



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Listrik

Energi didefinisikan sebagai suatu kemampuan untuk melakukan kerja. Ada berbagai jenis energi, misal energi mekanis, energi kimia, energi listrik, juga energi panas maupun energi cahaya. Energi-energi tersebut tidak dapat diciptakan ataupun dimusnahkan, namun sangat mudah untuk berubah bentuk. Hal ini sesuai dengan hukum kekekalan energi. Satuan energi menurut Satuan Internasional adalah Joule, selain itu energi juga dinyatakan dalam kalori, BTU, atau Watt hour.

Energi listrik adalah energi utama yang dibutuhkan bagi peralatan listrik/energi yang tersimpan dalam arus listrik dengan satuan ampere (A) dan tegangan listrik dengan satuan Volt (V) dengan ketentuan kebutuhan konsumsi daya listrik dengan satuan Watt (W) untuk menggerakkan motor, lampu penerangan, memanaskan, mendinginkan ataupun untuk menggerakkan kembali suatu peralatan mekanik untuk menghasilkan bentuk energi yang lain. Energi yang dihasilkan ini dapat berasal dari berbagai sumber misalnya, air, minyak, batu bara, angin, panas bumi, nuklir, matahari dan lainnya.

Energi listrik merupakan suatu bentuk energi yang berasal dari sumber arus. Energi listrik dapat diubah menjadi bentuk lain, misalnya :

- Energi listrik menjadi energi kalor / panas, contoh: setrika, solder, dan kompor listrik.
- Energi listrik menjadi energi cahaya, contoh: lampu.
- Energi listrik menjadi energi mekanik, contoh: motor listrik. – Energi listrik menjadi energi kimia, contoh: peristiwa pengisian accu, peristiwa penyepuhan (peristiwa melapisi logam dengan logam lain).

Jika arus listrik mengalir pada suatu penghantar yang berhambatan R , maka sumber arus akan mengeluarkan energi pada penghantar yang bergantung pada:

- Beda potensial pada ujung-ujung penghantar (V).
- Kuat arus yang mengalir pada penghantar (i)



- Waktu atau lamanya arus mengalir (t).

Berdasarkan pernyataan di atas, dan karena harga $V = I.R$ maka persamaan energi listrik dapat dirumuskan dalam bentuk :

$$W = V.I.t \text{ (satuan Wh) } \dots\dots\dots (2.1)$$

$$W = (I.R).I.t \text{ (satuan Wh) } \dots\dots\dots (2.2)$$

$$W = I^2.R.t \text{ (satuan Wh) } \dots\dots\dots (2.3)$$

Keuntungan menggunakan energi listrik:

- Mudah diubah menjadi energi bentuk lain.
- Mudah ditransmisikan.
- Tidak banyak menimbulkan polusi/ pencemaran lingkungan.

Energi listrik yang dilepaskan itu tidak hilang begitu saja, melainkan berubah menjadi panas (kalor) pada penghantar. Besar energi listrik yang berubah menjadi panas (kalor) dapat dirumuskan :

$$Q = 0,24 V i t \dots\dots \text{kalori} \dots\dots\dots (2.4)$$

$$Q = 0,24 i^2 R t \dots\dots \text{kalori} \dots\dots\dots (2.5)$$

$$Q = 0,24 V^2.t/R \dots\dots \text{kalori} \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan :

Q = banyaknya energi / panas yang dibutuhkan atau diserap (Kalori)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus yang mengalir (Ampere)

t = waktu yang dibutuhkan dalam menyerap energi

Jika V, i, R, dan t masing-masing dalam volt, ampere, ohm, dan detik, maka panas (kalor) dinyatakan dalam kalori. Besarnya energi listrik sebanding dengan besarnya daya yang terpakai pada peralatan listrik terhadap waktu. Semakin lama daya yang terpakai maka semakin besar energy listrik yang digunakan. Energi listrik didefinisikan sebagai laju penggunaan daya listrik dikalikan dengan selama waktu tersebut.

Untuk mencari mencari energi listrik yang terpakai dapat digunakan rumus di bawah ini.³

$$W = P \times t \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana,



$$P = V \times I \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan :

W = Energi listrik yang terpakai (watt-jam)

P = Daya listrik yang terpakai (watt)

V = Tegangan pada peralatan listrik (Volt)

I = Arus listrik yang mengalir (Ampere)

t = Waktu pemakain listrik (sekon)

Dari keterangan di atas satuan energy listrik adalah watt – jam, jika dikonversikan ke dalam satuan energi yang sebenarnya maka :

$$1 \text{ watt} = 1 \text{ joule/second}$$

$$1 \text{ watt sekon} = 1 \text{ joule}$$

$$\begin{aligned} 1 \text{ kilowatt jam} &= 1000 \text{ watt} \times 3.600 \text{ sekon} \\ &= 3.600.000 \text{ joule} \end{aligned}$$

Namun perhitungan untuk energi listrik biasanya langsung dikalikan per jam. Jadi energi listrik yang terpakai dalam 1 kWh = 3.600.000 joule.

2.2 Daya Listrik

Daya listrik⁷ adalah banyaknya energi tiap satuan waktu dimana pekerjaan sedang berlangsung atau kerja yang dilakukam dalam persatuan waktu. Dari definisi ini, maka daya listrik (P) dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{Daya} = \text{Energi/waktu}$$

$$P = W/t$$

$$P = V.i.t/t = V.i$$

$$P = i^2 .R$$

$$P = V^2 .R \text{ (dalam satuan volt-ampere, VA) } \dots\dots\dots (2.9)$$

Satuan daya listrik :

a. watt (W) = joule/detik

b. kilowatt (kW): 1 kW = 1000 W.

Dari satuan daya maka muncul lah satuan energi lain yaitu jika daya dinyatakan dalam kilowatt (kW) dan waktu dalam jam, maka satuan energi adalah kilowatt jam atau kilowatt-hour (kWh).



$$1 \text{ kWh} = 36 \times 10^5 \text{ joule}$$

Dalam satuan Internasional (SI), satuan daya adalah watt (W) atau setara Joule per detik (J/sec). daya listrik juga diekspresikan dalam watt (W) atau kilowatt (kW). Konversi antara satuan HP dan watt, dinyatakan dengan formula sebagai berikut :

$$1 \text{ HP} = 746 \text{ W} = 0,746 \text{ kW}$$

$$1 \text{ kW} = 1,34 \text{ HP}$$

2.2.1 Daya Aktif

Merupakan daya listrik yang dibutuhkan oleh peralatan listrik untuk mengoperasikan peralatan tersebut. Atau dengan kata lain daya aktif adalah daya yang terpakai oleh peralatan listrik. Daya aktif mempunyai nilai besaran dan arah. Besarnya daya aktif dapat dicari dengan menggunakan rumus di bawah ini :

$$P = V \cdot I \cos \varphi \text{ (Untuk 1 Phasa) (2.10)}$$

$$P = \sqrt{3} V \cdot I \cos \varphi \text{ (Untuk 3 Phasa) (2.11)}$$

Dengan :

P = daya aktif yang diserap beban (watt)

V = tegangan yang mencatu beban (volt)

I = arus yang mengalir pada beban (A)

$\cos \varphi$ = faktor daya

2.2.2 Daya Reaktif

Daya reaktif merupakan daya yang tidak terpakai dalam suatu system tenaga listrik. Yang akan kembali lagi ke system distribusi tenaga listrik. Adanya daya reaktif juga sering dipengaruhi oleh beban induktif atau kapasitif suatu rangkaian listrik. Secara matematis daya reaktif dapat dicari dengan menggunakan rumus di bawah ini :

$$Q = V \cdot I \sin \varphi \text{ (Untuk 1 Phasa) (2.12)}$$

$$Q = \sqrt{3} V \cdot I \sin \varphi \text{ (Untuk 3 Phasa) (2.13)}$$

Dengan :

Q = daya reaktif (VAR)

V = tegangan yang mencatu beban (volt)

I = arus yang mengalir pada beban (A)

$\sin \varphi$ = faktor reaktif

2.2.3 Daya Semu

Daya semu adalah daya hasil resultan atau penjumlahan dari daya aktif dan daya reaktif. Umumnya daya semu ini adalah daya sambung yang tertera pada kWh meter atau dengan kata lain daya semu adalah daya yang diberikan oleh sumpai tenaga listrik. Dalam masyarakat umum daya inilah yang diberikan langsung oleh PLN dalam satuan VA (Volt Ampere). Secara matematis daya semu dapat dihitung dengan rumus di bawah ini :

$$S = V \times I \text{ (untuk 1 Phasa) } \dots\dots\dots (2.14)$$

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \text{ (untuk 3 Phasa) } \dots\dots\dots (2.15)$$

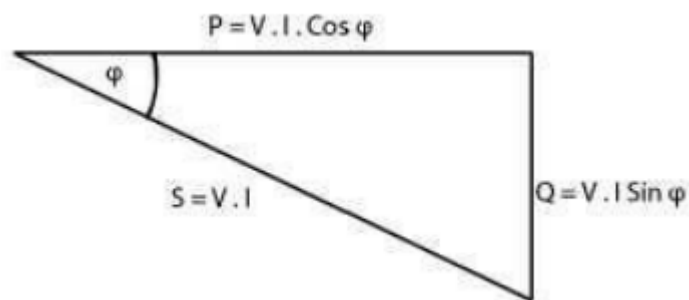
Keterangan :

S = Daya semu (VA)

I = Arus yang mengalir (Ampere)

V = Tegangan (Volt)

Adapun hubungan antara daya aktif, daya reaktif dan daya semu dapat digambarkan dalam sebuah diagram daya seperti di bawah ini :



Gambar 2.1 Segitiga Daya

2.3 Panel Listrik⁶

Panel listrik atau *Electrical switchboard* adalah sekelompok perangkat komponen electrical yang berfungsi sebagai penghubung , pengatur atau interface antara sumber yang mensuplai tenaga listrik kepada beban. Untuk jenis panel yang sifatnya adalah menyalurkan power listrik ke beban maka berdasarkan fungsinya, secara garis besar panel dapat diklasifikasikan kedalam 5 type/jenis panel yaitu :



1. Panel Distribusi / Sub distribusi yaitu jenis panel yang menghubungkan sumber power dari panel utama (LVMDP) untuk disalurkan ke pendistribusian beban.
2. Panel LVMDP (Low Voltage Main Distribution Panel) yaitu panel utama yang terhubung langsung ke sumber power baik itu PLN atau Genset untuk disalurkan ke beban melalui panel-panel distribusi.
3. Panel Kapasitor Bank yaitu panel yang berisikan rangkaian kapasitor bank dengan control tertentu yang siap untuk diparalel dengan main busbar pada panel utama yang bertujuan untuk memperbaiki dan menjaga nilai power factor pada nilai-nilai yang diinginkan.
4. Panel Starter Motor yaitu panel yang berfungsi untuk mengatur start-stop motor sekaligus memberikan proteksi overload pada saat motor beroperasi.
5. Panel Kontrol Genset yaitu panel yang berfungsi untuk mengatur kerja genset untuk mensuplai power ke beban.

2.4 Panel Distribusi

Untuk mengalirkan energi listrik dari pusat atau gardu induk tegangan rendah atau ke beban listrik harus melewati panel daya dan panel distribusi listrik. Panel distribusi adalah jenis panel yang menghubungkan sumber power dari panel utama (LVMDP) untuk disalurkan ke pendistribusian beban. Adapun ciri-ciri sebuah panel distribusi secara umum adalah sebagai berikut :

1. Incoming panel berasal dari panel utama yang powernya berasal dari PLN atau Genset.
2. Outgoing panel langsung terhubung ke beban, baik itu beban-beban lighting, outlet, heater, control device, computer dan lain-lain.
3. Metering pada panel umumnya terbatas hanya metering untuk RST indicator, tegangan dan arus.
4. Type pemasangan panel adalah pada umumnya type panel wall mounting.
5. Rating ampere incoming dan kapasitas breaking capacity (KA) relative kecil, kecuali panel distribusi untuk feeder motor



6. Proteksi-proteksi yang ada pada sebuah panel distribusi biasanya adalah hanya overload protection, short circuit protection dan earth leakage proteksion yang mana proteksiproteksi tersebut dimiliki langsung oleh circuit breaker yang ada pada panel baik itu MCB, MCCB atau ELCB.

Sebuah panel distribusi memiliki rangkaian control yang cukup sederhana yang tujuan dari rangkaian control tersebut adalah untuk mengatur ON dan OFF beban berdasarkan pewaktuan ataupun sensor-sensor tertentu.

Panel distribusi tegangan rendah merupakan peralatan listrik yang terbentuk dari seperangkat sistem penghubung energi listrik pada suatu jaringan listrik tegangan rendah. Panel distribusi memiliki beberapa fungsi sesuai dengan kebutuhannya, seperti : mengumpulkan dan menyalurkan energi listrik kesetiap beban pada masing-masing substationnya, memutus dan menghubungkan energi listrik pada suatu rangkaian atau sebagai kontrol dan pengaman pada suatu sistem pengendali beban.

Pengelompokan panel distribusi listrik tegangan rendah berdasarkan fungsinya, yaitu :

- a. Panel Pengatur Kendali Beban Listrik
- b. Panel Pengaman Beban Listrik
- c. Panel Penurun Tegangan dan Pembagi Daya Listrik
- d. Panel Monitoring

2.5 Panel LVMDP (Low Voltage Main Distribution Panel)

Panel LVMDP adalah panel utama yang terhubung langsung ke sumber power baik itu PLN atau Genset untuk disalurkan ke beban melalui panel-panel distribusi. Panel LVMDP biasa juga disebut dengan nama lain yang diantaranya adalah PUTR (Panel Utama Tegangan Rendah) atau MDP (Main Distribution panel.). Adapun ciri-ciri sebuah panel LVMDP secara umum adalah sebagai berikut:

1. Incoming panel langsung terhubung ke sumber power utama yang biasanya berasal dari PLN (trafo) atau Genset.



2. Outgoing panel terhubung kepanel-panel distribusi untuk pendistribusian power beban
3. Panel LVMDP memiliki komponen metering yang cukup lengkap yang diantaranya metering untuk arus, tegangan, frekuensi, power factor, KW dan KWH.
4. Type panel adalah type free standing yang terdiri dari beberapa cubicle / cell.
5. Lokasi penempatan panel adalah indoor.
6. Panel memiliki Rating ampere incoming dan kapasitas breaking capacity (KA) yang besar.
7. Selain proteksi yang dimiliki oleh circuit breaker, LVMDP umumnya juga dilengkapi dengan beberapa relay proteksi tambahan yang diantaranya adalah proteksi Under/Over Voltage relay, Overcurrent relay, Earth Fault relay dll yang memberikan fungsi proteksi yang lebih cepat dan akurat dalam merespon gangguan yang terjadi.
8. Untuk menstabilkan power factor pada nilai-nilai tertentu, LVMDP juga dilengkapi dengan panel kapasitor bank pada cubicle paling kiri atau paling kanan dari LVMDP.

Panel LVMDP adalah panel utama yang terhubung langsung kepower utama yang incomingnya bias lebih dari satu incoming yang diantaranya adalah incoming yang berasal dari PLN (trafo) dan incoming yang berasal dari genset. Sebagai power utamanya adalah berasal dari PLN, sedangkan genset dijadikan sebagai power standby atau back up untuk mengantisipasi apabila terjadi pemadaman dari sisi incoming PLN. Panel LVMDP atau panel MDP atau panel utama yang memiliki 2 atau 3 incoming dilengkapi dengan system Transfer Switch yaitu sebuah system yang memberikan pengaturan dari 2 incoming yang terhubung kepanel dimana hanya salah satu incoming yang akan mensuplai power beban.

Sistem transfer switch ini memiliki beberapa type yaitu :

1. *Manual transfer switch*, yaitu pemilihan incoming untuk mensuplai power beban dengan cara manual yang biasanya menggunakan komponen

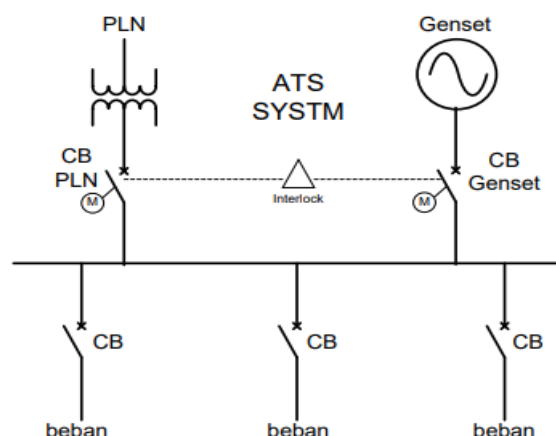
COS (Change Over Switch) atau menggunakan 2 buah circuit breaker yang diinterlock dan dioperasikan secara manual.

2. *Automatic transfer Switch*, yaitu pemilihan incoming untuk mensuplai power beban dengan cara otomatis. Sistem ini biasa juga disebut dengan ATS. Komponen yang digunakan adalah bisa berupa COS yang memiliki fasilitas motorized yang bisa digerakkan secara otomatis atau menggunakan 2 buah circuit breaker motorized yang diinterlock dan beroperasi secara otomatis.

2.6 Automatic Transfer Switch (ATS)

ATS merupakan singkatan dari kata *Automatic Transfer Switch*, jika dipahami berdasarkan arti kata tersebut maka ATS adalah sakelar yang bekerja secara otomatis, namun kerja otomatisnya berdasarkan kemungkinan jika sumber listrik dari PLN terputus atau mengalami pemadaman maka sakelar akan berpindah ke sumber listrik yang lainnya misalnya adalah *Generator Set*.

Automatic Transfer switch merupakan rangkaian kontrol sakelar power *Generator Set* dengan PLN yang sudah full automatic. Alat ini berguna untuk menghubungkan power Genset ke beban secara otomatis pada saat PLN padam. Pada saat PLN hidup kembali, alat ini akan memindahkan sumber daya ke beban dari power Genset ke PLN¹.



Gambar 2.2 Single Line Diagram panel dengan sistem ATS

Dalam perkembangan dunia elektrikal akhirnya merekayasa hal tersebut kemudian dijalankan secara Automatic yang di singkat ATS (*Automatic Transfer Swicth*) yang di fungsikan secara otomatis untuk memindahkan daya sesuai dengan kebutuhan tanpa menggunakan tenaga manusia untuk mengoperasikannya. Beberapa jenis ATS dibedakan menurut kapasitas daya yang dibutuhkan atau berdasarkan fasa dan ampere yang melalui panel tersebut, namun untuk prinsip kerjanya tetaplah sama⁴.

Panel ATS memiliki prinsip kerja yang sangat sederhana. Saat sumber utama mengalami gangguan atau pemadaman, maka sistem ATS akan memindahkan aliran energi listrik ke sumber alternatif. sehingga sumber alternatif akan langsung menggantikan sumber utama dalam menyuplai beban secara penuh. Dan sebaliknya saat sumber energi listrik utama sudah dapat bekerja lagi, sistem ATS akan memindahkan aliran energi listrik ke sumber utama, meskipun sumber alternatif masih dalam keadaan hidup.

Sistem ATS memiliki 2 type, yaitu Priority dan Non Priority. Sistem ATS priority adalah system pada ATS yang menjadikan salah satu incomingnya menjadi power prioritas untuk mensuplai arus beban.

Pada saat kondisi normal, incoming utama yang akan mensuplai power beban adalah berasal dari PLN. Apabila terjadi pemadaman pada sisi incoming PLN, maka CB incoming PLN akan open secara otomatis. Untuk mengganti power yang hilang maka genset dihidupkan untuk siap mensuplai arus beban. Setelah genset hidup dan siap beroperasi maka CB incoming genset akan close secara otomatis dan mulai menghubungkan power yang berasal dari genset untuk mensuplai beban.

Pada saat sumber PLN kembali normal, setelah beberapa delay waktu tertentu CB incoming genset secara otomatis akan open (OFF). Setelah CB incoming genset open (OFF) maka setelah beberapa delay waktu tertentu juga CB incoming PLN akan close (ON) secara otomatis dan beban kembali disuplai oleh power utama yang berasal dari PLN.

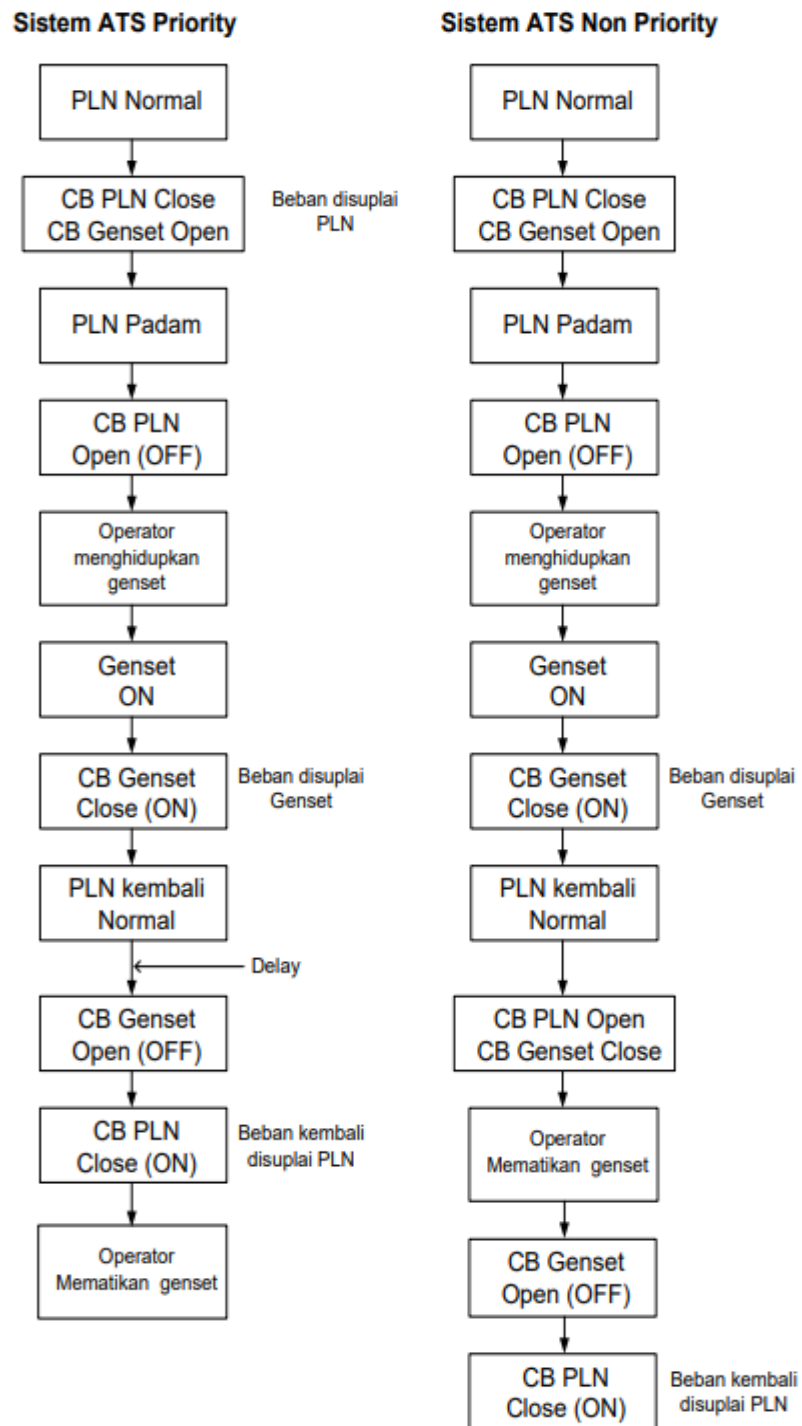
Sistem ATS non priority adalah sistem yang tidak memberikan prioritas terhadap salah satu incoming, sehingga pada sistem ini incoming mana yang lebih



dahulu memberikan sumber powernya, maka incoming tersebut yang akan mensuplai power beban. Untuk lebih jelasnya perhatikan proses berikut :

Pada saat kondisi normal, incoming utama yang akan mensuplai power beban adalah berasal dari PLN. Apabila terjadi pemadaman pada sisi incoming PLN, maka CB incoming PLN akan open secara otomatis. Untuk mengganti power yang hilang maka genset dihidupkan untuk siap mensuplai arus beban. Setelah genset hidup dan siap beroperasi maka CB incoming genset akan close secara otomatis dan mulai menghubungkan power yang berasal dari genset untuk mensuplai beban.

Pada saat sumber PLN kembali normal, CB incoming genset tidak akan open (OFF) dan CB incoming PLN tidak akan close (ON) sampai genset dimatikan dan power yang berasal dari CB incoming genset dihilangkan. Setelah Genset dimatikan maka CB incoming Genset akan open (OFF) yang kemudian setelah beberapa delay waktu tertentu baru CB incoming PLN akan close (ON) dan beban kembali disuplai oleh power yang berasal dari PLN. Untuk memudahkan kedua sistem diatas, perhatikan flowchart berikut :



Gambar 2.3 Flowchart sistem ATS priority dan non priority

Sistem Automatic Transfer Switch (ATS) sangat berguna pada suatu gedung atau bangunan yang mengharuskan supply energi listrik terus-menerus bekerja, khususnya dalam otomatisasi pergantian sumber energi listrik yang digunakan. Dibawah ini merupakan keuntungan pemanfaatan sistem ATS, antara lain :

1. Efisiensi dan Efektivitas Waktu

Cara kerja sistem dalam memindahkan sumber satu ke sumber energi listrik lainnya dan sebaliknya sangat singkat, sehingga supply energi listrik saat salah satu sumber energi listrik padam atau terjadi gangguan tidak akan terganggu dan proses kerja beban akan terus berjalan

2. Efisiensi dan Efektifitas Penggunaan, Pengontrolan dan Perawatan

Sistem ini bekerja secara otomatis, dimana saat salah satu sumber energi listrik utama padam atau terjadi gangguan, sistem ATS secara otomatis akan memindahkan ke sumber energi listrik alternatif dan sebaliknya jika sumber energi listrik utama kembali bekerja. Sehingga dalam pengoperasiannya tidak perlu kontrol manual, hal ini sangat mengurangi beban kerja fisik dan mempermudah pengguna

Sedangkan untuk perawatannya sistem ATS ini tergolong mudah dan praktis, yaitu operator hanya perlu memastikan kondisi genset agar tetap dapat bekerja dengan baik. Sistem ini dapat dipantau berdasarkan indikator arus, tegangan dan besaran lainnya pada bagian metering panel, dan terdapat sistem kontrol manual yang digunakan untuk menguji sistem maupun perawatan secara berkala

3. Melindungi Beban Listrik yang Terpasang

Sistem ini secara tidak langsung dapat melindungi beban listrik yang digunakan baik beban resistif, induktif maupun kapasitif. Dikarenakan pada kondisi tertentu tegangan listrik dari sumber energi yang digunakan akan turun atau naik sampai dengan batas toleransi keamanan beban-beban listrik tersebut.

Adapun kondisi lain yang mengganggu proses kerja beban seperti : hilangnya supply tegangan secara tiba-tiba yang berulang-ulang, adanya salah satu fasa yang hilang serta saat adanya hubung singkat dalam sistem . Beberapa kondisi tersebut dapat diminimalisir ataupun dicegah dengan adanya sistem ATS ini.

Pemakaian panel listrik dengan sistem ATS ini dibedakan pada besar kecilnya pemakaian listrik. Semakin tinggi pemakaian daya listrik, tentunya akan semakin besar pula spesifikasi komponen komponennya terutama Breaker dan kontaktornya dan juga ukuran kabelnya. Adapun bahan-bahan atau komponen yang digunakan dalam pembuatan panel listrik dengan sistem ATS akan dijelaskan sebagai berikut.

2.6.1 Komponen Gawai Kendali

1. Sakelar *Automatic Transfer Switch*



Gambar 2.4 Sakelar ATS

Sakelar Automatic Transfer Switch berfungsi untuk memindahkan sumber listrik secara otomatis atau manual dari PLN ke sumber listrik yang sumber listrik lain yaitu generator. Ada 2 mode sistem ini bekerja, yaitu :

- a. Mode Otomatis, pada saat saklar otomatis dipilih, maka ketika sumber power utama PLN OFF, secara otomatis ATS akan memindahkan sumber power ke sumber power cadangan (Genset/ Power Inverter) dengan catatan sumber power cadangan sudah posisi ON. ketika sumber power utama PLN ON kembali, ATS akan secara otomatis memindahkan sumber power kembali ke PLN.
- b. Mode Manual, cara ini dilakukan dengan mematikan saklar ke posisi OFF, pada saat PLN mati, maka proses pemindahan sumber listrik harus dilakukan secara manual dengan memutar switch pada ATS.

Catatan : sakelar ATS tidak menghidupkan atau mematikan generator/power inverter, maka dari itu pengoperasian pada generator set harus dilakukan oleh operator.

2.6.2 Komponen Pengaman

1. Miniature Circuit Breaker (MCB)



Gambar 2.5 MCB

MCB yaitu pengaman yang bekerja dengan cara pemutusan hubungan yang disebabkan oleh arus lebih atau hubung singkat dengan menggunakan electromagnet/bimetal. Cara kerja dari MCB ini adalah memanfaatkan pemuaian dari bimetal yang panas akibat arus yang mengalir untuk memutuskan arus listrik.

Beberapa kegunaan MCB yaitu:

- Membatasi Penggunaan daya listrik
- Mematikan listrik apabila terjadi hubungan singkat (*short circuit*)
- Mengamankan Instalasi Listrik
- Membagi pemakaian peralatan menjadi beberapa bagian listrik, sehingga lebih mudah untuk mendeteksi kerusakan instalasi listrik

Karakteristik/ tipe-tipe miniature circuit breaker (MCB) dapat digolongkan menjadi beberapa jenis yaitu²:

- MCB Tipe B, adalah tipe MCB yang akan trip ketika arus beban lebih besar 3 sampai 5 kali dari arus maksimum atau arus nominal MCB. MCB tipe B merupakan karakteristik trip tipe standar yang biasa digunakan pada bangunan domestik.
- MCB Tipe C, adalah tipe MCB yang akan trip ketika arus beban lebih besar 5 sampai 10 kali arus nominal MCB. Karakteristik trip MCB tipe ini akan bila digunakan pada peralatan listrik dengan arus yang lebih tinggi, seperti lampu, motor dan lain sebagainya.



- c. MCB tipe D, adalah tipe MCB yang akan trip ketika arus beban lebih besar 8 sampai 12 kali arus nominal MCB. Karakteristik trip MCB tipe D merupakan karakteristik trip yang biasa digunakan pada peralatan listrik yang dapat lonjakan arus kuat seperti, transformator, dan kapasitor.

Berdasarkan proses kerja dan penggunaannya, MCB dapat digolongkan menjadi beberapa jenis yaitu :

- a. Tipe G. Tipe ini merupakan jenis pengaman dengan rating yang besar, dimana jenis ini pada umumnya digunakan sebagai pengaman motor listrik.
- b. Tipe H. Tipe ini merupakan jenis pengaman yang pada umumnya digunakan sebagai pengaman instalasi penerangan suatu bangunan.
- c. Tipe K. Tipe ini merupakan jenis pengaman dengan rating dan breaking capacity yang kecil, dimana jenis ini pada umumnya digunakan sebagai pengaman alat-alat listrik rumah tangga.
- d. Tipe L. Tipe ini merupakan jenis pengaman dengan rating yang besar, dimana jenis ini pada umumnya digunakan sebagai pengaman jaringan dan penghantar atau kabel.
- e. Tipe Z. Tipe ini merupakan jenis pengaman dengan rating dan breaking capacity yang kecil, dimana jenis ini pada umumnya digunakan sebagai pengaman rangkaian semikonduktor dan trafo dengan sensitifitas terhadap tegangan yang tinggi.

2.6.3 Stop Kontak



Gambar 2.6 Stop Kontak

Stop kontak merupakan material instalasi listrik yang berfungsi sebagai muara penghubung antara arus listrik dengan peralatan listrik. Agar alat listrik terhubung dengan stop kontak, maka diperlukan kabel dan steker atau colokan yang nantinya akan ditancapkan pada stop kontak.

Berdasarkan bentuk serta fungsinya, stop kontak dibedakan menjadidua macam, yaitu :

- a. Stop kontak kecil, merupakan stop kontak dengan dua lubang (kanal) yang berfungsi untuk menyalurkan listrik pada daya rendah ke alatalat listrik melalui steker yang juga berjenis kecil.
- b. Stop kontak besar, juga merupakan stop kontak dengan dua kanal AC yang dilengkapi dengan lempeng logam pada sisi atas dan bawah kanal AC yang berfungsi sebagai ground. sakelar jenis ini biasanya digunakan untuk daya yang lebih besar.

Sedangkan berdasarkan tempat pemasangannya. Dikenal dua jenis stop kontak, yaitu:

- a. Stop kontak in bow, merupakan stop kontak yang dipasang didalam tembok.
- b. Stop kontak out bow, yang dipasang diluar tembok atau hanya diletakkan dipermukaan tembok pada saat berfungsi sebagai stop kontak portable.

Pada Panel listrik dengan sistem ATS, Stop kontak dipasang pada 2 sisi, yaitu pada sisi incoming sebagai sumber untuk menghidupkan genset dan pada sisi outgoing sebagai sumber untuk pemasangan beban

2.6.4 Box Panel



Gambar 2.7 Box Panel

Box panel digunakan untuk penempatan bahan – bahan yang akan digunakan untuk pembuatan suatu rangkaian ATS (*automatic transfer switch*). . Box panel juga berfungsi sebagai pelindung komponen dari bahaya luar seperti : serangga, debu dan air. Box panel yang digunakan berukuran panjang 18 cm, lebar 40 cm dan tinggi 60 cm dan ketebalan plat sebesar 1 mm. Box panel ini terdiri dari box utama untuk komponen–komponen yang dipasang di dalam dan pintu sebagai cover serta tempat interaksi dan pemantauan indikator yang terpasang.

2.6.5 Komponen Alat Ukur

1. Modul PZEM-004T



Gambar 2.8 Modul PZEM-004T

Pada suatu panel distribusi diperlukan suatu instrumen listrik yang berfungsi untuk mengukur beberapa besaran listrik yang ada, hal ini dapat dilakukan dengan memanfaatkan alat ukur sebagai media monitoring besaran-besaran listrik pada suatu panel distribusi. PZEM-004T adalah sebuah modul elektronik yang berfungsi untuk mengukur : Tegangan, Arus, Daya, Frekuensi, dan Power Faktor. Dengan kelengkapan fungsi ini, maka modul PZEM-004T sangat ideal untuk digunakan sebagai project maupun eksperimen alat pengukur daya pada sebuah panel listrik.

Modul PZEM-004T diproduksi oleh sebuah perusahaan bernama Peacefair, modul sensor ini memiliki 2 tipe, yaitu tipe 10 Ampere dan 100 Ampere. Karena perbedaan arus inilah yang menyebabkan *wiring* antara yang modul sensor tipe 10 Ampere dengan 100 Ampere berbeda, apabila terjadi kesalahan saat *wiring* maka akan terjadi hubungan arus pendek pada jaringan listrik.

2.6.6 Penghantar

1. Kabel



Gambar 2.9 Kabel Listrik

Kabel adalah media untuk menyalurkan energi listrik. Sebuah kabel listrik terdiri dari isolator dan konduktor. Isolator merupakan bahan pembungkus kabel yang biasanya terbuat dari bahan thermosetting atau thermoplastik, sedangkan konduktornya terbuat dari bahan tembaga ataupun aluminium.

2. Sepatu Kabel



Gambar 2.10 Sepatu Kabel

Sepatu kabel berfungsi untuk membuat sambungan penghantar dengan terminal peralatan, pengaman dan terminal sambungan pada panel agar dapat terselubung dengan baik. Ukuran serta jenis sepatu kabel bermacam-macam disesuaikan dengan penampang penghantar serta terminal yang digunakan.

2.7 Generator

Generator adalah mesin yang mengelola energi mekanik menjadi energi listrik. Prinsip kerja generator adalah rotor generator yang digerakan oleh turbin sehingga menimbulkan tenaga listrik. Sumber energi untuk penggerak turbin terdiri dari berbagai macam sumber, antara lain adalah uap, air, gas, mesin diesel dan lain-lain. Kegunaan dari generator adalah sebagai sumber tenaga listrik untuk keperluan alat pemakaian atau beban seperti pompa air, pompa minyak, penerangan dan lain-lain.

2.7.1 Klasifikasi Generator

Berikut adalah beberapa jenis klasifikasi dari generator⁹:

Generator berdasarkan letak kutubnya terbagi menjadi 2, yaitu:

- generator kutub dalam : generator kutub dalam mempunyai medan magnet yang terletak pada bagian yang berputar (rotor).
- generator kutub luar : generator kutub luar mempunyai medan magnet yang terletak pada bagian yang diam (stator)

Generator berdasarkan putaran medan terbagi menjadi 2, yaitu :

- generator sinkron
- generator asinkron

Generator berdasarkan jenis arus yang dibangkitkan terbagi menjadi 2, yaitu :

- generator listrik arus searah atau DC
- generator listrik arus bolak-balik atau AC

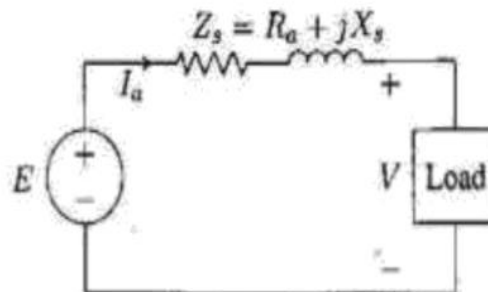
Generator berdasarkan fasanya terbagi menjadi 2, yaitu :

- generator satu fasa
- generator tiga fasa

2.7.2 Generator Sinkron

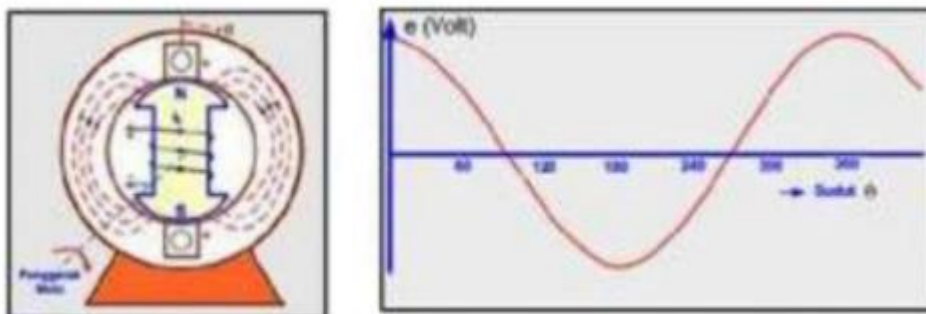
Generator sinkron (alternator) merupakan jenis mesin listrik yang berfungsi untuk menghasilkan tegangan bolak-balik dengan cara mengubah energi mekanis menjadi energi listrik . Energi mekanis diperoleh dari putaran rotor yang digerakkan oleh penggerak mula (*prime mover*) yang pada umumnya adalah dari turbin uap, turbin air, turbin gas, sedangkan energi listrik diperoleh dari proses induksi elektromagnetik yang terjadi pada kumparan stator dan rotornya. Pada stator terdapat kumparan armatur yang didesain untuk membangkitkan tegangan yang

seimbang dan disusun untuk mengembangkan angka yang sama dari kutub magnet sebagai kumparan medan yang berada pada rotor.



Gambar 2.11 Rangkaian Ekuivalen pada Generator Sinkron

Kecepatan rotor dan frekuensi dari tegangan yang dibangkitkan oleh suatu generator sinkron berbanding lurus. Gambar 1 akan memperlihatkan prinsip kerja dari sebuah generator AC dengan dua kutub, dan dimisalkan hanya memiliki satu lilitan yang terbuat dari dua penghantar secara seri, yaitu penghantar a dan a'.



Gambar 2.12 Diagram Generator AC Satu Fasa Dua Kutub

Lilitan seperti disebutkan diatas disebut "Lilitan terpusat". Dalam generator sebenarnya terdiri dari banyak lilitan dalam masing-masing fasa yang terdistribusi pada masing-masing alur stator dan disebut "Lilitan terdistribusi". Diasumsikan rotor berputar searah jarum jam, maka fluksi medan rotor bergerak sesuai lilitan jangkar. Satu putaran rotor dalam satu detik menghasilkan satu siklus per detik atau 1 Hertz (Hz)⁸.

Kecepatan perputaran generator sinkron akan mempengaruhi frekuensi listrik yang dihasilkan generator rotor generator. Rotor generator sinkron terdiri atas rangkaian elektromagnet dengan suplai arus DC untuk membentuk medan magnet pada rotor. Medan magnet rotor ini bergerak searah putaran motor^[8]. Bila

kecepatannya 60 Revolution per menit (Rpm), frekuensi 1 Hz. Maka untuk frekuensi $f = 60$ Hz, rotor harus berputar 3600 Rpm. Untuk kecepatan rotor n rpm, rotor harus berputar pada kecepatan $n/60$ revolution per detik (rps). Bila rotor mempunyai lebih dari 1 pasang kutub, misalnya P kutub maka masing-masing Frekuensi dari tegangan induksi sebagai sebuah fungsi dari kecepatan rotor, dan diformulasikan dengan:

$$f = \frac{P}{2} \times \frac{n}{60} \text{ (Hz)}$$

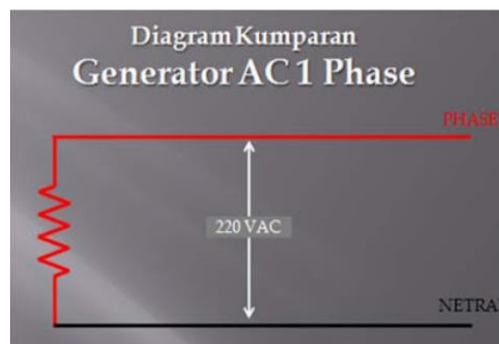
$$f = \frac{Nr. p}{120} \dots\dots\dots(2.16)$$

2.7.3 Generator AC

Generator arus bolak-balik (AC) dikenal dengan sebutan alternator. Generator sering dimanfaatkan baik di perumahan, perkantoran maupun di industri untuk menggerakkan beberapa mesin yang menggunakan arus listrik bolak-balik sebagai sumber penggerak. Generator diharapkan dapat mensuplai tenaga listrik pada saat terjadi gangguan, dimana suplai tersebut digunakan untuk beban prioritas.

Generator AC terbagi menjadi 2 (dua) menurut tegangan keluaran outputnya, yaitu :

- Generator 1 fasa (220 V). Untuk generator AC 1 fasa memiliki 2 kabel keluaran, yaitu kabel Fasa dan kabel Netral. Generator 1 fasa hanya memiliki 1 kumparan fasa atau beberapa kumparan yang terhubung secara seri. Tegangan keluaran yang dihasilkan generator AC 1 fasa biasanya 220 Volt yang diukur antara titik keluaran fasa dan netral.



Gambar 2.13 Rangkaian Ekuivalen Generator 1 Fasa

- Generator 3 fasa (380 V). Untuk generator AC 3 fasa memiliki 4 kabel keluaran, yaitu kabel R, kabel S, kabel T, dan kabel Netral. Generator 3



phasa memiliki 3 kumparan phasa yang menghasilkan tegangan keluaran 380 Volt, yang diukur antara phasa dengan phasa yang berbeda, dan tegangan keluaran 220 Volt diukur antara salah satu phasa dengan Netral.



Gambar 2.14 Rangkaian Ekuivalen Generator 3 Fasa

Prinsip dasar generator AC yaitu menggunakan hukum Faraday yang menyatakan jika sebatang penghantar berada pada medan magnet yang berubah-ubah, maka pada penghantar tersebut akan terbentuk gaya gerak listrik, atau secara singkat dapat dijabarkan sebagai berikut : Bilamana rotor diputar maka belitan kawatnya akan memotong gaya-gaya magnet pada kutubmagnet, sehingga terjadi perbedaan tegangan, dengan dasar inilah timbul aruslistrik, arus melalui kabel/kawat yang kedua ujungnya dihubungkan dengancincin geser. Pada cincin-cincin tersebut menggeser sikat-sikat, sebagai terminal penghubung keluar.

2.8 Generator Set



Gambar 2.15 Generator Set

Genset (Generator set) adalah perangkat kombinasi antara pembangkit listrik (generator) dan mesin penggerak yang digabung dalam satu set unit untuk

menghasilkan tenaga listrik. Mesin penggerak pada genset umumnya merupakan mesin pembakaran internal berupa motor atau mesin diesel dengan bahan bakar solar dan mesin dengan bahan bakar bensin.

Prinsip kerja genset adalah sebuah mesin pembakaran (mesin diesel atau mesin bensin) akan mengubah energi bahan bakar menjadi energi mekanik, kemudian energi mekanik tersebut diubah atau dikonversi oleh generator sehingga menghasilkan daya listrik.

Fungsi Genset (generator set) biasa digunakan untuk menghasilkan daya listrik alternatif, seperti ketika suplai pasokan daya listrik dari industri pembangkit listrik padam/off, atau keadaan dimana tidak ada pasokan jaringan listrik di daerah tersebut, atau juga biasa digunakan ketika diperlukan daya listrik tambahan.

Penggunaan genset biasanya berada di rumah-rumah atau perkantoran sebagai *back up* apabila suplai dari PLN mengalami gangguan atau padam. Energi mekanik berupa putaran rotor yang digerakan oleh penggerak mulai (prime mover) yang akan menghasilkan medan magnet putar dengan kecepatan dan arah putar yang sama dengan putaran rotor, hubungan antara kecepatan putar dengan putaran rotor disebut dengan frekuensi. Persamaan antara kecepatan putar medan magnet dengan frekuensi listrik pada stator adalah :

$$n = \frac{120 \times f}{P} \dots\dots\dots (2.17)$$

Dimana :

f = frekuensi listrik (Hz)

P = jumlah kutub

η = kecepatan putar rotor (rpm)

Dan untuk menentukan arus genset menggunakan persamaan :

$$I = \frac{P}{V} \text{ (Ampere) } \dots\dots\dots (2.18)$$

Dimana :

I = Arus listrik (Ampere)

P = Daya listrik (VA)

V = Tegangan (Volt)



2.9 Beban Listrik

Beban listrik adalah setiap alat yang membutuhkan energi atau daya listrik agar dapat dioperasikan atau digunakan. Untuk komponen peralatan listrik tidak lepas dari ketiga beban listrik. Dalam sistem listrik arus bolak-balik, jenis beban dapat diklasifikasikan menjadi 3 macam, yaitu beban resistif (R), beban induktif (I), dan beban kapasitor (C)⁵.

2.9.1 Beban Resistif (R)

Beban resistif (R) yaitu beban yang terdiri dari komponen tahanan ohm saja (resistance), seperti elemen pemanas (heating element) dan lampu pijar. Beban jenis ini hanya mengkonsumsi daya aktif saja dan tidak menyebabkan perubahan nilai faktor daya, sehingga nilai faktor daya tetap, yaitu bernilai 1 (satu). Beban resistif tidak mempengaruhi gelombang tegangan dan arus, sehingga posisi gelombang tegangan dan arus tetap sefasa. Persamaan daya aktif pada beban resistif adalah sebagai berikut :

$$P = V \cdot I \dots\dots\dots (2.19)$$

Dengan :

P = daya aktif yang diserap beban (watt)

V = tegangan yang mencatu beban (volt)

I = arus yang mengalir pada beban (A)

Untuk mencari besarnya beban resistif suatu benda dapat dicari dari rumus dibawah ini :

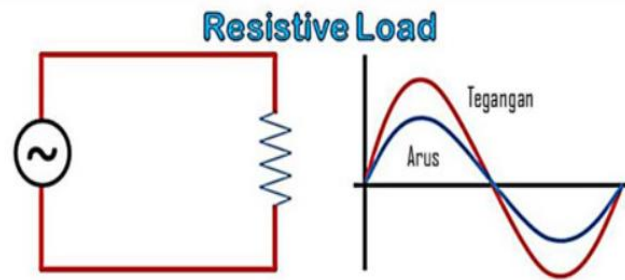
$$R = \frac{V}{I} \dots\dots\dots (2.20)$$

Keterangan :

R = Resistansi (Ω)

V = Tegangan pada beban resistif (Volt)

I = Arus yang mengalir pada beban resistif (Ampere)



Gambar 2.16 Rangkaian Beban Resistif beserta Gelombang AC



Gambar 2.17 Grafik Arus dan Tegangan Pada Beban Resistif

2.9.2 Beban Induktif (L)

Beban induktif (L) yaitu beban yang terdiri dari kumparan kawat yang dililitkan pada suatu inti, seperti coil, transformator, dan solenoida dan beroperasi berdasarkan prinsip kerja induksi. Beban ini dapat mengakibatkan pergeseran fasa (*phase shift*) pada arus sehingga bersifat *lagging*. Hal ini disebabkan oleh energi yang tersimpan berupa medan magnetis akan mengakibatkan fasa arus bergeser menjadi tertinggal terhadap tegangan.

Beban jenis ini menyerap daya aktif dan daya reaktif dan menghasilkan daya harmonik yang mengakibatkan penurunan nilai $\cos \phi$ menjadi lebih kecil dari 1 (satu). Persamaan daya aktif untuk beban induktif adalah sebagai berikut :

$$P = V \cdot I \cos \phi \dots\dots\dots (2.21)$$

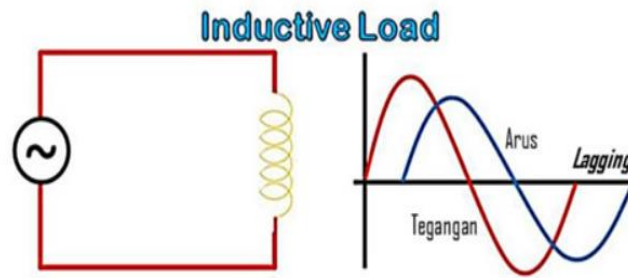
Dengan :

P = daya aktif yang diserap beban (watt)

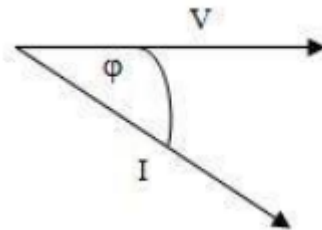
V = tegangan yang mencatu beban (volt)

I = arus yang mengalir pada beban (A)

ϕ = sudut antara arus dan tegangan



Gambar 2.18 Rangkaian Beban Induktif beserta Gelombang AC



Gambar 2.19 Grafik Arus dan Tegangan Pada Beban Induktif

Beberapa peralatan listrik yang termasuk beban induktif, antara lain motor listrik, mesin las listrik, transformator, induktor, solenoid coil, dan semua peralatan listrik yang bekerja berdasarkan induksi.. Beban induktif dapat menimbulkan fluks magnet. Beban induktif juga dapat mempengaruhi daya reaktif dari suatu rangkaian listrik. Untuk menghitung besarnya reaktansi induktif (X_L), dapat digunakan rumus sebagai berikut :

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L \dots\dots\dots (2.22)$$

Dengan :

X_L = reaktansi induktif

π = Konstanta sebesar 3,142

f = frekuensi (Hz)

L = induktansi (Henry)

2.9.3 Beban Kapasitif (C)

Beban kapasitif (C) yaitu beban yang memiliki kemampuan kapasitansi atau kemampuan untuk menyerap dan menyimpan energi yang berasal dari pengisian elektrik (*electrical discharge*) pada rangkaian dalam waktu sesaat. Komponen ini dapat menyebabkan arus mendahului (*leading*) terhadap tegangan.

Beban jenis ini menyerap daya aktif dan mengeluarkan daya reaktif sehingga dapat digunakan untuk memperbaiki faktor daya yang diinginkan menjadi mendekati 1 atau lebih kecil dari 1. Peralatan listrik yang termasuk jenis beban kapasitif adalah kapasitor. Persamaan daya aktif untuk beban induktif adalah sebagai berikut :

$$P = V \cdot I \cos \varphi \dots\dots\dots (2.23)$$

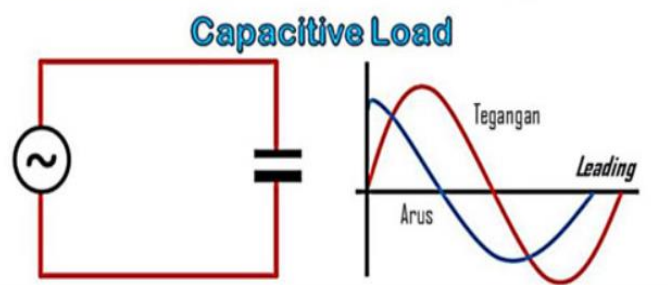
Dengan :

P = daya aktif yang diserap beban (watt)

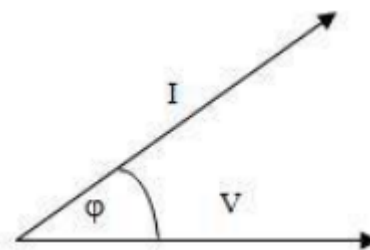
V = tegangan yang mencatu beban (volt)

I = arus yang mengalir pada beban (A)

φ = sudut antara arus dan tegangan



Gambar 2.20 Rangkaian Beban Kapasitif beserta Gelombang AC



Gambar 2.21 Grafik Arus dan Tegangan Pada Beban Kapasitif

Reaktansi kapasitif mengakibatkan arus rangkaian yang mendahului tegangannya, Untuk menghitung besarnya reaktansi kapasitif (X_C), dapat digunakan rumus sebagai berikut :

$$X_c = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C} \dots\dots\dots (2.24)$$

Dengan :

X_c = reaktansi kapasitif

π = Konstanta sebesar 3,142

f = frekuensi (Hz)

L = induktansi (Henry)

2.10 Uninterruptible Power Supply (UPS)

Uninterruptible Power Supply atau suplai daya bebas gangguan adalah perangkat yang biasanya menyimpan daya listrik sebagai cadangan daya alternatif. Dengan fungsi agar saat sumber utama putus atau saat terjadi pemadaman perangkat yang dialirkan listrik tidak terganggu dan tetap mendapatkan listrik dari UPS sehingga tidak menyebabkan perangkat mati atau kerusakan pada perangkat. Sebagai contoh perangkat yang memerlukan 24 jam suplai listrik seperti komputer yang tidak memiliki baterai, ataupun lift agar tidak berhenti saat terjadi pemadaman, ataupun saat terjadi peralihan sumber listrik pada sistem automatic transfer switch agar suplai tidak terputus.

UPS memiliki beberapa jenis sesuai dengan kemampuan yang dimiliki dari daya yang kecil sampai daya yang besar. Dan ada beberapa jenis yang dapat dihubungkan dengan baterai agar memiliki sumber listrik yang besar dan dapat menyuplai listrik lebih lama.



Gambar 2.22 Uninterruptible Power Supply (UPS)

2.10.1 Pengaturan UPS Legrand Keor 2000VA




Pada saat penggunaan UPS terdapat beberapa indikator yang terdapat pada bagian depan UPS dapat kita lihat pada Gambar 2.23 A . *Uninterruptible power supply* (UPS), pada bagian kiri adalah indikator isi baterai, dan kanan indikator banyak beban yang terhubung. Dan pada indikator bagian atas dari kiri menunjukkan



baterai habis, tanda seru menunjukkan kondisi abnormal seperti beban induksi yang berlebih, selanjutnya indikasi overload saat beban terlalu banyak, dan indikasi terakhir menunjukkan fase netral yang terpasang dengan kondisi salah.



Gambar 2.23 A. *Uninterruptible power supply (UPS)*, B. Indikator UPS

Pada saat UPS di berikan sumber maka UPS akan menyala dan agar listrik *bypass* melalui UPS ke beban tekan tombol  selama 2 detik dan beban akan tersuplai listrik. Dan pada saat sumber terputus akan secara otomatis memasuki kondisi suplai arus menggunakan baterai UPS. Untuk mematikan UPS tekan tombol  selama 2 detik dan UPS akan mati. Dan tombol  saat ditekan 2 detik akan memunculkan indikator baterai dan beban yang terhubung.



Gambar 2.24 Kondisi saat UPS menyala



Gambar 2.25 A. Kondisi saat bypass melalui UPS, B. Kondisi saat menggunakan baterai