

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Berikut beberapa penelitian atau karya tulis yang berkaitan dengan pembahasan pada tugas akhir ini, diantara lain:

2.1.1 Muhammad Faisal Ramadhan (2016), dengan judul tugas akhir "*Perancangan Pemasangan Transformator dan Genset serta Perbaikan Faktor Daya Gedung Kuliah E6 dan E7 Universitas Muhammadiyah Yogyakarta*". Kesimpulan dari tugas akhir ini adalah, total beban terpasang yang terdapat pada gedung E6 dan E7 UMY adalah 580,8 kVA dengan perkiraan beban puncak sebesar 406,56 kVA, faktor daya mula-mula dari gedung ini adalah sebesar 0,781, sedangkan faktor daya minimal berdasarkan PUIL 2000 adalah sebesar 0,85. Sehingga untuk memperbaiki nilai faktor daya agar sesuai dengan standar atau di atasnya maka perlu dilakukan pemasangan kapasitor bank. Pemasangan kapasitor bank yang disarankan adalah 6 x 20 kVAR, sehingga faktor dayanya akan berubah menjadi 0,9. Pemasangan trafo yang disarankan untuk gedung E6 dan E7 berdasarkan pada perhitungan perkiraan beban puncak adalah sebesar 500 kVA, dan untuk pemasangan genset disarankan menggunakan genset dengan kapasitas 500 kVA.

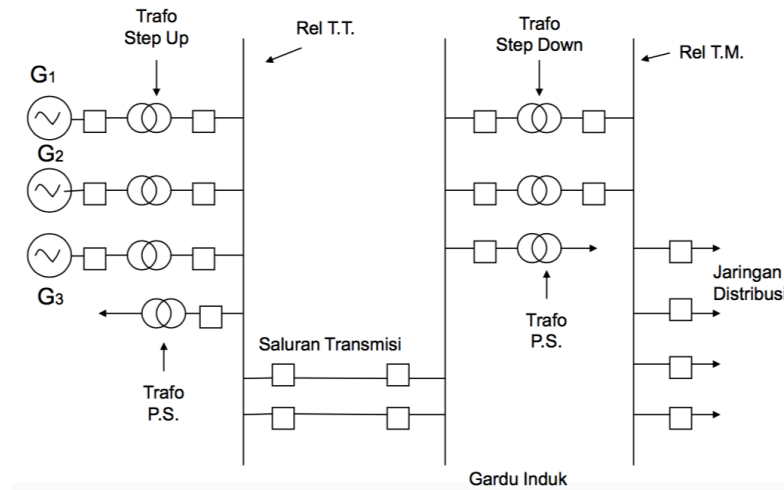
2.1.2 Azhar Zahar Makmur (2016), dengan judul tugas akhir "*Analisis Pembebanan Genset di Kampus Universitas Muhammadiyah Yogyakarta*". Dari tugas akhir ini dapat disimpulkan bahwa Universitas Muhammadiyah Yogyakarta memiliki tiga buah genset untuk menyediakan energi listrik cadangan pada tiga zona wilayah,

yaitu zona AR, zona Utara, dan zona Pascasarjana. Untuk wilayah zona AR memiliki genset dengan kapasitas sebesar 700 kVA, zona Utara memiliki genset dengan kapasitas sebesar 500 kVA, dan untuk zona Pascasarjana memiliki genset dengan kapasitas sebesar 680 kVA. Dari ketiga wilayah ini hanya genset pada zona wilayah Utara yang tidak mampu untuk melayani seluruh beban listrik yang terdapat dalam zona wilayah Utara, karena beban puncak tertinggi pada wilayah Utara adalah sebesar 595,531 kVA sedangkan kapasitas genset pada wilayah utara sebesar 500 kVA, sehingga ketika zona Utara sedang menggunakan pembangkit listrik cadangan terdapat beberapa beban listrik yang harus dilepaskan dari sistem, agar genset tetap dapat beroperasi dan tidak mengalami kelebihan beban (*overload*).

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Proses Pembangkitan dan Pendistribusian Energi Listrik

Pusat listrik adalah tempat di mana proses pembangkitan tenaga listrik dilakukan. Pembangkitan tenaga listrik merupakan proses konversi energi primer (bahan bakar fosil atau energi terbarukan) menjadi energi mekanik penggerak generator, dimana selanjutnya energi mekanik diubah menjadi energi listrik oleh generator. Setelah tenaga listrik dibangkitkan di dalam pusat-pusat listrik seperti, PLTU, PLTA, PLTG, PLTD, dan PLTP kemudian energi listrik disalurkan melalui saluran transmisi setelah terlebih dahulu dinaikkan tegangannya oleh transformator penaik tegangan (*step up transformer*) yang ada di dalam pusat listrik. Pada umumnya saluran transmisi yang digunakan oleh PT. PLN adalah saluran transmisi yang memiliki tegangan 70 kV, 150 kV, 275 kV, dan 500 kV dengan frekuensi 50 Hz.



Gambar 2.1 Skema pusat listrik dan gardu induk

- Keterangan: G = Generator
P.S. = Pemakaian Sendiri
T.T. = Tegangan Tinggi
T.M. = Tegangan Menengah

Setelah tenaga listrik disalurkan melalui saluran transmisi maka sampailah tenaga listrik ke gardu induk (GI) kemudian tegangannya diturunkan dengan menggunakan transformator penurun tegangan (*stepdown transformer*), di dalam proses pendistribusian tenaga listrik terdapat pembagian jaringan distribusi, yang secara garis besar dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu:

1. Distribusi Primer

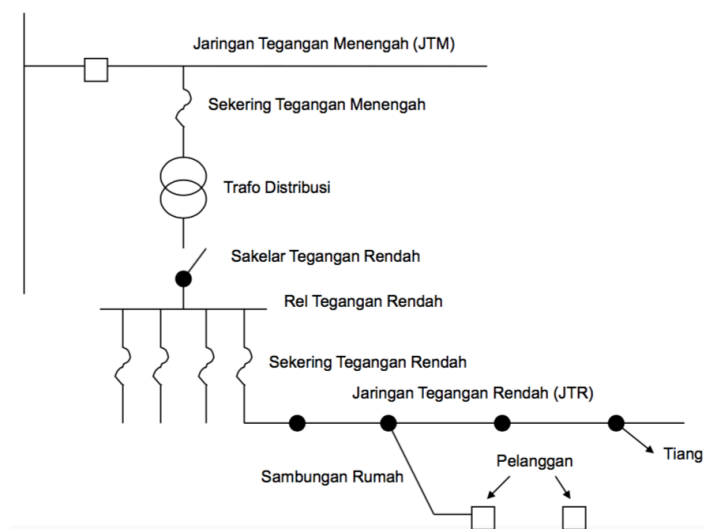
Jaringan distribusi primer yaitu jaringan distribusi tenaga listrik yang berasal dari saluran transmisi yang kemudian tegangannya diturunkan di dalam gardu induk menjadi tegangan menengah (TM) dengan nominal tegangan 20 kV, jaringan ini biasa disebut

dengan jaringan tegangan menengah (JTM), kemudian diturunkan tegangannya dengan menggunakan transformator *stepdown* pada gardu distribusi untuk disalurkan ke pelanggan.

2. Distribusi Sekunder

Jaringan distribusi sekunder yaitu jaringan distribusi tenaga listrik yang berasal dari gardu distribusi yang tegangannya telah diturunkan tegangannya menjadi 380/220 Volt. Kemudian disalurkan menggunakan jaringan tegangan rendah (JTR) untuk selanjutnya disalurkan ke rumah pelanggan melalui sambungan rumah (SR).

Pelanggan-pelanggan yang mempunyai daya tersambung besar tidak dapat menggunakan jaringan tegangan rendah (JTR) untuk proses pendistribusian energi listrik, melainkan harus menggunakan jaringan tegangan menengah (JTM), bahkan ada juga yang langsung menggunakan jaringan transmisi tegangan tinggi, tergantung dengan besarnya daya yang tersambung yang dimiliki oleh pelanggan listrik. Berikut adalah gambar mengenai jaringan tegangan menengah (JTM), jaringan tegangan rendah (JTR), dan sambungan rumah (SR).



Gambar 2.2 Jaringan tegangan rendah (JTR) dan sambungan rumah (SR)

2.2.2 Pembangkit Listrik Cadangan

Sistem tenaga listrik pada umumnya terdiri dari beberapa unit pembangkit, saluran transmisi distribusi, dan berbagai pusat beban. Dalam pengoperasiannya, suatu sistem tenaga listrik tidak terlepas dari terjadinya suatu gangguan pada sistem, baik gangguan yang bersifat sementara maupun gangguan yang bersifat tetap. Oleh karena itu, untuk menghadapi serta mengantisipasi terjadinya hal tersebut, maka diperlukan suatu pembangkit listrik cadangan untuk menyediakan energi listrik ketika sumber energi listrik dari PT. PLN (Persero) terputus. Pembangkit listrik cadangan yang biasanya digunakan adalah genset (generator set), genset adalah seperangkat alat yang menggabungkan penggerak mula (*prime mover*) sebagai penggerak rotor generator, dan generator yang berfungsi untuk menyediakan daya listrik dengan cara mengubah energi mekanik menjadi energi listrik dengan menggunakan prinsip elektromagnet.

Genset memanfaatkan *prime mover* untuk menggerakkan rotor yang terdapat dalam generator dan mengubah energi gerak tersebut menjadi energi listrik. Pada umumnya genset digunakan pada tempat-tempat yang tidak memiliki akses untuk penyediaan energi listrik, atau sebagai penyedia daya listrik cadangan pada kondisi darurat. Kapasitas pembangkitan dari suatu genset harus disesuaikan dengan kebutuhan daya listrik yang diperlukan oleh beban listrik yang terdapat dalam sistem tenaga listrik, untuk menghindari terjadinya kelebihan beban (*overload*) pada genset. Pemilihan jenis dan kapasitas genset untuk menyediakan energi listrik cadangan harus dilakukan secara seefisien mungkin.

Berikut ini adalah beberapa hal yang perlu diperhatikan ketika hendak menentukan jenis dan kapasitas genset, untuk dijadikan sebagai pembangkit listrik cadangan:

1. Kapasitas Genset

Ketika hendak menentukan kapasitas genset untuk menyediakan energi listrik cadangan, genset harus memiliki kapasitas melebihi beban yang dilayaninya. Menurut standar ISO-8528-1 menyatakan bahwa penggunaan beban rata-rata selama 24 jam tidak melebihi 70% dari kapasitas maksimal genset. Pemilihan kapasitas genset juga harus diperhatikan, karena besarnya kapasitas pembangkitan energi listrik genset berbanding lurus dengan konsumsi bahan bakar yang digunakan untuk mengoperasikan genset.

2. Tipe Genset

Berdasarkan tempat peletakkannya genset terbagi menjadi dua jenis, yaitu:

(1) Genset *Open*: Genset *open* adalah genset terbuka yang tidak memiliki *box* (rumah genset). Sehingga, pada umumnya genset ini pada umumnya digunakan oleh pengguna yang memiliki *power house* sendiri dan dirancang khusus untuk penempatan genset dalam suatu ruangan yang kedap suara. Kelebihan dari genset tipe ini adalah kemudahan dalam hal perawatan karena genset ini dalam kondisi terbuka sehingga mudah ketika dilakukan proses bongkar pasang ketika melakukan perawatan atau perbaikan.

(2) Genset *Silent*: Genset *silent* adalah genset yang memiliki *box* sendiri, sehingga suara yang dihasilkan dari genset ketika beroperasi tidak terlalu nyaring seperti genset tipe *open* karena *box* pada genset *silent* juga berfungsi sebagai peredam suara,

sehingga genset *silent* bisa ditempatkan tanpa ruang khusus karena suara yang dihasilkan sudah kedap. Karena genset *silent* memiliki *box* sendiri sehingga menyebabkan harga genset ini lebih mahal dari genset tipe *open*.

Pilihlah genset sesuai dengan kondisi wilayah yang ada, apabila memiliki suatu ruangan khusus untuk genset, mungkin genset tipe *open* menjadi pilihan yang tepat, karena selain dibandrol dengan harga yang relatif lebih murah, perawatan untuk genset tipe *open* juga lebih mudah. Sedangkan apabila tidak memiliki ruangan khusus untuk genset dan menginginkan genset yang tidak bising ketika sedang beroperasi, maka genset tipe *silent* bisa menjadi pilihan yang tepat. Terlepas dari menggunakan genset tipe *open* atau *silent*, hal lain yang perlu diperhatikan dalam penempatan genset adalah adanya sirkulasi udara. Karena ruangan tertutup tanpa adanya sirkulasi udara sama sekali akan membuat genset mati karena habisnya oksigen dalam ruangan.

3. Ketersediaan Suku Cadang

Ketersediaan suku cadang pada genset dalam pasaran juga harus diperhatikan. Hal ini bertujuan agar ketika dilakukan perawatan dan penggantian suku cadang pada komponen-komponen genset akibat terjadinya masalah operasi, mudah untuk dilakukan. Sehingga ketika genset mengalami gangguan operasi bisa segera ditangani, dan ketersediaan pembangkit listrik cadangan tetap terjaga.

2.2.3 Komponen-Komponen Genset

Dalam pengoperasiannya, agar genset dapat beroperasi dengan baik sesuai dengan kebutuhan, genset memerlukan beberapa macam komponen. Adapun komponen-komponen yang terdapat dalam genset, secara umum adalah sebagai berikut:

1. Mesin Penggerak Utama (*Prime Mover*)

Prime mover adalah peralatan yang digunakan sebagai input mekanis untuk menggerakkan generator agar dapat menghasilkan energi listrik. Pemilihan tipe mesin pada *prime mover* pada umumnya disesuaikan dengan kapasitas pembangkitan energi listrik pada generator, generator dengan kapasitas pembangkitan yang lebih kecil biasanya beroperasi dengan menggunakan mesin bensin sementara generator dengan kapasitas pembangkitan yang lebih besar beroperasi dengan menggunakan mesin diesel.

2. Generator

Generator adalah bagian dari genset yang berfungsi untuk mengubah input mekanis dari *prime mover* menjadi energi listrik. Di dalam generator terdapat dua buah komponen utama untuk menunjang beroperasinya generator, diantaranya adalah sebagai berikut:

1) Stator

Stator merupakan bagian pada generator yang diam. Stator merupakan gulungan kawat penghantar yang disusun dan ditempatkan pada alur inti besi atau biasa disebut juga dengan belitan jangkar. Kawat penghantar merupakan tempat untuk terbentuknya gaya gerak listrik induksi (ggl induksi) yang

diakibatkan oleh medan magnet putar dari rotor yang memotong kumparan penghantar stator.

2) Rotor

Rotor merupakan bagian pada generator yang berputar. Rotor pada generator memiliki kutub-kutub magnet yang disusun pada alur-alur inti besi, dan ketika dialiri oleh arus searah (DC) maka akan menghasilkan fluks magnet untuk diinduksikan ke stator.

2.2.4 Cara Kerja Generator

Pada generator terdapat sumber arus searah (DC) yang disuplai oleh *exciter*, dari arus DC tersebut kemudian dialirkan pada kumparan yang terdapat pada rotor, sehingga menghasilkan fluks magnet. Kemudian ketika rotor diputar oleh *prime mover* maka fluks magnet yang timbul akibat arus searah tersebut akan memotong kawat penghantar (konduktor) pada stator sehingga menghasilkan gaya gerak listrik (GGL) induksi. Dari GGL induksi tersebut apabila pada ujung konduktor stator dihubungkan dengan suatu beban listrik, maka pada konduktor tersebut akan mengalir arus listrik, yang nantinya digunakan untuk menyuplai energi listrik bagi beban listrik.

Besarnya GGL induksi yang timbul pada ujung-ujung kawat penghantar dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor berikut:

1. Jumlah lilitan yang terdapat pada kumparan. Semakin banyak lilitan yang terdapat pada kumparan maka akan menimbulkan GGL induksi yang semakin besar.
2. Kecepatan perubahan fluks magnet. Perubahan kecepatan fluks magnet akan menyebabkan perubahan GGL induksi, makin cepat laju

perubahan fluks magnet maka akan menimbulkan GGL induksi yang semakin besar.

3. Kekuatan magnet batang yang digunakan, semakin kuat magnet batang yang digunakan, maka akan menimbulkan GGL induksi yang semakin besar.

Berikut adalah persamaan mengenai fluks magnet, dan GGL induksi:

$$\text{Rumus fluks magnetik: } \phi = B \cdot A \dots\dots\dots (2.1)$$

Dengan: ϕ = Fluks magnet (Wb)

B = Induksi atau kuat medan magnet (Tesla)

A = Luas bidang penampang (m^2)

$$\text{Rumus GGL induksi: } \varepsilon = -N \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dengan: ε = GGL Induksi (V)

N = Banyaknya lilitan

$\Delta\phi$ = Perubahan fluks magnet (Wb)

Δt = Selang waktu perubahan fluks magnet (s)

2.2.5 Sistem Pendukung Genset

Dalam pengoperasiannya, agar genset dapat beroperasi dengan baik sesuai dengan kebutuhan, genset memerlukan suatu sistem pendukung untuk mendukung genset ketika sedang beroperasi. Adapun komponen-komponen yang terdapat dalam genset, secara umum adalah sebagai berikut:

1. Sistem Bahan Bakar

Mesin pada genset dapat berputar karena dalam ruang bakar mesin disemprotkan bahan bakar sesaat sebelum piston mencapai titik mati atasnya. Ledakan dalam ruang bakar, menggerakkan piston sehingga mesin dapat beroperasi dan menggerakkan poros engkol pada mesin. Poros engkol digunakan untuk menggerakkan poros rotor pada generator. Oleh generator energi mekanis ini kemudian diubah menjadi energi listrik.

2. Sistem Pelumasan

Untuk mengurangi getaran yang terjadi pada bagian-bagian yang bergerak dalam mesin, dan untuk membuang panas akibat gesekan, maka semua *bearing* dan dinding dalam dari tabung-tabung silinder diberi minyak pelumas. Sistem pelumasan yang baik akan menyebabkan mesin halus dan dapat digunakan dalam jangka waktu yang panjang.

3. Sistem Pendingin

Penggunaan genset dalam waktu yang lama menyebabkan kenaikan suhu pada berbagai komponen yang terdapat dalam genset, sehingga diperlukan adanya sistem pendingin untuk membuang panas yang dihasilkan oleh genset ketika sedang beroperasi. Agar komponen dalam genset tetap terjaga suhunya dan genset dapat beroperasi dengan handal.

2.2.6 Daya Listrik

Daya listrik adalah ukuran energi listrik per satuan waktu, daya listrik dapat didefinisikan sebagai kecepatan aliran energi listrik pada satu titik jaringan listrik dalam satu satuan waktu. Dalam sistem tenaga

listrik, daya listrik adalah jumlah energi yang digunakan oleh suatu alat listrik untuk melakukan usaha atau kerja. Daya listrik dalam sistem tenaga listrik dinyatakan dalam satuan Watt, yang artinya 1 Watt daya listrik setara dengan perkalian antara 1 Volt tegangan dengan 1 Ampere arus. Dalam sistem listrik arus bolak balik (AC), terdapat 3 jenis daya listrik yaitu:

1. Daya Aktif

Daya aktif adalah daya listrik yang digunakan untuk melakukan energi sebenarnya. Daya aktif dipakai oleh peralatan listrik yang memiliki sifat murni tahanan (resistor), atau beban yang bersifat resistif, seperti: lampu pijar, setrika, solder listrik, *rice cooker* serta semua alat listrik lain yang bekerja dengan menggunakan elemen pemanas. Berikut adalah rumus untuk mencari besarnya daya aktif:

$$P = V \times I \times \text{Cos } \varphi \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

Dengan:

P = Daya Aktif (W)

V = Tegangan (V)

I = Arus (A)

$\text{Cos } \varphi$ = Faktor Daya

2. Daya Reaktif

Daya reaktif adalah suatu besaran yang menunjukkan adanya fluktuasi atau lonjakan daya akibat dari penggunaan peralatan listrik dengan sifat induktif seperti: trafo, motor listrik, dan las listrik. Meskipun dinamakan daya, namun pada kenyataannya daya reaktif

tidaklah nyata dan hanya bisa dimanfaatkan untuk pembentukan fluks magnet. Daya reaktif dilambangkan dengan huruf Q dan diukur dalam satuan VAR (Volt-Amps-Reaktif). Berikut adalah rumus untuk mencari besarnya daya reaktif:

$$Q = V \times I \times \sin \varphi \dots\dots\dots (2.4)$$

Dengan:

Q = Daya reaktif (VAR)

V = Tegangan (V)

I = Arus (A)

φ = Sudut Fasa

3. Daya Semu

Daya semu adalah daya listrik yang dihasilkan oleh penjumlahan trigonometri antara daya aktif dengan daya reaktif atau perkalian antara tegangan dan arus. Berikut adalah rumus untuk mencari besarnya daya semu dalam suatu sistem tenaga listrik:

$$S = V \times I \dots\dots\dots (2.5)$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dengan:

S = Daya semu (VA)

V = Tegangan (V)

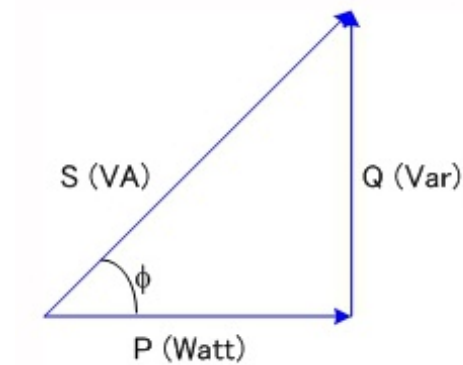
I = Arus (A)

P = Daya Aktif (W)

Q = Daya Reaktif (VAR)

2.2.7 Segitiga Daya

Segitiga daya adalah suatu hubungan matematis antara daya aktif, daya reaktif, dan daya semu berdasarkan pada prinsip trigonometri, yang dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2.3 Segitiga Daya Listrik

Berdasarkan pada gambar 2.3, maka dapat ditulis beberapa persamaan yang saling berhubungan:

$$S(\text{VA}) = V \times I = \sqrt{P^2 + Q^2} \dots\dots\dots (2.7)$$

$$P(\text{Watt}) = S \times \text{Cos } \phi = \sqrt{S^2 - Q^2} \dots\dots\dots (2.8)$$

$$Q(\text{VAR}) = S \times \text{Sin } \phi = \sqrt{S^2 - P^2} \dots\dots\dots (2.9)$$

$$\text{Cos } \phi = \frac{P}{S} \dots\dots\dots (2.10)$$

2.2.8 Faktor Daya

Faktor daya ($\text{Cos } \phi$) merupakan rasio perbandingan antara daya aktif (P) dengan daya nyata (S). Nilai dari faktor daya berkisar antara 0-1, yang artinya nilai faktor daya akan semakin baik apabila nilainya

mendekati 1. Berikut adalah rumus untuk menentukan besarnya nilai faktor daya pada suatu sistem:

$$\text{Cos } \varphi = \frac{P}{S} \dots\dots\dots (2.11)$$

Dengan:

$\text{Cos } \varphi$ = Besarnya Faktor Daya

P = Daya Aktif (W)

S = Daya Semu (VA)

Di Indonesia PT. PLN menetapkan standar minimal nilai faktor daya pada sistem kelistrikan gedung dan industri adalah sebesar 0,85. Apabila nilai faktor daya pada gedung dan industri tersebut dibawah 0,85 maka PT. PLN akan memberikan denda tambahan, yang dihitung dari besarnya pemakaian daya reaktif dalam sebulan, denda pemakaian daya reaktif ini tidak berlaku bagi konsumen rumah tangga. Oleh sebab itu, untuk menaikkan nilai faktor daya agar nilai nya diatas batas minimum atau mendekati nilai satu, perlu dilakukan perbaikan faktor daya, dengan cara memasang kompensasi kapasitif, dengan menggunakan kapasitor bank dalam sistem tenaga listrik tersebut.

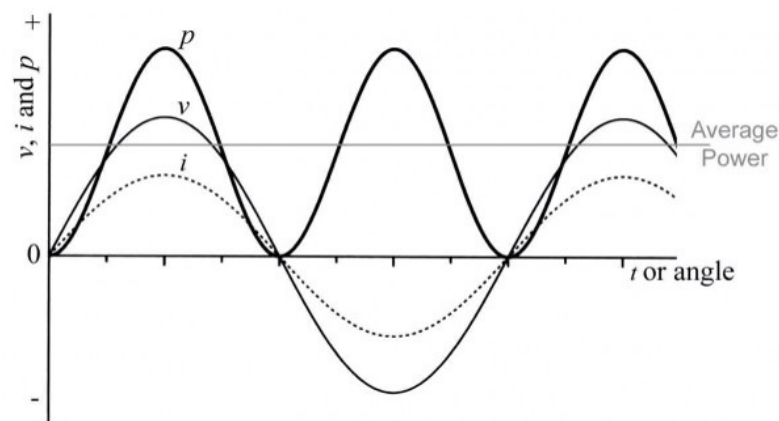
2.2.9 Beban Listrik

Beban listrik adalah setiap peralatan yang memerlukan energi listrik untuk beroperasi. Dalam sistem listrik arus bolak balik (AC), jenis beban listrik dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Beban Resistif

Beban resistif adalah beban listrik yang dihasilkan oleh peralatan listrik yang memiliki sifat murni tahanan (resistor) seperti

pada peralatan listrik yang memiliki elemen panas dan lampu pijar. Beban resistif bersifat menghalangi aliran elektron yang melewatinya, sehingga mengakibatkan terjadinya perubahan energi listrik menjadi energi panas. Dengan demikian resistor tidak akan merubah sifat-sifat listrik AC yang mengalirinya. Gelombang tegangan dan arus yang melewati resistor akan selalu bersama membentuk bukit dan lembah, sehingga posisi gelombang tegangan dan arus tetap satu fasa. Berikut adalah bentuk gelombang dari beban resistif listrik AC:



Gambar 2.4 Gelombang sinusoidal beban resistif listrik AC.

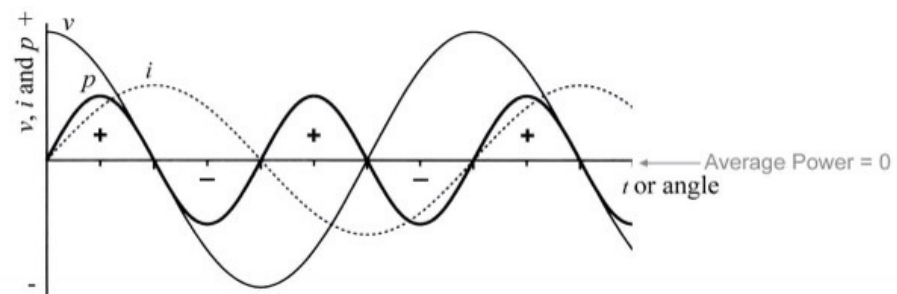
Dapat dilihat pada gambar gelombang diatas, bahwa bentuk gelombang arus dan tegangan berada pada fase yang sama, sehingga nilai daya listrik akan selalu positif. Faktor ini lah yang menyebabkan, mengapa beban resistif akan selalu ditopang oleh 100% daya aktif.

2. Beban Induktif

Beban induktif adalah beban listrik yang diciptakan oleh peralatan yang bekerja berdasarkan prinsip induksi, seperti motor listrik, las listrik dan trafo. Beban induktif mengkonsumsi daya aktif dan daya reaktif agar dapat beroperasi. Kumparan/lilitan

kawat dibutuhkan oleh peralatan listrik tersebut untuk menciptakan suatu medan magnet sebagai komponen kerjanya. Terciptanya medan magnet pada kumparan/lilitan kawat inilah yang menjadi beban induktif pada listrik AC. Kumparan dalam beban induktif menyebabkan terhambatnya arus yang mengalir, sehingga menyebabkan terjadinya pergeseran posisi gelombang arus menjadi tertinggal (*lagging*) beberapa derajat dari gelombang tegangan.

Berikut adalah bentuk gelombang dari beban induktif listrik AC:

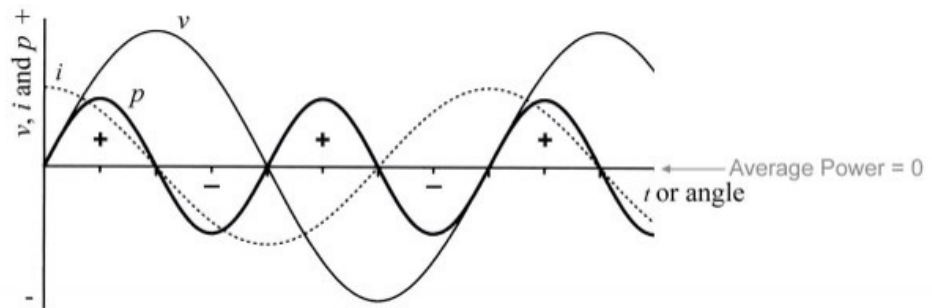


Gambar 2.5 Gelombang sinusoidal beban induktif listrik AC.

3. Beban Kapasitif

Beban kapasitif adalah beban listrik yang memiliki kemampuan kapasitansi, artinya beban kapasitif memiliki kemampuan untuk menyerap dan menyimpan energi listrik dalam waktu sesaat. Beban kapasitif mengkonsumsi daya aktif dan mengeluarkan daya reaktif ketika beroperasi. Peralatan listrik yang termasuk dalam jenis beban kapasitif adalah kapasitor. Berbeda dengan beban induktif yang menghalangi terjadinya perubahan nilai arus yang mengalir, beban kapasitif memiliki sifat menghalangi terjadinya perubahan nilai tegangan listrik, sehingga terjadi pergeseran posisi gelombang arus menjadi mendahului (*leading*) dari gelombang tegangan.

Sehingga bentuk gelombang pada beban kapasitif adalah sebagai berikut:



Gambar 2.6 Gelombang sinusoidal beban kapasitif listrik AC.