normal ke sumber tenaga listrik cadangan.
3. Dalam memperhitungkan kapasitas sumber listrik juga harus diperhitungkan penambahan beban yang sewaktu-waktu diperlukan.
4. Pertimbangan biaya operasi sistem tenaga listrik berupa bahan bakar,



kemudian dalam pemeliharaan dan kemudahan memperoleh peralatan suku cadang.

5. Dalam hal sumber tenaga listrik untuk mensupply kebutuhan beban harus dapat di catu dari sumber listrik cadangan yang dilengkapi dengan lampu indikasi yang menunjukkan sumber tenaga listrik ini sedang berfungsi dan lampu alarm jika sumber tenaga listrik tidak berfungsi akibat gangguan.
6. Untuk mencegah terputusnya sumber tenaga listrik selama periode waktu tertentu, sehingga dapat mengakibatkan kehilangan produksi dapat ditempuh dengan jalan mensupply tenaga listrik cadangan yang berasal dari genset *stand-by* dan dapat pula diambil dari sumber tenaga listrik lain yang terpisah dari rangkaian sistem.

2.4 Klasifikasi Jenis Beban

Pada umumnya sesuai tingkat kebutuhan beban dapat kita bagi menjadi :

a. Beban Normal

Beban normal merupakan suatu beban listrik yang pada kondisi normal operasi yang dipakai untuk melayani kepentingan proses operasi produksi. Jika terjadi gangguan pada sumber listrik normal, maka proses produksi masih dapat menghasilkan karena masih mendapat sumber energi lain misalnya energi uap.

b. Beban Darurat

Beban darurat merupakan suatu beban listrik dalam keadaan operasi normal yang di supply dari sumber normal. Jika terjadi gangguan pada sumber tenaga normal, maka harus tersedia dari sumber tenaga listrik cadangan.

c. Beban Prioritas

Beban prioritas merupakan beban listrik dalam keadaan normal yang dapat di supply dari sumber normal. Jika sumber normal mengalami gangguan, sumber tenaga listrik dapat diambilkan dari suatu sumber listrik yang betul-betul mempunyai keandalan tinggi. Teknik pemindahan (*transfer*) harus sangat baik sehingga supply tenaga ke beban tidak terputus. Alat seperti ini disebut Sumber Tenaga Listrik Tak Terputus (*Uninterrupted Power Supply*).



2.5 Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD/GENSET)

Untuk menjaga kemungkinan terjadi pemutusan aliran listrik dari PLN, maka suatu industri menyediakan pembangkit listrik sendiri sebagai cadangan, biasanya digunakan Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD/GENSET). Namun ada juga suatu industri yang tidak mempergunakan suplai daya dari PLN, tapi hanya tergantung pada Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD/GENSET).

Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD/GENSET) lebih cocok digunakan untuk industri dibandingkan dengan jenis pembangkit listrik lain, seperti pembangkit listrik tenaga uap, gas dan sebagainya karena pemeliharannya dan perawatannya lebih mudah dibandingkan pembangkit listrik lainnya.

Mesin Diesel termasuk mesin dengan pembakaran dalam atau disebut motor bakar ditinjau dari cara memperoleh energi thermalnya. Untuk membangkitkan listrik sebuah mesin diesel menggunakan generator dengan sistem penggerak tenaga diesel atau yang biasa dikenal dengan sebutan Genset (Generator Set).

Ada 2 komponen utama pada Genset, yaitu:

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

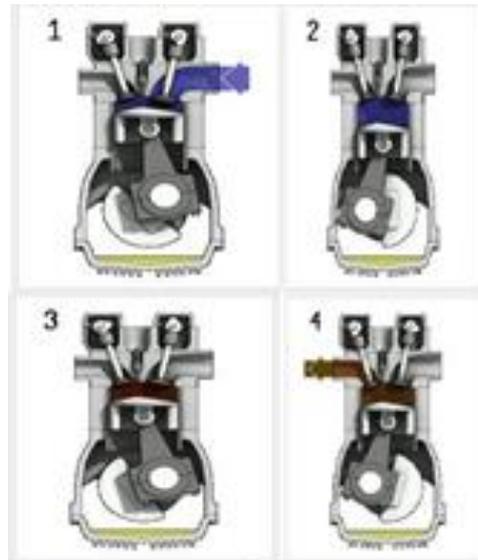
2.5.1 Cara Kerja Mesin Diesel

Prime Mover merupakan peralatan yang mempunyai fungsi menghasilkan energi mekanis yang diperlukan untuk memutar rotor generator. 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. Pada mesin diesel penambahan panas atau energi senantiasa dilakukan pada tekanan yang konstan. Pada mesin diesel, piston melakukan 2 langkah pendek menuju kepala silinder pada setiap langkah daya.



Adapun cara kerja mesin diesel adalah sebagai berikut:

- 1) Langkah yang pertama merupakan langkah pemasukan dan penghisapan, disini udara dan bahan bakar masuk sedangkan poros engkol berputar ke bawah.
- 2) Langkah kedua merupakan langkah kompresi, poros engkol terus berputar menyebabkan torak naik dan menekan bahan bakar sehingga terjadi pembakaran. Kedua proses ini (1 dan 2) termasuk proses pembakaran.
- 3) Langkah ketiga merupakan langkah ekspansi dan kerja, disini kedua katup yaitu katup isap dan katup buang tertutup, sedangkan poros engkol terus berputar dan menarik kembali torak ke bawah.
- 4) Langkah ke empat merupakan langkah pembuangan, disini katup buang terbuka dan menyebabkan gas akibat sisa pembakaran terbang keluar. Gas dapat keluar karena pada proses keempat ini.²



Gambar 2.2 Cara Kerja Mesin Diesel

Berdasarkan proses di atas, maka mesin diesel dapat digolongkan menjadi 3 bagian:

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

² Sinar Grafika, *Mengenal Motor Bakar* (Jakarta: Tim Kreatif SG, 2008), hal.3



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 atau poros hubung yang akan digerakan 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 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 baterai atau accu. Sehingga apabila tegangan dari baterai atau accu sudah mencapai 12 atau 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 kedalam 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 diruang 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.

2.5.2 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 (AC) dikenal dengan sebutan alternator. Generator diharapkan dapat mensuplai tenaga listrik pada saat terjadi gangguan, dimana suplai tersebut digunakan untuk beban prioritas. Sedangkan genset (generator set) merupakan bagian dari generator. Genset merupakan suatu alat yang dapat mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Genset atau sistem generator penyaluran adalah suatu generator listrik yang terdiri dari panel, berenergi solar dan terdapat kincir angin yang ditempatkan pada suatu tempat. *Genset* dapat digunakan sebagai sistem cadangan listrik atau “*off- grid*” (sumber daya yang tergantung atas kebutuhan pemakai). Genset sering digunakan oleh industri-industri yang mempercayakan sumber daya listrik yang mantap.

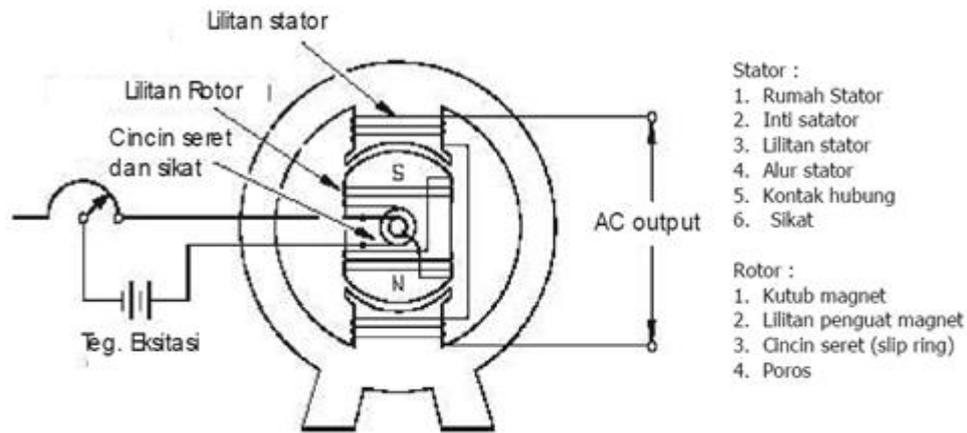


Gambar 2.3 Generator



2.5.3 Konstruksi Generator AC

Konstruksi generator AC dapat dilihat pada gambar 2.4, yang terdiri dari:



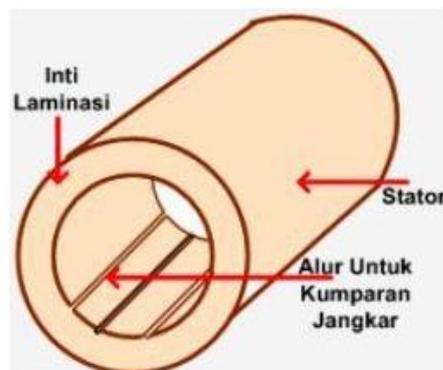
Gambar 2.4 Konstruksi Generator Arus Bolak-balik

1. Rangka Stator

Rangka stator merupakan rumah dari bagian-bagian generator yang lain yang terbuat dari besi tuang.

2. Stator

Stator merupakan bagian dari mesin yang diam dan berbentuk silinder. Stator tersusun dari plat-plat (seperti yang dipergunakan juga pada jangkar dari mesin arus searah) stator yang mempunyai alur-alur sebagai tempat meletakkan lilitan stator. Lilitan stator berfungsi sebagai tempat terjadinya GGL Induksi.



Gambar 2.5 Inti Stator dan Alur pada Stator



3. Rotor

Rotor merupakan bagian dari mesin yang berputar. Pada rotor terdapat kutub-kutub magnet dengan lilitannya yang dialiri arus searah, melewati cincin geser dan sikat-sikat.

4. Slip Ring atau Cincin Geser

Slip Ring terbuat dari bahan kuningan atau tembaga yang dipasang pada poros dengan memakai bahan isolasi. Slip ring ini berputar bersama-sama dengan poros dan rotor. Slip ring berfungsi untuk mengalirkan arus penguat magnet ke lilitan magnet pada rotor.

5. Generator Penguat

Generator penguat merupakan suatu generator arus searah yang dipakai sebagai sumber arus. Biasanya yang dipakai adalah dinamo shunt. Akan tetapi sekarang banyak generator yang tidak menggunakan generator arus searah sebagai sumber penguat, tetapi mengambil sebagian kecil dari belitan statornya yang di transformasikan dan kemudian di salurkan dengan dioda sebagai sumber penguat magnetnya.³

Lilitan generator sinkron yang tempat terjadinya GGL tidak bergerak, sedangkan kutub-kutubnya akan menimbulkan medan magnet berputar disebut dengan generator kutub dalam.

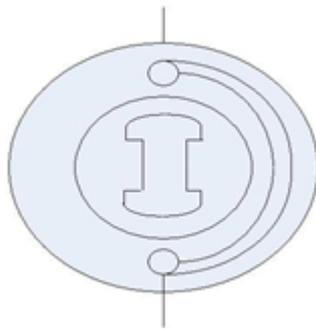
Generator belitan fasanya yang berputar dan terletak pada rotor disebut dengan generator kutub luar.

2.5.4 Lilitan Fasa

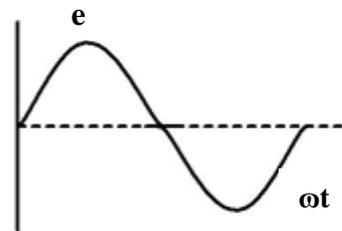
Lilitan fasa merupakan tempat terjadinya induksi tegangan listrik pada generator, lilitan fasa ini dapat terpasang pada stator maupun pada rotor tergantung dari jenis kutub generator.

Bila dilihat dari segi jumlah fasanya maka belitan fasa generator umumnya terbagai atas 2 macam, yaitu lilitan 1 fasa dan lilitan 3 fasa.

³ ABDUL KADIR, Mesin Sinkron. (Bandung: Drs. Sumanto, MA.) hal. 15

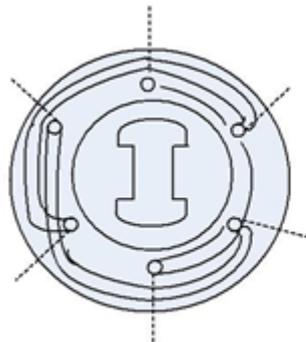


a. Lilitan 1 Fasa

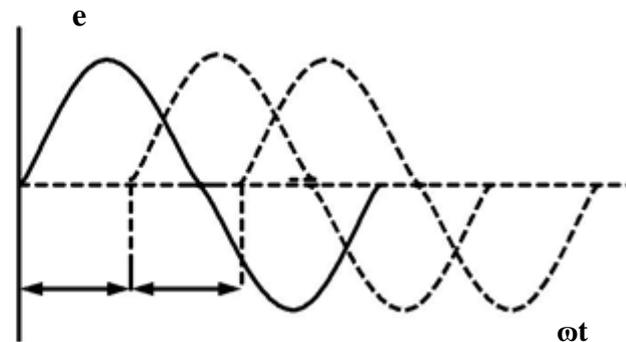


b. Bentuk GGL

Gambar 2.6 Lilitan 1 Fasa



a. Lilitan 3 Fasa

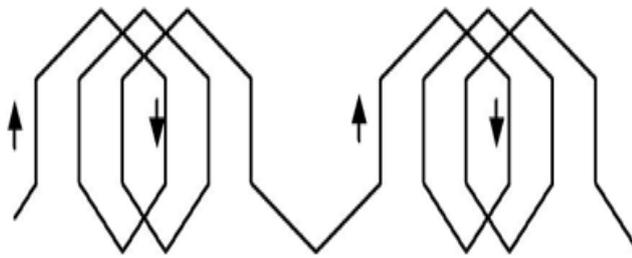


b. Bentuk GGL

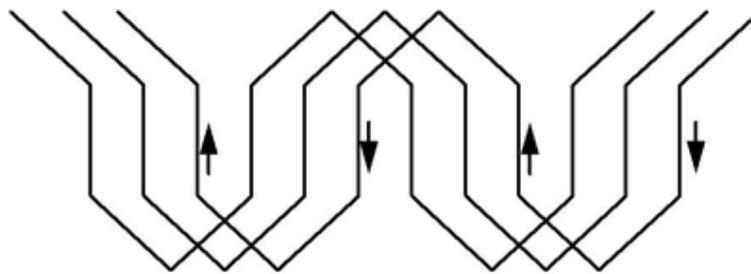
Gambar 2.7 Lilitan 3 Fasa

Pada generator 1 fasa pada umumnya jumlah alur lilitan berkelipatan 3 yang dililit hanya dua per tiga dari jumlah alur stator atau rotor. Untuk generator fasa tiga lilitannya antara satu dengan yang lain masing-masing berjarak 120° Listrik.

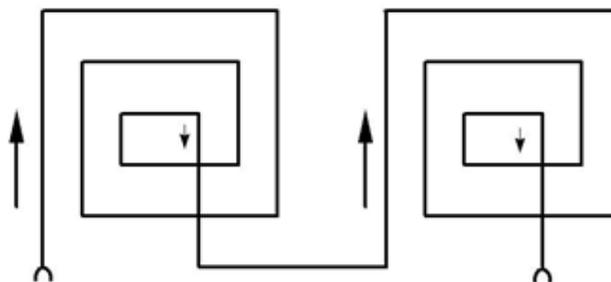
Bila dilihat dari bentuknya lilitan fasa ini terbagi atas 2 tipe kumparan, yaitu tipe Barel dan tipe Spiral. Tipe barel terbagi lagi menjadi dua, yaitu lilitan gelombang dan lilitan gelung. Namun yang umum digunakan adalah lilitan gelung, lihat gambar 2.8, 2.9, 2.10.



Gambar 2.8 Lilitan Gelung



Gambar 2.9 Lilitan Gelombang



Gambar 2.10 Tipe Spiral

2.5.5 Sambungan Lilitan Fasa

Diketahui pada generator 3 fasa terdapat 3 buah lilitan fasa. Lilitan-lilitan fasa tersebut dapat disambung secara segi tiga atau delta dan secara bintang atau star, yang masing-masing disimbolkan dengan \triangle dan Υ .

Sambungan segi tiga dapat dibuat dengan menghubungkan ujung-ujung akhir dari kumparan yang dikeluarkan pada terminal box dihubungkan dengan ujung-ujung mula dari kumparan fase berikutnya, sehingga membentuk semacam lingkaran tertutup.



Hubungan segitiga pada generator mempunyai tujuan untuk mendapatkan harga arus jaring-jaring (I_L) yang besar. Lihat gambar 2.11 untuk hubungan segitiga:

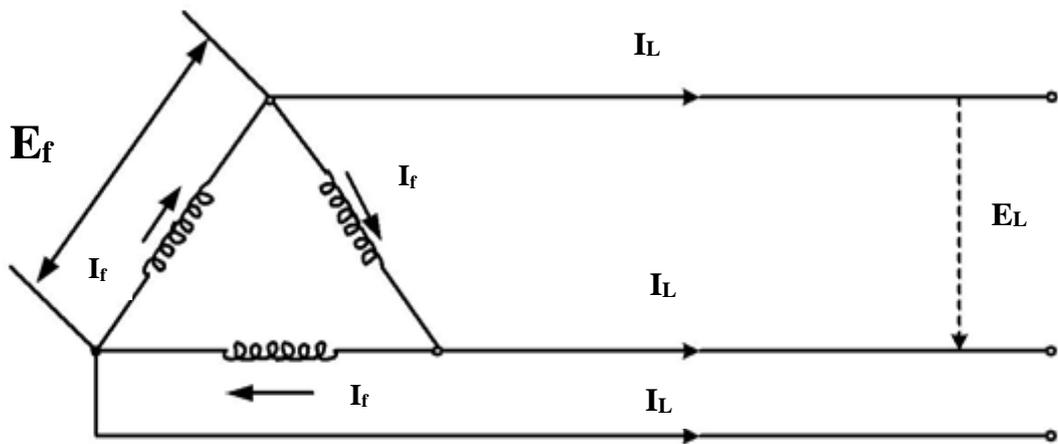
$$I_L = I_f \sqrt{3} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$E_L = E_f \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana :

I_f = Arus Fasa

I_L = Arus Jaring-jaring



Gambar 2.11 Sambungan Segitiga atau Delta

Untuk sambungan bintang dapat dibuat dengan menghubungkan ujung-ujung akhir dari kumparan yang dikeluarkan pada terminal dihubungkan menjadi satu.

Hubungan bintang suatu generator mempunyai tujuan, yaitu untuk mendapatkan harga tegangan jaring-jaring yang besar. Lihat gambar 2.12 untuk hubungan bintang :

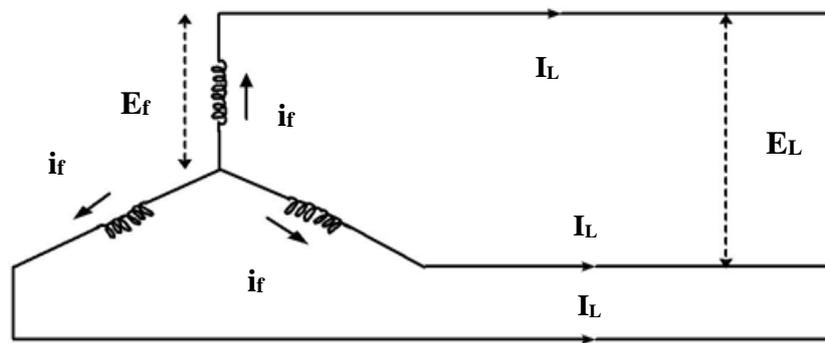
$$E_L = E_f \sqrt{3} \dots\dots\dots (2.5)$$

$$I_L = I_f \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana :

E_f = Tegangan Fasa

E_L = Tegangan Jaring-jaring



Gambar 2.12 Sambungan Bintang atau Star

2.5.6 Karakteristik Generator AC

Generator diputar oleh suatu tenaga penggerak (*prime mover*) untuk menghasilkan tenaga listrik. Pada prinsipnya putaran generator adalah konstan (tetap), demikian halnya dengan putaran generator dalam pembuatan karakteristik-karakteristik harus selalu dipertahankan agar tetap. Karakteristik karakteristik itu yang penting adalah, sebagai berikut :

1. Karakteristik Tanpa Beban (*No Load Characteristic*)

Karakteristik tanpa beban menggambarkan hubungan antara tegangan jepit sebagai fungsi dari arus kemagnetan di mana generator dalam keadaan tanpa beban dan putaran tetap.

$$E_0 = f(I_M), \text{ dimana } I = 0$$

$$n = \text{Konstan} \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan :

E_0 : Tegangan tanpa beban

I_M : Arus kemagnetan

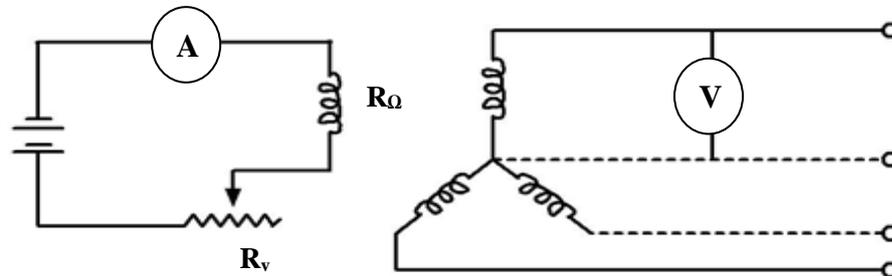
I : Arus fase

n : Jumlah putaran per menit (rpm)

Karakteristik tanpa beban dari generator diperoleh berdasarkan pengukuran tegangan tanpa beban (E_0) apabila I_M berubah dari nol sampai batas tertentu. Percobaan karakteristik tanpa beban dapat dilakukan untuk generator satu fasa atau tiga fasa.

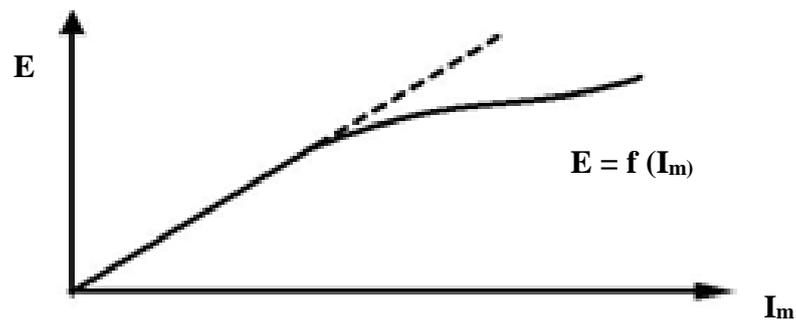


Pelaksanaan untuk percobaan tanpa beban suatu generator adalah dengan rangkaian seperti pada gambar 2.13.



Gambar 2.13 Rangkaian Percobaan Generator Tanpa Beban

Hasil dari percobaan karakteristik tanpa beban ini akan diperoleh penggambaran seperti pada gambar 2.14. Bentuk lengkung seperti lengkung kemagnetan.



Gambar 2.14 Karakteristik Tanpa Beban

2. Karakteristik Berbeban (*Load Characteristic*)

Karakteristik berbeban dari suatu generator merupakan penggambaran dari hubungan antara tegangan jepit (V) sebagai fungsi arus kemagnetan (I_M), dimana beban generator tetap, dan jumlah putaran tetap.

$$V = f(I_M), \text{ dimana } Z_L : \text{konstan.}$$

$$n : \text{konstan} \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan :

V : Tegangan berbeban

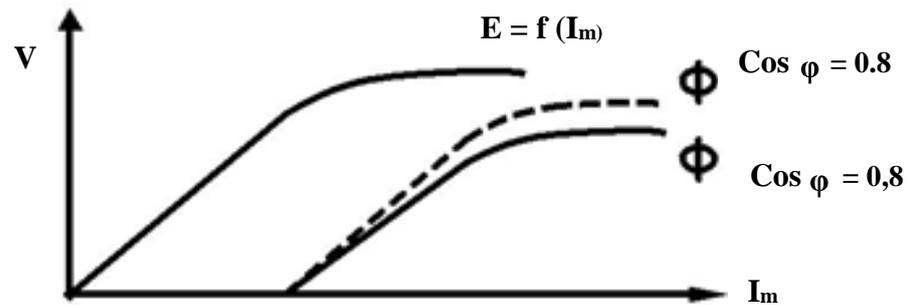
I_M : Arus kemagnetan

Z_L : Impedansi beban

n : Jumlah putaran generator per menit (rpm).



Pelaksanaan untuk percobaan berbeban, sama seperti pada gambar 2.13 Tetapi pada percobaan ini generator diberi beban tetap. Gambar 2.14 merupakan hasil penggambaran dari percobaan untuk menentukan karakteristik berbeban dari suatu generator.



Gambar 2.15 Karakteristik Berbeban

Bila $\cos\phi$ beban berubah, dengan sendirinya penggambaran karakteristik berbeban akan berubah pula. Di sini yang perlu diperhatikan adalah penggambaran karakteristik berbeban dengan $\cos\phi = 0$, dimana lengkung ini sejajar dengan lengkung tanpa beban.

Lengkung berbeban akan semakin tegak bila $\cos\phi$ semakin kecil (beban induktif).

3. Karakteristik Hubung Singkat (*Short Circuit Characteristic*)

Karakteristik hubung singkat merupakan penggambaran dari hubungan antara arus fase hubung singkat (I_{SC}) sebagai fungsi arus kemagnetan (I_M), dimana dalam hal ini beban dihubung singkat dan putaran generator tetap.

$$I_{SC} = f(I_M), \text{ dimana } Z_L = 0 \dots\dots\dots (2.9)$$

$n = \text{konstan.}$

Keterangan :

I_{SC} : Arus fase hubung singkat

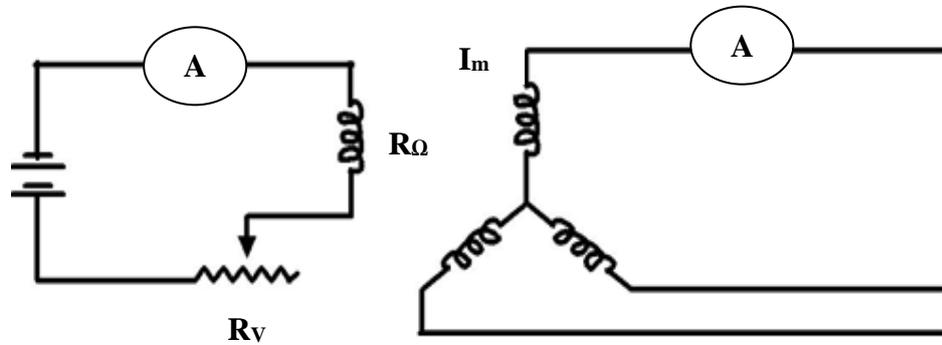
I_M : Arus kemagnetan

Z_L : Impedansi beban

n : Jumlah putaran generator per menit (rpm).

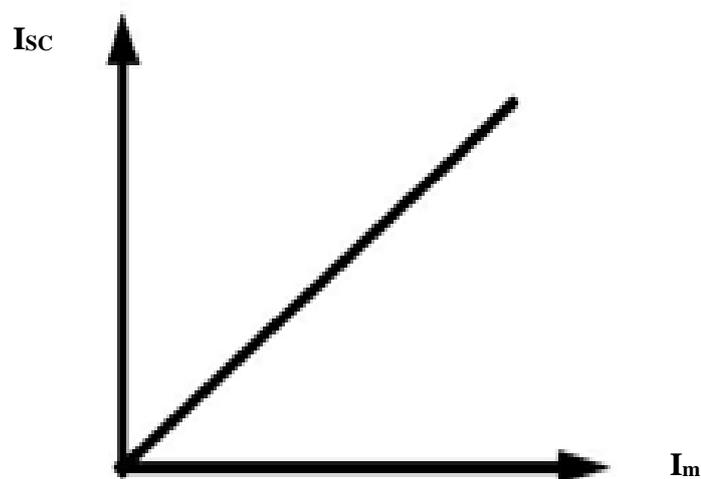


Karakteristik hubung singkat dari generator diperoleh dengan rangkaian seperti gambar 2.16.



Gambar 2.16 Rangkaian Percobaan Karakteristik Hubung Singkat Generator 3 fasa

Percobaan hubung singkat dapat dilaksanakan untuk generator 1 fase atau lebih. Jika lebih dari 1 fase maka seluruh ujung-ujung lilitan fase juga harus dihubung singkat. Walaupun di ukur hanya yang 1 fase saja. Gambar 2.17 merupakan hasil penggambaran hasil percobaan karakteristik hubung singkat. Seperti pada pelaksanaan untuk menentukan karakteristik generator tanpa beban, maka pada setiap perubahan arus kemagnetan (I_M) harus juga diukur berapa besar arus fase hubung singkat (I_{SC}) tersebut. Grafik hubungan antara I_M dan I_{SC} merupakan garis lurus di mana arus kemagnetan diambil sampai arus fase pada hubung singkat 1,25 – 1,5 arus fase beban normal.



Gambar 2.17 Karakteristik Hubung Singkat Generator



2.6 AMF dan ATS

Bangunan yang memiliki backup power atau memiliki catu daya lebih dari satu sebagai contoh menggunakan sumber dari PLN dan di Back-up oleh Genset (generator-set) tentu sering sekali harus secara bergantian untuk menggunakannya, pada kebiasaannya banyak menggunakan handle Cam Switch atau sering dinamakan COS (Change Over Switch) untuk memindah kontak sumber daya tersebut, pada pabrik pabrik zaman dulu juga seringnya menggunakan saklar cam untuk memindahkan daya, Hal tersebut berarti di anggap secara manual dan membutuhkan operator dalam mengoperasikan pemindah daya tersebut, dalam perkembangan teknologi dunia elektrikal akhirnya merekayasa hal tersebut kemudian di jalankan secara Automatic yang di singkat ATS (Auto Transfer Swith) yang di fungsikan secara Automatic untuk memindahkan daya sesuai dengan kebutuhan tanpa menggunakan tenaga manusia untuk mengoperasikannya, pada kebiasaannya ATS akan di sertakan pula AMF (Automatic Main Failure) atau sering di jelaskan sebagai kontrol kendali terhadap generator back-up atau perintah kendali hidup mati mesin Generator, dalam beberapa jenis ATS di bedakan menurut kapasitas daya yang di butuhkan atau berdasar Phasa dan Ampere yang melalui panel tersebut, namun untuk prinsip kerjanya sama.⁴

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, ATS merupakan pelengkap dari AMF dan bekerja secara bersama-sama.

ATS atau Automatic Transfer Switch, yaitu proses pemindahan sumber listrik yang satu ke sumber listrik yang lain secara bergantian sesuai perintah pemrograman.

⁴ Neno Suhana, *Seri Teknik Rangkaian Kontrol Panel Genset* (Bandung: ITB,2002) ,hal.5



Di bawah ini merupakan gambar panel-panel induk utama yang ada di Kantor Wilayah Ditjen Pajak Sumsel dan Kepulauan Babel.



a. Panel KPP Pratama

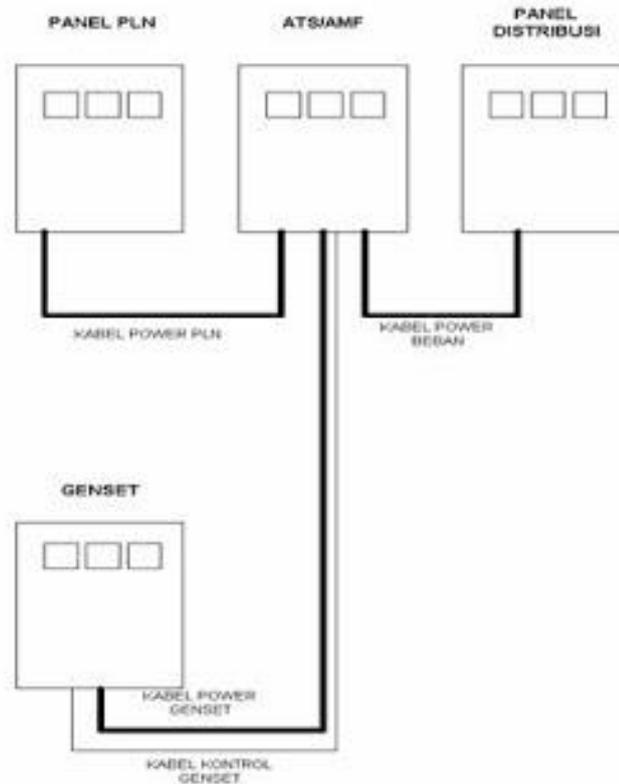


b. Panel KPP Madya



c. Panel KPP Kanwil

Gambar 2.20 Panel-Panel Induk Utama Kantor Ditjen Pajak Sumsel dan Kepulauan Babel



Gambar 2.21 Panel-Panel Utama

Dalam ruang lingkup sumber daya listrik dikenal dengan 4 (empat) panel utama yaitu:

- 1) Panel Induk Utama (PLN)
Panel Induk Utama adalah panel yang menjadi sumber utama daya yang akan digunakan.
- 2) Panel ATS/AMF
Panel ATS/AMF adalah panel yang digunakan untuk mengatur perpindahan daya.
- 3) Panel Genset
Panel Genset adalah panel yang dayanya bersumber dari genset dan merupakan alternatif daya.
- 4) Panel Distribusi
Panel Distribusi adalah panel untuk membagi daya ke seluruh beban pengguna.



2.7 Uninterruptible Power Supply (UPS)

Beban listrik harus di supply dengan suatu sumber tenaga dengan keandalan tinggi secara konstan pada beban yang sangat prioritas sifatnya. Suply seperti ini akan mencegah terputusnya tenaga listrik walaupun hanya sesaat, dan kebutuhan supply tenaga ini jenis arus bolak balik. Untuk mendapatkan sumber arus bolak balik seperti yang dimaksud di atas dikenal dengan *Uninterruptible Power Suply* (UPS).

UPS yang dapat beroperasi dengan otomatis jika sumber daya utama (PLN) terputus. UPS bermanfaat untuk mensupply beban darurat yang diasumsikan sebagai beban yang hanya boleh kehilangan supply daya listrik dalam orde waktu milli detik. Dibawah ini merupakan gambar uninterruptible merk Toshiba yang ada di Kantor Wilayah Ditjen Pajak Sumsel dan Kepulauan Babel.



Gambar 2.22 Uninterruptible Power Supply



Gambar 2.23 TYPEFORM UC3EIEO36-51



Gambar 2.24 TYPEFORM UC3-BC-0360



2.7.1 Fungsi Utama UPS

- 1) Dapat memberikan energi listrik sementara ketika terjadi kegagalan daya pada listrik utama.
- 2) Memberikan kesempatan waktu yang cukup untuk segera menghidupkan genset (sistem daya darurat) sebagai pengganti listrik utama.
- 3) Memberikan kesempatan waktu yang cukup untuk segera melakukan backup data dan mengamankan sistem operasi (OS) dengan melakukan *shutdown* sesuai prosedur ketika listrik utama padam.
- 4) Mengamankan sistem komputer dari gangguan-gangguan listrik yang dapat mengganggu sistem komputer baik berupa kerusakan *software*, data maupun kerusakan *hardware*.
- 5) *UPS* secara otomatis dapat melakukan stabilisasi tegangan ketika terjadi perubahan tegangan pada input sehingga tegangan output yang digunakan oleh sistem komputer berupa tegangan yang stabil.
- 6) *UPS* dapat melakukan diagnosa dan manajemen terhadap dirinya sendiri sehingga memudahkan pengguna untuk mengantisipasi jika akan terjadi gangguan terhadap sistem.
- 7) *User friendly* dan mudah dalam installasi.
- 8) *User* dapat melakukan kontrol *UPS* melalui jaringan LAN (*Local Area Network*) dengan menambahkan beberapa *accessories* yang di perlukan.
- 9) Notifikasi jika terjadi kegagalan dengan melakukan *setting software UPS* manajemen.
- 10) Dapat diintegrasikan dengan jaringan internet.

2.7.2 Jenis-Jenis UPS Berdasarkan Cara Kerjanya

1) Line-interactive UPS

Pada *UPS* jenis ini diberi tambahan alat AVR (*automatic voltage regulator*) yang berfungsi mengatur tegangan dari suplai daya keperalatan.

2) On-line UPS

Pada *UPS* jenis ini terdapat 1 *rectifier* dan 1 *inverter* yang terpisah. Hal ini lebih mahal apabila dibandingkan dengan dua jenis *UPS* lainnya. Dalam keadaan



gangguan, suplai daya ke *rectifier* akan diblok sehingga akan ada arus DC dari baterai ke *inverter* yang kemudian diubah menjadi AC.

3) Off-line UPS

UPS jenis ini merupakan *UPS* paling murah diantara jenis *UPS* yang lain. Karena *rectifier* dan *inverter* berada dalam satu unit. Dalam keadaan gangguan, *switch* akan berpindah sehingga suplai daya dari suplai utama terblok. Akibatnya akan mengalir arus DC dari baterai menuju *inverter*.

2.7.3 Pengertian Stabilizer dan Macam-Macamnya

Stabilizer adalah alat untuk menyetabilkan tegangan listrik, UPS (uninterruptible power supply) adalah perangkat yang biasanya menggunakan baterai backup sebagai cadangan daya alternatif, untuk Dapat memberikan suplai daya yang tidak

terganggu untuk perangkat elektronik yang terpasang.

Stabilizer ada beberapa macam antara lain sebagai berikut:

1) Menggunakan servo motor.

Jenis penstabilan yang memakai motor servo didalam stabilizer ini, dimana motor akan berputar untuk mendapatkan tegangan yg stabil. Akibatnya, diperlukan waktu 2 s/d 5 detik sehingga mencapai kestabilan, dan tidak ada penyaring (filter) terhadap gangguan listrik (spikes, surge, sag, petir).

2) Menggunakan Relay.

Penstabilan listrik yang menggunakan beberapa relay bekerja bila tegangan listrik naik atau turun. Akibatnya reaksinya amat cepat, tapi range kestabilan yang kurang baik (+/- 5%). Jenis ini umumnya tidak dilengkapi dengan filter.

3) Menggunakan sistim Digital control.

Sistim ini menggabungkan penggunaan relay dan triac (sejenis transistor) untuk menstabilkan listrik.

Sistim ini lebih canggih dibandingkan dengan sistem relay, dan juga dilengkapi dengan filter.



4) Sistem Ferro-Resonant/ line conditioner.

Sistem ferro resonant inilah yang paling handal. Untuk memberikan kestabilan pada beban, reaksi/responsenya sangat cepat, hanya perlu 0,04 detik saja. Lebih stabil dibanding jenis lainnya, menggunakan trafo isolasi, dan kapasitor (utk meredam spikes, surge, sag, noise, dan spike dari petir). Oleh karena itu sering disebut juga sebagai Line Conditioner atau Power Conditioner

2.7.4 Komponen-Komponen UPS

1) Baterai

Jenis baterai yang digunakan UPS umumnya berjenis *lead-acid* atau jenis *nikel-cadmium*. Baterai ini umumnya mampu menjadi sumber tegangan cadangan maksimal selama 30 menit.

2) Rectifier (penyearah)

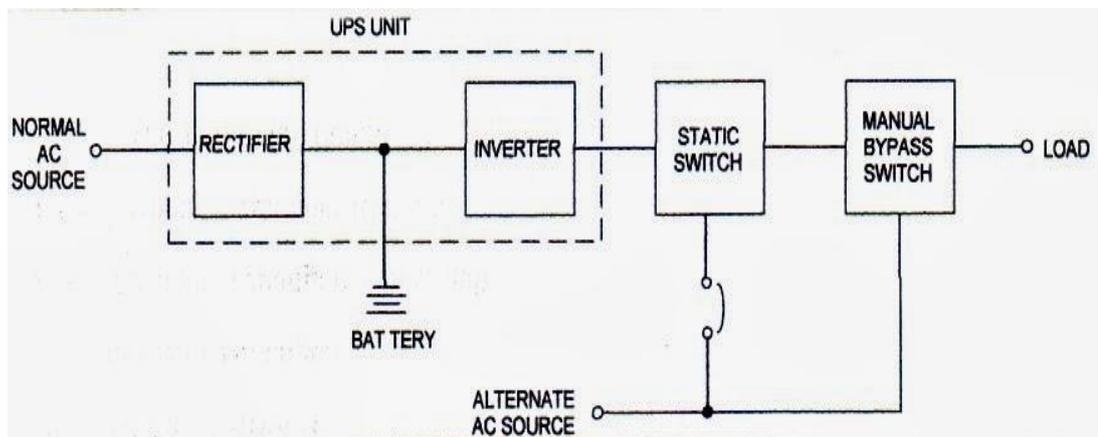
Penyearah berfungsi untuk mengubah arus AC menjadi arus DC dari suplai listrik utama. Hal ini bermanfaat pada saat pengisian baterai.

3) Inverter

Kebalikan dari penyearah, *inverter* berfungsi untuk mengubah arus DC dari baterai menjadi arus AC. Hal ini dilakukan pada saat baterai pada UPS digunakan untuk memberikan tegangan ke komputer.

UPS bekerja berdasar kepekaan tegangan. UPS akan menemukan penyimpangan jalur *voltage (line voltage)* misalnya, kenaikan tajam, kerendahan, gelombang dan juga penyimpangan yang disebabkan oleh pemakaian dengan alat pembangkit tenaga listrik yang murah. Karena gagal, UPS akan berpindah ke operasi *on-battery* atau baterai hidup sebagai reaksi kepada penyimpangan untuk melindungi bebannya (*load*). Jika kualitas listrik kurang, UPS mungkin akan sering berubah ke operasi *on-battery*. Kalau beban bisa berfungsi dengan baik dalam kondisi tersebut, kapasitas dan umur baterai dapat bertahan lama melalui penurunan kepekaan UPS.

Fungsi UPS bukanlah sebagai pengganti sumber listrik. Waktu maksimal yang diberikan tergantung dari jenis baterai yang dimilikinya. Umumnya UPS hanya bisa bertahan kisaran waktu 15 – 30 menit saja.



Gambar 2.25 Prinsip kerja ups

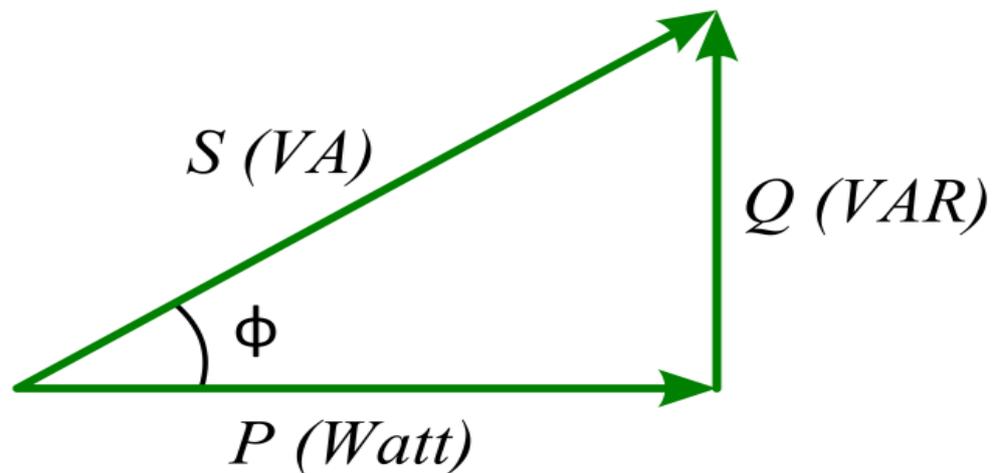
2.7.5 Prinsip Kerja UPS

1. Pada kondisi normal, rectifier mendapat supply AC untuk diubah menjadi DC. Arus DC ini diteruskan untuk menyuplai inverter dan sekaligus mengisi unit battery yang ada. Pada inverter, arus DC yang di supply rectifier atau battery akan diubah menjadi arus AC untuk menyupply beban dari UPS.
2. Bila supply utama terjadi gangguan pemadaman maka rectifier akan berhenti bekerja secara otomatis dan battery akan langsung menggantikan rectifier menyupply daya DC ke inverter. Dengan ini inveter akan tetap bekerja tanpa ada pemutusan daya ke beban.
3. Bila supply utama normal kembali, maka rectifier akan bekerja kembali secara otomatis untuk menyupply daya ke inverter sekaligus mengisi kembali battery.
4. Bila inverter terjadi beban lebih (over load) ataupun terjadi kerusakan pada inverter, maka static switch akan mendapat sinyal dari inverter untuk memindahkan beban dari inverter ke saluran by-pass. Dengan ini daya yang disupply ke beban tidak mengalami pemutusan.
5. UPS dilengkapi dengan saklar manual by-pass yang berfungsi untuk memindahkan beban ke saluran utama tanpa melalui unit UPS. Dengan ini UPS akan terpisah dari supply utama dan perawatan atau perbaikan UPS dapat dilakukan.



2.8 Segitiga Daya⁵

Daya listrik merupakan salah satu parameter penting dalam menentukan baik atau tidaknya kualitas dari suatu sistem kelistrikan dalam memenuhi kebutuhan konsumen. Dalam suatu sistem tenaga listrik, daya listrik dibedakan menjadi 3 jenis daya, seperti gambar 2.26



Gambar 2.26 Segitiga Daya

Keterangan :

- Daya semu (S), satuannya Volt Ampere (VA)
- Daya aktif (P), satuannya Watt (W)
- Daya reaktif (QL), satuannya Volt Amper Reaktif (VAR).

Dimana :

$$S^2 = P^2 + Q^2 \quad (\text{VA}) \dots\dots\dots (2.10)$$

$$P = S \times \text{Cos } \varphi \quad (\text{Watt}) \dots\dots\dots (2.11)$$

$$Q = S \times \text{Sin } \varphi \quad (\text{VAR}) \dots\dots\dots (2.12)$$

⁵ Cekmas Cekdin & Taufik Berlian, Rangkaian Listrik (Palembang: ANDI, 2013) hal.74



2.8.1 Daya Aktif

Daya aktif adalah daya listrik yang digunakan untuk keperluan menggerakkan mesin-mesin listrik atau peralatan lainnya, dimana dalam persamaannya dapat ditulis sebagai berikut :

$$P = \sqrt{3} \times V_L \times I \times \cos \varphi \quad \dots\dots\dots (2.13)$$

Dimana :

$\cos \varphi$ = Faktor kerja

V_L = Tegangan phasa

P = Daya Aktif

2.8.2 Daya Semu

Daya semu adalah daya listrik yang melalui suatu penghantar transmisi atau distribusi, dimana daya ini merupakan hasil perkalian antara tegangan dan arus yang melalui penghantar. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat dibawah ini :

$$S = \sqrt{3} \times V_L \times I \quad \dots\dots\dots (2.14)$$

Dimana :

V_L = Tegangan phasa

S = Daya semu

I = Arus yang mengalir pada penghantar

2.8.3 Daya Reaktif

Daya reaktif adalah selisih antara daya semu yang masuk pada penghantar dengan daya aktif pada penghantar itu sendiri, yang mana daya ini terpakai untuk daya mekanik dan panas.

Daya reaktif ini adalah hasil dari besarnya arus dikalikan tegangan yang dipengaruhi oleh faktor kerja $\sin (\sin \varphi)$.



Daya reaktif ini dapat dituliskan dalam bentuk persamaan sebagai berikut :

$$Q = \sqrt{3} \times V_L \times I \times \sin \varphi \quad \dots\dots\dots(2.15)$$

Dimana :

$\sin \varphi$ = Faktor kerja

V_L = Tegangan phasa

Q = Daya reaktif

I = Arus

2.8.4 Faktor Daya / Faktor Kerja

Faktor daya atau faktor kerja adalah perbandingan antara daya aktif (watt) dengan daya semu/daya total (VA), atau cosinus sudut antara daya aktif dan daya semu/daya total (lihat gambar 1). Daya reaktif yang tinggi akan meningkatkan sudut ini dan sebagai hasilnya faktor daya akan menjadi lebih rendah. Faktor daya selalu lebih kecil atau sama dengan satu. Secara teoritis, jika seluruh beban daya yang dipasok oleh perusahaan listrik memiliki faktor daya satu, maka daya maksimum yang ditransfer setara dengan kapasitas sistim pendistribusian. Sehingga, dengan beban yang terinduksi dan jika faktor daya berkisar dari 0,2 hingga 0,5, maka kapasitas jaringan distribusi listrik menjadi tertekan. Jadi, daya reaktif (VAR) harus serendah mungkin untuk keluaran kW yang sama dalam rangka meminimalkan kebutuhan daya total (VA).Faktor Daya / Faktor kerja menggambarkan sudut phasa antara daya aktif dan daya semu. Faktor daya yang rendah merugikan karena mengakibatkan arus beban tinggi.

2.9 Miniature Circuit Breaker (MCB)

Miniature Circuit Breaker (MCB) adalah suatu alat pengaman pemutus rangkaian kelistrikan yang dapat berkerja secara otomatis. MCB berfungsi sebagai pengaman arus beban labih atau arus hubung singkat atau sebagai saklar yang berkemampuan untuk mengatasi kenaikan beban saklar.



MCB juga salah satu macam CB yang dilengkapi pengaman thermis (bimetal) sebagai pengaman beban lebih dan juga dilengkapi pengaman magnetic untuk arus lebih atau arus hubung singkat yang pada saat itu juga bimetal yang ada akan bekerja dengan waktu tertentu. Sedangkan arus hubung singkat akan diamankan oleh pengaman elektromagnetik dimana pengaman ini bekerja bila ada arus dari hantaran melebihi arus yang telah ditentukan, sehingga akan menarik kontak dan rangkaian akan terputus. Terdapat bermacam-macam MCB yang satu sama lain mempunyai karakteristik yang berbeda-beda sesuai dengan pemakaiannya.

⁶Untuk menghitung besarnya pengaman dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$I = \frac{P}{V \cdot \cos \varphi} \dots \dots \dots (2.16)$$

Dimana :

P : Daya pada beban (Watt)

V : Tegangan (Volt)

Cos φ : Faktor Daya

I : Arus (Ampere)

⁶ P.Van., Instalasi Listrik Arus Kuat 3 (Bandung: Ir. Setiawan, 1995) hal. 144