



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Sistem tenaga listrik cadangan (*standby 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 dan UPS. Berapa persyaratan yang harus dipenuhi oleh suatu sistem listrik cadangan antara lain:

1. Sebagai sumber tenaga listrik pengganti yang dapat diandalkan yang terpisah dari sumber tenaga listrik normal.
2. Dalam memperhitungkan kapasitas sumber listrik harus diperhitungkan penambahan beban yang sewaktu-waktu diperlukan.
3. 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.
4. 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.

2.1.1 Klasifikasi Jenis Beban

Pada umumnya sesuai tingkat kebutuhan beban dapat kita bagi menjadi :

1. 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 tidak akan menciptakan suatu kondisi tidak aman atau menghasilkan kerusakan pada peralatan. Beban ini tidak mengalami perubahan pada kondisi operasi normal



2. 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 seperti *Generator Set* untuk mengamankan pasokan daya.

3. Beban Kritis

Beban kritis 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. maka harus tersedia dari sumber tenaga listrik cadangan seperti UPS

2.2 *Generator Set* (Genset)

Genset (generator set) adalah sebuah perangkat yang berfungsi menghasilkan daya listrik. Disebut sebagai generator set dengan pengertian adalah satu set peralatan gabungan dari dua perangkat berbeda yaitu engine dan generator atau alternator. Engine sebagai perangkat pemutar sedangkan generator atau alternator sebagai perangkat pembangkit. Pada sebuah sistem generator set, penggerak atau engine sangat berpengaruh terhadap sistem kerja generator tersebut. Karena pada perputaran generator yang stabil dapat menjadikan output generator tersebut menjadi maksimal

2.2.1 Prinsip Kerja Generator

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.

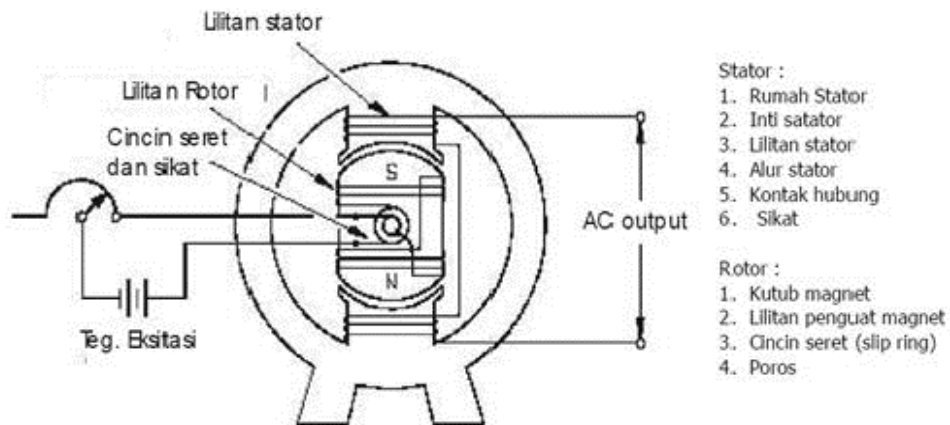
3. Kecepatan putar dari generator itu sendiri.

Prinsip dasar generator arus bolak balik menggunakan Hukum Fariday yang menyatakan jika sebatang penghantar berada pada medan magnet yang berubah-ubah, maka pada penghantar tersebut akan terbentuk gaya gerak listrik. Besar tegangan generator bergantung pada ;

1. Kecepatan putaran (N)
2. Jumlah kawat pada kumparan yang memotong fluk (Z)
3. Banyaknya fluk magnet yang dibangkitkan oleh medan magnet
4. Konstruksi Generator

2.2.2 Konstruksi Generator AC

Konstruksi generator AC dapat dilihat pada gambar 2.1 yang terdiri dari:



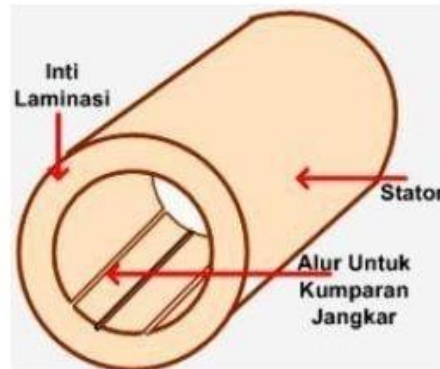
Gambar 2.1 Konstruksi Generator Arus Bolak Balik

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 2.2 Inti Stator dan Alur pada Stator

3. Rotor

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

4. Slip Ring atau Cincin Geser

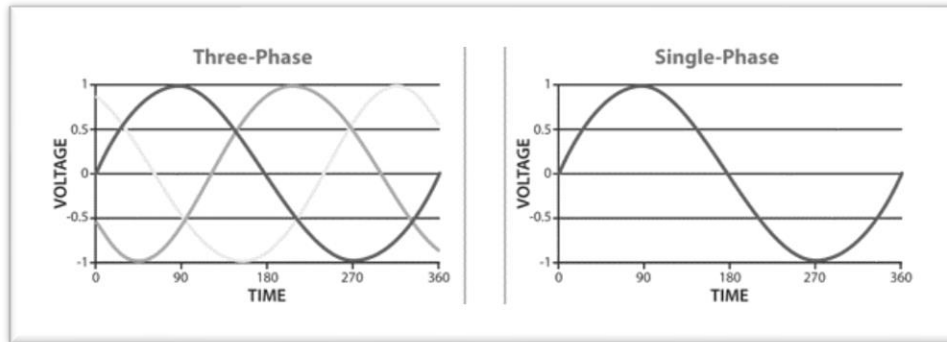
Slip Ring terbuat dari bahan kuningan atau tembaga yang dipasang pada poros dengan memakai bahan isolasi. Slip ring ini berputar bersama-sama dengan poros dan rotor. Slip ring berfungsi untuk mengalirkan arus penguat magnet ke lilitan magnet pada rotor.

5. Generator Penguat

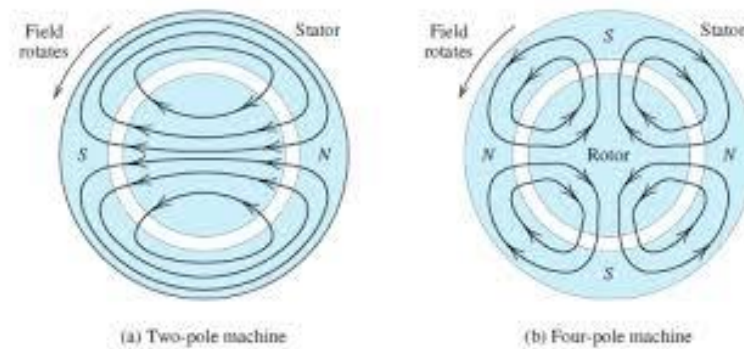
Generator penguat merupakan suatu generator arus searah yang dipakai sebagai sumber arus. Biasanya yang dipakai adalah dynamo shunt. Akan tetapi sekarang banyak generator yang tidak menggunakan generator arus searah sebagai sumber penguat, tetapi mengambil sebagai kecil dari belitan statornya yang di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

2.2.3 Lilitas 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 terbagi atas 2 macam, yaitu lilitan 1 fasa dan lilitan 3 fasa. Dapat dilihat pada gambar 2.4 dan 2.5



Gambar 2.3 Bentuk Gelombang GGL 1 & 3 Fasa



Gambar 2.4 Belitan 1 & 3 Fasa

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

2.2.4 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 Δ dan Y

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.

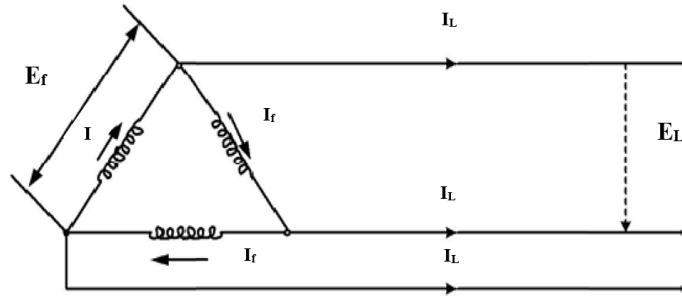
$$I_L = I_f \sqrt{3} \dots \dots \dots (2-1)$$

$$E_L = E_f \dots \dots \dots (2-2)$$

Dimana :

I_f = Arus Fasa

I_L = Arus Jaring-jaring



Gambar 2.5 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 satu generator mempunyai tujuan, yaitu untuk mendapatkan harga tegangan jaring-jaring yang besar.

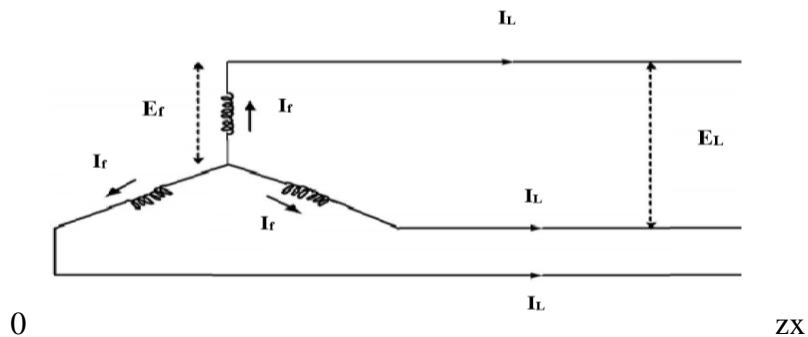
$$E_L = E_f \sqrt{3} \dots \dots \dots (2-3)$$

$$I_L = I_f \dots \dots \dots (2-4)$$

Dimana :

E_f = Tegangan Fasa

E_L = Tegangan Jaring-jaring



Gambar 2.6 Sambungan Bintang atau Star



2.3 Sistem Eksitasi pada Generator¹

Eksitasi atau penguatan medan merupakan bagian yang penting dari sebuah generator sinkron. Tidak hanya untuk menjaga tegangan terminal tetap konstan tetapi juga harus merespon terhadap perubahan beban yang tiba-tiba. Eksitasi pada generator sinkron adalah pemberian arus searah pada belitan medan yang terdapat pada rotor. Sesuai dengan prinsip elektromagnet, apabila suatu konduktor yang berupa kumparan yang dialiri listrik arus searah maka kumparan tersebut akan menjadi magnet sehingga akan menghasilkan fluks-fluks magnet.

Apabila kumparan medan yang telah diberi arus eksitasi diputar dengan kecepatan tertentu, maka kumparan jangkar yang terdapat pada stator akan terinduksi oleh fluks-fluks magnet yang dihasilkan oleh kumparan medan sehingga akan menghasilkan tegangan bolak-balik. Besarnya tegangan yang dihasilkan tergantung kepada besarnya arus eksitasi dan putaran yang diberikan pada rotor. Semakin besar arus eksitasi dan putaran, maka akan semakin besar tegangan yang dihasilkan oleh sebuah generator.

Sistem ini merupakan sistem yang vital pada proses pembangkitan listrik. Pada perkembangannya, sistem eksitasi pada generator listrik ini dapat dibedakan menjadi 2 macam, yaitu :

1. Sistem eksitasi dengan menggunakan sikat (brush excitation)
2. Sistem eksitasi tanpa sikat (brushless excitation).

Sistem eksitasi mempunyai berbagai fungsi. Fungsi tersebut antara lain :

- a. Mengatur tegangan keluaran generator agar tetap konstan (stabil).
- b. Mengatur besarnya daya reaktif.
- c. Menekan kenaikan tegangan pada pelepasan beban (load rejection).

Karena mempunyai fungsi seperti di atas maka sistem eksitasi harus mempunyai sifat antara lain :

- a. Mudah dikendalikan.
- b. Dapat mengendalikan dengan stabil/ sifat pengendalian stabil.
- c. Mempunyai respon/tanggapan yang cepat.

¹ Qolbi Salim, “Analisa Pengaruh Pembebanan Terhadap Efisiensi Generator Set 50kva Di Stasiun Cinde Lrt Sumatera Selatan” (Politeknik Negeri Sriwijaya, 2021).



d. Tegangan yang dikeluarkan harus sama dengan tegangan yang diinginkan.

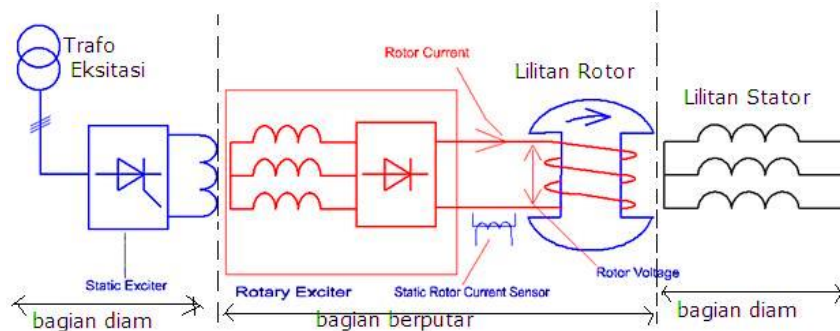
Sistem yang banyak digunakan saat ini baik dengan generator sinkron tipe kutub sepatu (salient pole) maupun tipe rotor silinder (non-salient pole) adalah sistem tanpa sikat. Pengeksitasi ac mempunyai jangkar yang berputar, keluarannya kemudian disearahkan oleh penyearah dioda silikon yang juga dipasang pada poros utama.

Keluaran yang telah disearahkan dari pengeksitasi ac, diberikan langsung dengan hubungan yang diisolasi sepanjang poros ke medan generator sinkron yang berputar. Keluaran dari pengeksitasi ac, dan berarti tegangan yang dibangkitkan oleh generator sinkron, dapat dikendalikan dengan mengubah kekuatan medan pengeksitasi ac. Jadi sistem eksitasi tanpa sikat tidak mempunyai komutator, cincin slip atau sikat-sikat yang sangat menyederhanakan pemeliharaan mesin. Setelah generator ac mencapai kecepatan yang sebenarnya oleh penggerak mulanya, medannya dieksitasi dari catu dc. Ketika kutub lewat di bawah konduktor jangkar yang berada pada stator, fluksi medan yang memotong konduktor menginduksikan ggl kepadanya. Ini adalah ggl bolak-balik, karena kutub dengan polaritas yang berubah-ubah terus-menerus melewati konduktor tersebut. Karena tidak menggunakan komutator, ggl bolak-balik yang dibangkitkan keluar pada terminal lilitan stator. Besarnya ggl yang dibangkitkan bergantung pada laju pemotongan garis gaya; atau dalam hal generator, besarnya ggl bergantung pada kuat medan dan kecepatan konstan, maka besarnya ggl yang dibangkitkan menjadi bergantung pada eksitasi medan. Ini berarti bahwa besarnya ggl yang dibangkitkan dapat dikendalikan dengan mengatur besarnya eksitasi medan yang dikenakan pada medan generator

2.3.1 Sistem eksitasi tanpa sikat (*brushless excitation*)

Penggunaan sikat atau slip ring untuk menyalurkan arus eksitasi ke rotor generator mempunyai kelemahan karena besarnya arus yang mampu dialirkan pada sikat arang relatif kecil. Untuk mengatasi keterbatasan sikat arang, digunakan sistem eksitasi tanpa menggunakan sikat (*brushless excitation*). Keuntungan sistem eksitasi tanpa menggunakan sikat (*brushless excitation*), antara lain adalah:

- a. Energi yang diperlukan untuk eksitasi diperoleh dari poros utama (main shaft), sehingga keandalannya tinggi.
- b. Biaya perawatan berkurang karena pada sistem eksitasi tanpa sikat tidak terdapat sikat, komutator dan slip ring.
- c. Pada sistem eksitasi tanpa sikat (brushless excitation) tidak terjadi kerusakan isolasi karena melekatnya debu karbon pada farnish akibat sikat arang.
- d. Mengurangi kerusakan akibat udara buruk sebab semua peralatan ditempatkan pada ruang tertutup.
- e. Selama operasi tidak diperlukan pengganti sikat, sehingga meningkatkan keandalan operasi dapat berlangsung terus pada waktu yang lama



Gambar 2.7 Sistem Eksitasi Tanpa Sikat (Brushless Excitation)

Generator penguat pertama disebut pilot exciter dan generator penguat kedua disebut main exciter (penguat utama). Main exciter adalah generator arus bolak-balik dengan kutub pada statornya. Rotor menghasilkan arus bolak-balik disalurkan dengan dioda yang berputar pada poros main exciter (satu poros dengan generator utama). Arus searah yang dihasilkan oleh dioda berputar menjadi arus penguat generator utama. Pilot exciter pada generator arus bolak-balik dengan rotor berupa kutub magnet permanen yang berputar menginduksi pada lilitan stator. Tegangan bolak-balik disalurkan oleh penyearah dioda dan menghasilkan arus searah yang dialirkan ke kutub-kutub magnet yang ada pada stator main exciter. Besar arus searah yang mengalir ke kutub main exciter diatur oleh pengatur tegangan otomatis (Automatic Voltage Regulator/AVR). Besarnya arus



berpengaruh pada besarnya arus yang dihasilkan oleh main exciter, maka besarnya arus main exciter juga mempengaruhi besarnya tegangan yang dihasilkan oleh generator utama. Pada sistem eksitasi tanpa sikat, permasalahan timbul jika terjadi hubung singkat atau gangguan hubung tanah di rotor dan jika ada sekering lebur daridioda berputar yang putus, hal ini harus dapat dideteksi. Gangguan pada rotor yang berputar dapat menimbulkan distorsi medan magnet pada generator utama dan dapat menimbulkan vibrasi (getaran) berlebihan pada unit pembangkit.

2.4 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 tentu sering sekali harus secara bergantian untuk menggunakannya, pada kebiasaannya 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, Automatic yang di singkat ATS (*Auto Transfer Swith*) yang di fungsikan secara Automatic untuk memindahkan daya sesuai dengan kebutuhan tanpa menggunakan tenaga manusia untuk mengoprasikannya, 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.

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, yaitu proses pemindahan sumber listrik yang satu ke sumber listrik yang lain secara bergantian sesuai perintah pemrograman.

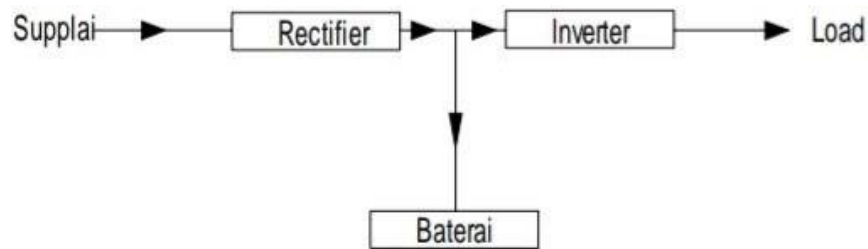


2.5 *Uninterruptible Power Supply (UPS)*²

Sistem catu daya tak terputus (UPS) menyediakan daya tanpa gangguan, andal, dan berkualitas tinggi untuk beban vital. Mereka, pada kenyataannya, melindungi beban sensitif terhadap pemadaman listrik serta kondisi tegangan lebih dan tegangan kurang. Sistem UPS juga menekan transien saluran dan gangguan harmonik. Aplikasi sistem UPS meliputi fasilitas medis, sistem pendukung kehidupan, penyimpanan data dan sistem komputer, peralatan darurat, telekomunikasi, pemrosesan industri, dan sistem manajemen on-line. Umumnya, UPS yang ideal harus mampu memberikan daya tanpa gangguan sekaligus menyediakan pengkondisian daya yang diperlukan untuk aplikasi daya tertentu. Oleh karena itu, UPS yang ideal harus memiliki fitur-fitur berikut:

- a. Tegangan keluaran sinusoidal yang diatur dengan distorsi harmonik total (THD) rendah, terlepas dari perubahan tegangan masukan atau beban, linier atau nonlinier, seimbang atau tidak seimbang.
- b. Operasi online, yang berarti nol waktu peralihan dari mode normal ke mode cadangan dan sebaliknya.
- c. Arus input sinusoidal THD rendah dan faktor daya kesatuan. Keandalan yang tinggi.
- d. Bypass sebagai sumber daya yang berlebihan jika terjadi kegagalan internal.
- e. Efisiensi tinggi.
- f. Interferensi elektromagnetik (EMI) rendah dan kebisingan akustik. Isolasi listrik baterai, keluaran, dan masukan.
- g. Perawatan rendah.
- h. Biaya rendah, berat, dan ukuran.

² Ali Emadi, Abdolhosein Nasiri, and Stoyan B Bekiarov, *Uninterruptible Power Supplies and Active Filters, Electromech Des*, 1st ed., vol. 15 (Chicago: CRC Press, 2004).



Gambar 2.8 Diagram Blok UPS

UPS merupakan suatu alat yang menjamin kesinambungan daya pada beban tanpa terputus. UPS dirancang khusus untuk mengurangi serta menghilangkan gangguan-gangguan yang timbul oleh sumber listrik. Sistem UPS bekerja secara terus menerus untuk memberikan sumber listrik yang bersih dan teratur pada beban. Pada saat tegangan bolak-balik (AC) yang masuk pada UPS dari sumber listrik maupun sumber listrik tersebut terputus, UPS tetap akan memberikan tegangan dan frekuensi yang sudah di stabilkan. Bila sumber listrik dari PLN, maka secara otomatis beban tetap disupply dengan sumber baterai melalui inverter (penyearah tegangan) tanpa terjadi pemutusan daya sedikitpun pada keluaran. Pada saat yang bersamaan, daya UPS memberikan tanda baik secara audio maupun visual kepada operator untuk memberitahukan bahwa sumber sekarang sedang dipakai dari baterai. System UPS terdiri dari beberapa sub system antara lain:

- a. Perangkat rectifier
- b. Perangkat inverter
- c. Perangkat static switch dan control logic
- d. Komponen baterai dan perlengkapan lainnya

Perangkat UPS juga dapat digunakan sebagai alat untuk mengatur arus listrik yang diterima oleh perangkat elektronik menjadi lebih stabil. Dengan adanya perangkat UPS, maka peralatan akan menjadi lebih aman dari kerusakan akibat dari arus listrik yang tidak stabil atau tiba-tiba terputus.



2.5.1 Fungsi UPS³

Fungsi utama dari UPS adalah:

1. Dapat memberikan energi listrik sementara ketika terjadi kegagalan daya pada listrik utama.
2. Memberikan kesempatan waktu yang cukup untuk segera menghidupkan genset sebagai pengganti listrik utama.
3. Mengamankan suatu sistem dari gangguan-gangguan listrik yang dapat mengganggu sistem tersebut baik berupa kerusakan software maupun kerusakan hardware.
4. Dapat melakukan stabilisasi tegangan ketika terjadi perubahan tegangan pada input sehingga tegangan output yang digunakan oleh suatu sistem berupa tegangan yang stabil.
5. Dapat melakukan diagnosa dan manajemen terhadap sistem itu sendiri sehingga memudahkan pengguna untuk mengantisipasi jika akan terjadi gangguan terhadap sistemnya
6. Dapat diintergrasi dengan jaringan internet

2.5.2 UPS Berdasarkan Prinsip Cara Kerjanya

UPS merupakan sistem yang mengubah tegangan dari AC menjadi DC dan dikembalikan lagi ke tegangan AC. Tahapan perubahan AC ke DC melewati tiga tahap langkah. Pada langkah pertama, input supply tegangan AC diubah menjadi DC oleh rectifier utama. Langkah berikutnya, pengubah resonansi mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC berfrekuensi tinggi. Pada langkah terakhir, rectifier mengubah tegangan AC berfrekuensi tinggi menjadi DC bertegangan tinggi. Baterai pada UPS digunakan sebagai input supply cadangan ketika input yang menuju rectifier mengalami gangguan, dimana proses pengisian baterai dilakukan oleh pengubah resonansi.

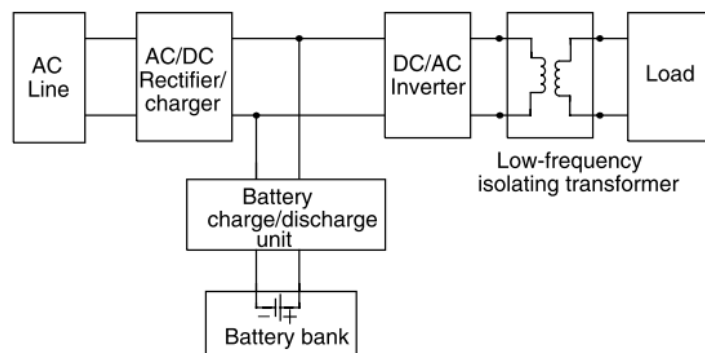
³ Aldo Lorenza dan Muhammad Anugrah Akbar Azharry, "Analysis Of The 200 Kva Power In UPS (Unintrruptible Power Supply) System at The Airport Terminal Of PT. Angkasa Pura II (Persero)," *IJEERE: Indonesian Journal of Electrical Engineering and Renewable Energy* 1, no. 01 Juni 2021 (2021): 13–20.

Berdasarkan standar IEC 62040-3 UPS diklasifikasikan menjadi tiga jenis, yaitu: Offline UPS, Line Interactive UPS, dan Online UPS

1. Offline UPS

Jenis UPS ini sistem kerjanya menggunakan switch antara listrik PLN dan baterai UPS, sehingga untuk pergantian daya listrik PLN ke baterai jika terjadi *blackout* UPS memiliki jeda peralihan ke sumber listrik baterai. Untuk mesin-mesin tertentu yang sangat sensitif, jeda waktu tersebut dapat mengganggu kinerja mesin dan kemungkinan terburuknya menyebabkan mesin terestart. Offline UPS memiliki rectifier dan inverter didalam satu unit UPS ini mensuplai listrik secara otomatis ketika sumber listrik tiba-tiba padam, mengatasi penurunan tegangan dan lonjakan listrik, namun UPS jenis ini tidak menangani naik turunnya frekuensi.

- Keuntungan dari UPS jenis ini antara lain: UPS paling murah diantara jenis UPS yang lain hal itu dikarenakan komponen rectifier dan inverter memiliki rangkaian tidak terlalu kompleks, memiliki efisiensi tinggi karena tak terdapat double conversion dan daya lang-sung terhubung beban.
- Kelemahan dari jenis ini adalah terdapat delay waktu pada saat perpindahan switch se-hingga dapat mempengaruhi tegangan yang ada pada beban, maka perlu adanya sinkronisasi antara tegangan.



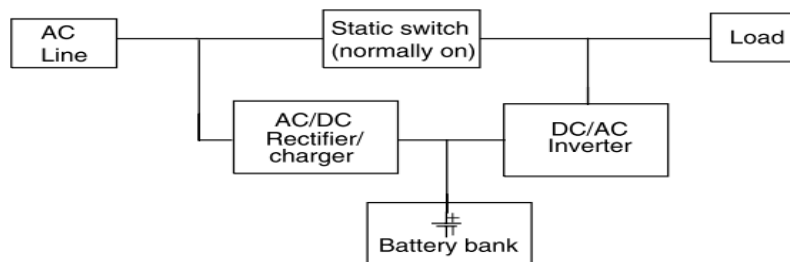
Gambar 2.9 Prinsip Pengoperasian Offline UPS⁴

⁴ Emadi, Nasiri, and Bekiarov, *Uninterruptible Power Supplies and Active Filters*.(2004)

2. Online UPS

Jenis UPS ini memiliki ciri dimana switch pada keadaan biasa menghubungkan supply tegangan utama dengan rectifier yang mengisi baterai dan menyuplai inverter dimana in-verter juga menyuplai beban secara kontinyu. Pada saat supply tegangan utama terganggu maka beban disupply oleh baterai melalui inverter sedangkan posisi switch tidak berubah, posisi switch berubah jika inverter mengalami kerusakan sehingga beban langsung di supply oleh supply tegangan utama. Jenis UPS ini memiliki 1 rectifier dan 1 inverter secara terpisah. Online UPS akan selalu bekerja melalui inverter. Kondisi tersebut tidak memandang UPS baik saat sumber listrik hidup atau mati tetap harus melalui inverter atau baterai. UPS jenis ini dapat mengatasi atau mentoleransi naik turunnya tegangan listrik, jaminan proteksi yang lebih kengkap serta kemampuan untuk melindungi dan mensuplai daya lebih terjamin dibandingkan jenis UPS sebelumnya

- Keuntungan UPS jenis ini antara inverternya harus baik, good power conditioning/sebagai proteksi setiap saat karena dua sumber yang terkonversi dan dibangkitkan dari inverter, serta tidak mungkin terjadi kehilangan sumber catu daya baik karena kehilangan atau kegagalan dan atau pada proses pemindahan sumber catu daya listrik.
- Kelemahannya adalah pada inverter jika inverter beroperasi secara terus menerus maka tidak menutup kemungkinan akan memperpendek umur dari inverter itu sendiri

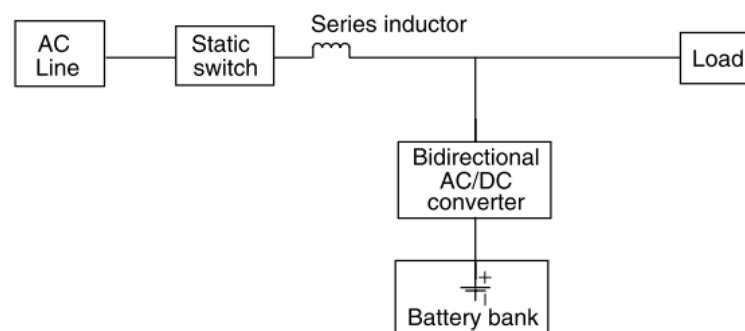


Gambar 2.10 Prinsip Pengoperasian Online UPS⁵

⁵ Emadi, Nasiri, and Bekiarov.(2004)

3. Line Interactive UPS

Pada jenis ini, UPS menggunakan sistem bidirectional inverter sehingga baterai di charge oleh inverter bidirectional, dimana inverter selalu terhubung dengan beban dan supply tegangan utama secara paralel, sedangkan switch terletak pada saluran utama terhubung langsung dengan beban. Pada saat supply tegangan utama terganggu maka switch dilepas dan inverter mencatu beban tanpa terputus. UPS jenis ini dapat mencegah pengaruh buruk akibat korsleting listrik dan dapat mengatasi atau mentoleransi naik turunnya tegangan listrik. Pada Line Interactive UPS terdapat monitor yang dapat memantau pasokan listrik yang masuk dan mendeteksi tegangan rendah atau tegangan tinggi. UPS ini dilengkapi alat AVR (Automatic Voltage Regulator) dimana fungsinya mengatur tegangan dari supply daya ke perangkat elektronik. Jenis ini juga memerlukan sistem kontrol yang kompleks, karena inverternya bekerja secara bidirectional.



Gambar 2.11 Prinsip Pengoperasian Line Interactive

2.5.3 Komponen- Komponen UPS⁶

Komponen UPS terdiri dari :

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

⁶ Muhammad Akmal Farhan, "Sistem Back Up Catu Daya Menggunakan UPS (Uninterruptible Power Supply) Pada Transmisi Pemancar TV" (Institut Teknologi PLN, 2020).



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.

4. Saklar Pemindah (Transfer Switch)

untuk memilih sumber daya listrik yang tersedia antara sistem bypass dengan sistem utama UPS. Sistem bypass bekerja disaat terjadi kondisi tidak normal pada komponen UPS. Dalam kondisi normal saklar pemindah ini terhubung dengan terminal sistem utama UPS, jika kondisi UPS tidak normal saklar pemisah akan otomatis berpindah keterminal bypass. Saklar pemindahan yang biasa digunakan yaitu saklar statis dan qsaklar elektromekanikal. Saklar statis terbuat dari bahan semi konduktor, waktu pemindahannya 3-4ms. Saklar elektromekanikal waktu perpindahannya 50- 100ms.

UPS bekerja berdasar kepekaan tegangan. UPS akan menemukan penyimpangan jalur voltase (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.

2.5.4 Pengaman UPS

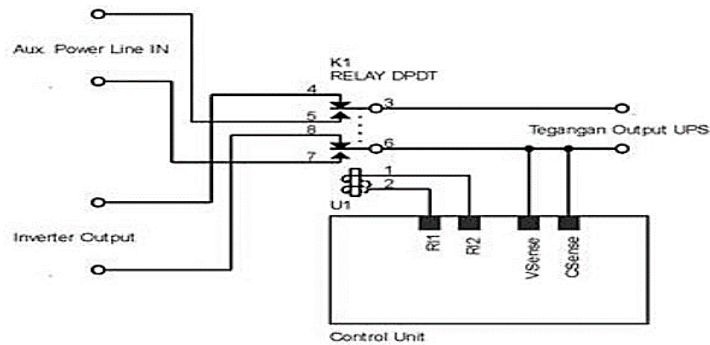
Pemasangan pengaman bertujuan untuk melindungi peralatan dan manusia dari bahaya arus gangguan arus lebih yang sewaktu-waktu mungkin akan terjadi. Pengaman yang digunakan untuk UPS yaitu pengaman arus lebih yang mempunyai fungsi untuk mengurangi arus yang mengalir melebihi kapasitas peralatan listrik dan pengaman yang terpasang. Gangguan ini terjadi karena arus yang mengalir



melebihi arus nominal yang seharusnya $I > I_{nom}$. Pada saat gangguan ini terjadi arus yang mengalir melebihi dari kapasitas peralatan elektronik listrik, apabila gangguan ini dibiarkan terus menerus, maka akan merusak peralatan elektronik listrik yang dialiri arus berlebih tersebut. Pengaman yang digunakan pada UPS yaitu, CB (circuit breaker) sebagai pemutus rangkaian yang berfungsi untuk memutuskan hubungan rangkaian listrik jika terdapat arus yang mengalir melebihi kapasitas. Terdapat juga pengaman lebur atau sekering yang terdiri dari kawat atau metal strap yang berfungsi memutuskan rangkaian jika dialiri arus berlebihan. Pemutusan rangkaian listrik dikarenakan oleh pembebanan yang berlebihan atau juga gangguan hubung singkat.

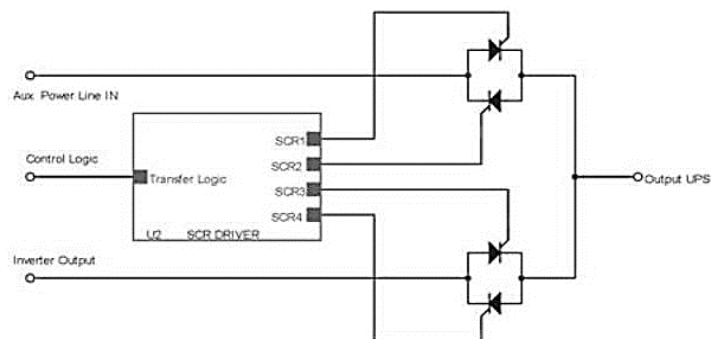
2.6 Static Swith dan Control Logic

Static switch adalah *switch* inverter yang dirancang untuk kecepatan tinggi agar tegangan inverter dapat segera dipakai untuk beban. Sedangkan Control Logic berfungsi untuk mengawasi operasi kerja dari komponen-komponen rectifier dan inverter, berupa display pada indikator atau remote alarm. Indikator tersebut terdapat pada panel depan dari perangkat UPS. Control logic mengkoordinasikan fungsi supervisi kerja dari komponen static switch. Control logic juga mengatur kesinambungan tegangan output dari inverter, sumber input reverse dan tegangan beban. Pada kondisi beban normal, static switch dicatu dari inverter sedangkan pada kondisi emergency atau darurat (output nihil) beban dicatu langsung dari sumber reverse. Pada umumnya, static switch dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu elektromekanikal dan statik. Saklar elektromekanikal menggunakan relay-relay yang salah satu terminal mendapatkan supply tegangan dan yang lain dari sistem UPS.



Gambar 2.12 Saklar Elektromekanikal

Sistem saklar statis menggunakan komponen semikonduktor, seperti SCR. Penggunaan SCR akan lebih baik karena operasi pemindahan yang dilakukan dengan SCR hanya membutuhkan waktu 3 sampai 4 ms, sedangkan pada saklar elektromekanikal sekitar 50 sampai 100 ms.



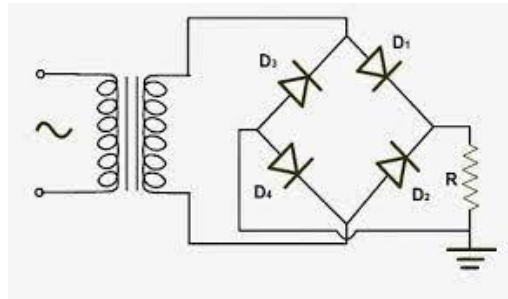
Gambar 2.13 Saklar Statis

Berikut adalah macam-macam transfer switch:

1. Static switch dengan SCR yang terdiri dari 2 buah static switch
2. Static switch dengan 1 buah static switch dan 1 buah contactor SPDT (Single Pole Double Throw)
3. Static switch dengan 1 buah static switch dan 2 buah contactor SPST (Single Pole Single Throw)

2.7 Rectifier⁷

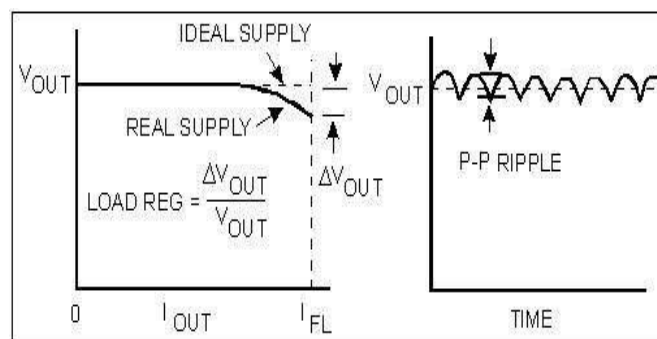
Rectifier adalah suatu rangkaian pengubah tegangan ac (bolak-balik) dirubah menjadi tegangan dc (searah) berfungsi sebagai mengisi baterai dan memberi arus DC ke inverter.



Gambar 2.14 Rangkaian Penyearah AC ke DC

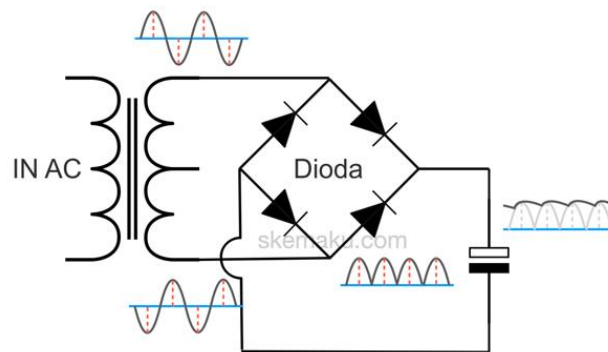
Dari input AC yang masuk kerangkaian tersebut, SR1, SR2, dan SR3, menghantarkan arus positif, sedangkan SR4, SR5 dan SR6 menghantarkan arus negative. Sehingga arus keluaran atau output nya menjadi arus searah (DC). Beberapa komponen yang ada dalam proses pengubahan daya AC ke DC terdiri dari:

- Penyearah, sebagai pengubah arah tegangan dari AC ke DC.
- Filter atau penyaring, bertugas sebagai pembersih gelombang keluaran dari riak (ripple) yang berasal dari proses penyearahan



Gambar 2.15 Prinsip Kerja Filter atau Penyaring

⁷ Dimas Raska Pradana, Fakultas Ketenagalistrikan, and D A N Energi, "Analisis Sistem Catu Daya Tak Putus (Uninterruptible Power Supply) Pada PItgu Blok 1 Muara Karang," 2021.



Gambar 2.16 Komponen Rectifier

Komponen *rectifier* terdiri dari:

- Q2: Sikring 3 fasa
 - T1: Transformator 3 fasa hubungan Y
 - F4: Sikring pengaman penyearah (*rectifier*)
 - L1: Belitan perata sebagai filter
 - C1: Jajar kapasitor dc dengan filter
 - A1: Dioda penyearah hubungan jembatan
- a. Q2, adalah sikring 3 fasa yang terpasang pada tegangan masuk di jala - jala yang berfungsi untuk mengamankan atau melindungi transformator T1 dari arus lebih. Jika terjadi arus lebih, maka sikring Q2 akan membuka sehingga transformator T1 akan terlindungi.
 - b. T1, adalah transformator 3 fasa dengan hubungan Y, yang berfungsi sebagai penurun tegangan (*step-down*) dari 380volt menjadi 241 volt, ini digunakan sebagai tegangan masukan ke rangkaian penyearah. Selain itu T1 juga sebagai sistem pengaman pada penyearah.
 - c. A1, adalah dioda penyearah hubung jembatan, yang berfungsi untuk menyearahkan tegangan yang berasal dari trafo T1 yang masuk ke rangkaian *rectifier*, sehingga arus yang keluar menjadi arus dc.
 - d. F4, adalah sebagai sikring pengaman yang dipasang pada keluaran tegangan dari sistem penyearah, F4 berfungsi untuk mengamankan adanya arus lebih yang di akibatkan oleh keluaran dari sistem penyearah sebagai tegangan masuk ke pembalik arah (*inverter*), sehingga bila terjadi arus lebih, F4 akan memutus dan *inverter* tetap aman.



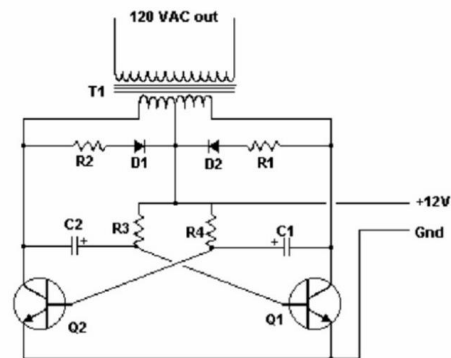
- e. L1, adalah belitan perata sebagai filter yang berfungsi untuk meratakan tegangan yang keluar dari penyearah (*rectifier*) dan juga sebagai penekan arus harmonisa. Akibat adanya arus harmonisa, akan merusak komponen elektronik yang ada.
- f. C1, jajar kapasitor dc sebagai filter, berfungsi untuk menekan tegangan *ripple* (riak) yang terjadi akibat pengisian dan pembuangan baterai dari kapasitor sehingga tegangan yang dihasilkan benar – benar arus searah.

2.8 Inverter⁸

Inverter adalah sistem untuk mengubah arus searah (DC) ke arus bolak – balik (AC), arus searah dari Accumulator selanjutnya masuk melalui modul inverter untuk diubah menjadi arus bolak-balik (Catra Indra Cahyadi et al., 2020).

Prinsip kerjanya merupakan kebalikan dari *rectifier*. Pada dasarnya terdapat dua rangkaian inverter, yaitu inverter 1 fasa dan inverter 3 fasa. Inverter 3 fasa tersusun dari 3 buah inverter 1 fasa setiap fasanya yaitu RST dan masing- masing inverter 1 fasa berupa jembatan thyristor yang disebut konfigurasi jembatan H. Keempat thyristor utama bekerja sebagai saklar daya di hubungkan dan di putus secara berurutan, contohnya: jika Th1 bekerja (ON) maka Th4 juga akan (ON), sehingga arus listrik mengalir dari polaritas (kutub) positif melalui filter kemudian menuju kutub negative dengan melalui Th4, sebaliknya jika Th3 ke arah Th2 melalui filter. Maka sebagai akibatnya pada filter yang terhubung dengan beban akan timbul arus bolak – balik (AC). Yang harus diperhatikan apabila 2 buah switch (Th1 dan Th4) bekerja (ON) maka switch yang lain (Th3 dan Th2) tidak boleh bekerja atau (OFF), hal ini untuk mencegah terjadinya short circuit atau hubung singkat. Dalam pemakaian inverter, tegangan keluaran suatu inverter biasanya tidak sinusoidal, sehingga mengandung harmonisa tinggi. Hal ini akan mempengaruhi kinerja sistem. Oleh sebab itu di pasang rangkaian filter sebelum sampai ke beban. Rangkaian filter berfungsi sebagai perata, supaya arus yang keluar dengan keadaan yang baik.

⁸ S. Waito, *Vademekum Elektronika (Edisi Kedua)* (PT Gramedia Pustaka Utama, 1995).



Gambar 2.17 Rangkaian Inverter Sederhana

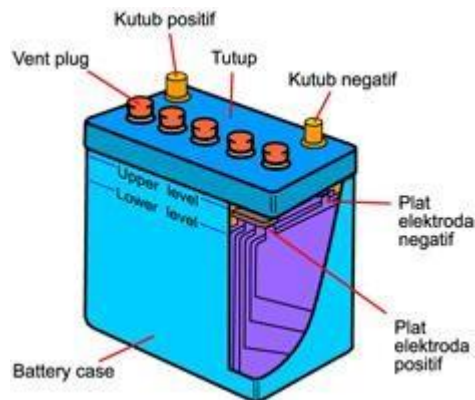
Kerja dari Rectifier maupun Inverter, keduanya bekerja sedemikian rupa agar mendapatkan tegangan keluaran yang tetap walaupun ada perubahan yang terjadi pada masukan UPS. Sumber tegangan inpu inverter dapat menggunakan battery, cell bahan bakar, tenaga surya atau sumber DC yang lain. Pada perangkat UPS, Bila input UPS mati maka perangkat inverter akan bekerja secara otomatis sehingga arus dan tegangan input yang hilang tadi tergantikan Power Battery yang sebelumnya dikonversi oleh Inverter, sehingga output dari UPS akan tetap selalu ada (Tidak Terputus). Inverter akan bekerja secara terus menerus baik dalam keadaan input UPS ada, atau tidak. Dengan itu kita dapat memastikan kerja UPS normal sesuai dengan fungsinya.

2.9 Baterai

Baterai adalah perangkat sumber energi yang dapat menghasilkan energi berdasarkan reaksi kimia. Susunan baterai terdiri dari plat positif (anoda), plat negatif (katoda), elektrolit, separator (pemisah), dan wadah. Baterai terdapat dua jenis, yaitu baterai primer dan baterai sekunder.

Baterai primer adalah perangkat sumber energi yang cara kerjanya mengubah energi kimia menjadi energi listrik yang hanya bisa digunakan sekali atau sampai kapasitas baterai habis yang berarti tidak bisa diisi ulang. Baterai sekunder adalah perangkat sumber energi yang cara kerjanya mengubah energi kimia menjadi energi listrik dan bisa mengubah energi listrik menjadi energi kimia, yang artinya dapat menyimpan energi listrik. Baterai sekunder sebelum mengeluarkan energi listrik

harus di charging terlebih dahulu, dengan cara menghubungkan catu daya searah. Proses discharge pada baterai, yaitu bila sel baterai dihubungkan dengan beban, maka elektron akan mengalir dari anoda melalui beban ke katoda, kemudian ion-ion negatif mengalir ke anoda dan ion positif mengalir ke katoda.



Gambar 2.18 Konstruksi Baterai

Discharge Proses charge atau pengisian baterai, bila sel dihubungkan dengan catu daya maka elektroda positif menjadi anoda dan elektroda negatif menjadi katoda dan proses kimia yang terjadi, aliran electron menjadi terbalik, mengalir dari anoda melalui power supply ke katoda. Ion-ion negatif mengalir dari katoda ke anoda. Ion-ion positif mengalir dari anoda ke katoda.

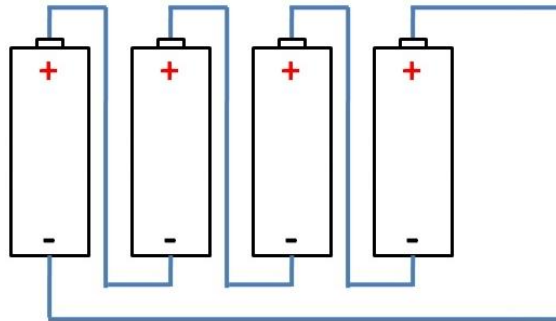
2.9.1 Rangkaian Baterai

Dikarenakan tegangan baterai per sel terbatas, maka perlu untuk mendapatkan solusi agar tegangan baterai dapat memenuhi atau sesuai dengan tegangan kerja peralatan maupun untuk menaikkan kapasitas dan juga keandalan dalam pemakaian dengan merangkai beberapa baterai dengan cara:

1. Hubungan Seri

Koneksi baterai dengan hubungan seri dimaksudkan agar dapat menaikkan tegangan baterai sesuai dengan tegangan kerja yang dibutuhkan atau sesuai dengan tegangan peralatan yang ada. Sebagai contoh jika dibutuhkan tegangan baterai pada suatu unit pembangkit adalah 22 Volt maka dibutuhkan baterai dengan kapasitas 2,2 Volt sebanyak 10 buah yang dihubungkan secara seri.

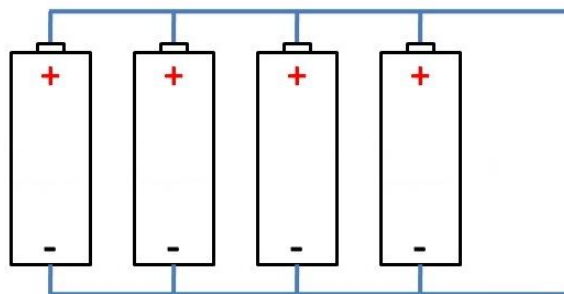
Kekurangan dari hubungan seri adalah jika terjadi gangguan atau kerusakan pada salah satu baterai maka supply sumber DC ke beban akan terputus.



Gambar 2.19 Baterai Hubungan Seri

2. Hubungan Paralel

Koneksi baterai dengan hubungan paralel dimaksudkan untuk dapat menaikkan kapasitas baterai atau Ampere hour (Ah) baterai, selain itu juga dapat memberikan keandalan beban DC pada system. Hal ini agar jika salah satu sel baterai yang dihubungkan paralel mengalami gangguan atau kerusakan maka sel baterai yang lain tetap dapat mensupply tegangan DC ke beban, jadi tidak mempengaruhi supply secara keseluruhan system, hanya saja kapasitas daya akan sedikit berkurang sedangkan untuk tegangan tidak terpengaruh.



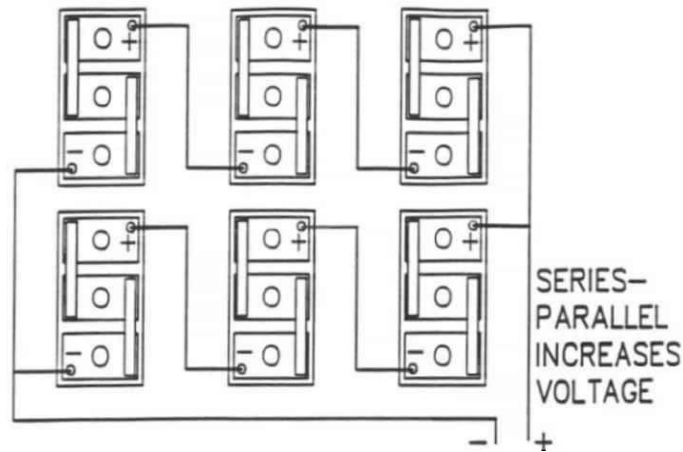
Gambar 2.20 Baterai Hubungan Paralel

3. Hubungan Kombinasi

Untuk hubungan kombinasi ini terbagi menjadi 2 macam yaitu seri paralel dan paralel seri. Hubungan ini digunakan untuk memenuhi kebutuhan ganda baik dari sisi kebutuhan tegangan dan arus yang sesuai maupun

keandalan system yang lebih baik. Rangkaian seri baterai akan meningkatkan tegangan output baterai tetapi arus listriknya akan tetap sama. Hal ini berbeda dengan rangkaian paralel baterai yang akan meningkatkan arus listrik tetapi tegangan outputnya akan tetap sama.

a. Hubungan kombinasi paralel



Gambar 2.21 Baterai Terhubung Seri di Paralel

Rumus perhitungan baterai jika di seri :

$$V_{total} = V1 = V2 = V3 \dots\dots\dots(2-5)$$

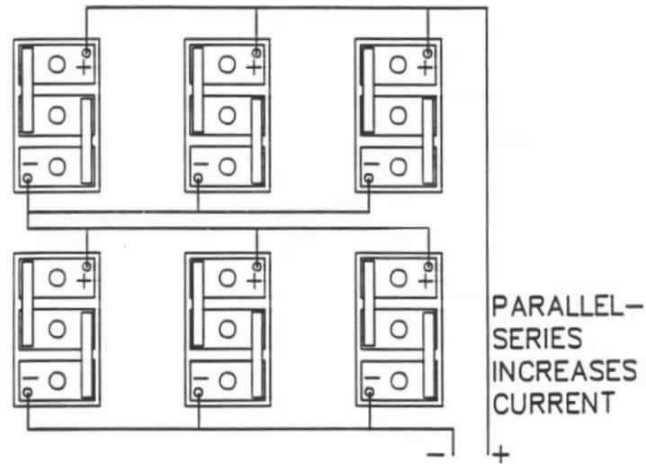
$$I_{total} = I1 + I2 + I3 \dots\dots\dots(2-6)$$

jika tiap baterai tegangannya 2,2 volt dan arusnya 20 ampere maka didapat:

- Tegangan baterai = 2,2 = 2,2 = 2,2 = 2,2 volt
- Arus baterai = 20 + 20 = 40 ampere

Sehingga kapasitas baterai secara keseluruhan adalah 2,2 volt dan 40 ampere. Dari perhitungan tersebut yang akan mengalami kenaikan adalah arusnya

b. Hubungan kombinasi seri



Gambar 2.22 Baterai Terhubung Paralel di Seri

Rumus perhitungan baterai jika diparalel :

$$V_{total} = V_1 + V_2 + V_3 \dots\dots\dots(2-7)$$

$$I_{total} = I_1 = I_2 = I_3 \dots\dots\dots(2-8)$$

jika tiap baterai tegangannya 2,2 volt dan arusnya 20 ampere maka didapat:

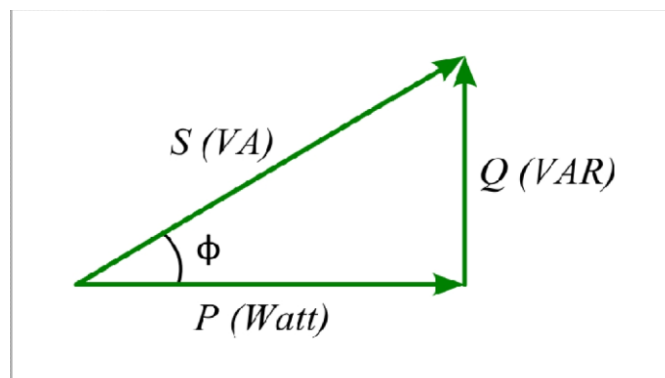
- Tegangan baterai = $2,2 + 2,2 + 2,2 = 6,6$ volt
- Arus baterai = $20 = 20 = 20$ ampere

Sehingga kapasitas baterai secara keseluruhan adalah 6,6 volt dan 20 ampere. Dari perhitungan tersebut yang akan mengalami kenaikan adalah tegangannya

2.10 Sistem Daya UPS⁹

Daya listrik didefinisikan sebagai kecepatan aliran energi listrik pada satu titik jaringan listrik tiap satu satuan waktu. Dengan satuan watt atau Joule per detik dalam SI, daya listrik menjadi besaran terukur adanya produksi energi listrik oleh pembangkit, maupun adanya penyerapan energi listrik oleh beban listrik.

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



Gambar 2.23 Segitiga Daya

Keterangan :

- Daya Semu (S), satuannya Volt Ampere (VA)
- Daya Aktif (P), satuannya Watt (W)
- Daya Reaktif (Q), satuannya Volt Ampere Reaktif (VAR)

Dimana :

$$S = V \times I \text{ (VA) } \dots\dots\dots(2-9)$$

$$P = S \times \cos \phi \text{ (Watt)} \dots\dots\dots(2-10)$$

$$Q = S \times \sin \phi \text{ (VAR) } \dots\dots\dots(2-11)$$

Pada sistem daya UPS perlu diketahui tegangan dan arus output ke beban, sehingga dapat dihitung total daya beban dalam VA (daya semu) dan Watt (daya aktif). Data tegangan dan arus diambil dengan cara menghitung beban yang terhubung ke UPS

⁹ Cekmas Taufik Barlian, Cekdin, *Rangkaian Listrik*, ed. ANDI (Yogyakarta, 2013).



a. Persentase Load Beban Pada UPS

Perhitungan Persentase Beban (Load) UPS digunakan untuk menghitung berapa % kapasitas UPS sudah dipakai, untuk mendapatkan % Load UPS sebagai berikut :

$$\% \text{Load UPS} = \frac{\text{Total Load (VA)}}{\text{Kapasitas UPS (VA)}} \times 100\% \dots\dots\dots(2-12)$$

Keterangan :

- Total Load : Konsumsi daya yang dipakai, beban.
- Kapasitas UPS : Kapasitas UPS pada spesifikasi.

b. UPS Rating

UPS Rating Ideal UPS rating harus lebih besar dari load VA, minimal 20-25% lebih besar dari load (VA). Sehingga untuk mendapatkan UPS dengan rating ideal, tambahkan 25% ke total load VA lalu gunakan UPS dengan rating yang sama atau lebih besar dari jumlah tersebut. Didapatkan dengan persamaan berikut :

$$\text{UPS rating ideal} = \text{UPS Rating} \times \frac{100}{100+25} \dots\dots\dots(2-13)$$

c. Waktu Back Up

Saat terjadi kegagalan listrik, perlu diketahui lama waktu UPS dapat bertahan dan tetap hidup agar sesuai dengan kebutuhan beban listrik selama peralihan listrik dari mulai mati listrik sampai listrik hidup kembali atau menggunakan generator set. Perhitungan waktu daya tahan UPS dengan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Waktu Back Up} = (\text{AH}) \times \left(\frac{\text{Voltage}}{\text{Load}} \right) \times \left(\frac{1}{\text{Power Factor UPS}} \right) \dots\dots\dots(2-14)$$

Keterangan :

- Load: Konsumsi daya yang dipakai, beban
- Power factor: nilai perbandingan antara daya aktif dan daya nyata
- Voltage : Tegangan listrik baterai pada UPS
- Baterai (AH): Arus yang digunakan untuk baterai



d. Energi

Energi listrik adalah energi yang dibutuhkan beban dengan satuan ampere (A), volt (V) dan watt (W) untuk mensupply beban dibutuhkan perhitungan energi yang dipakai oleh beban dalam satuan Watt Hour (WH) sebagai berikut :

$$\text{Energi} = \frac{1 \text{ Menit}}{60 \text{ Detik}} \cdot \text{Beban (watt)} \dots\dots\dots(2-15)$$



Politeknik Negeri Sriwijaya
