

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Kualitas daya listrik sudah hangat dibicarakan di Amerika sejak awal tahun 90-an dan hasil dari riset selama hampir 5 (lima) tahun (1990 s.d. 1995) oleh *US National Power Laboratory (Division of Best Power Technology, Wisconsin)* menunjukkan bahwa pengganggu atau perusak perangkat akibat masalah tegangan tercatat hampir 50 gangguan per bulan. Dari hasil survey pada beberapa gedung komputer di Amerika pada tahun 1990, ditemukan bahwa sekitar 23%-nya memiliki permasalahan besarnya arus pada kabel netral lebih besar daripada arus kabel fasa, bahkan beberapa berada di atas kemampuan kabel netralnya sendiri. Pada tahun 1990, Amerika diperkirakan mengalami kerugian di berbagai sektor sebanyak 26 milyar dollar gara-gara masalah kualitas daya dan terhentinya operasi *New York Airport* yang menghebohkan bulan September 1991 akibat kualitas daya.

Secara umum, di Indonesia masalah kualitas daya belum sampai menjadi perhatian secara nasional dan detail, beberapa hal memang sudah cukup diperhatikan dari pengguna namun masih dalam kaitan tegangan rendah atau tidak stabil atau pemadaman listrik. Padahal kualitas daya listrik bukan hanya masalah tegangan saja atau terputusnya catuan tetapi menyangkut karakteristik parameter kelistrikannya seperti arus dan frekuensi dan kaitannya dengan harmonisa, arus bocor, tegangan transien, sag/dips, surge, swell,

ripple, noise, dan lain sebagainya yang dapat merusak peralatan dan mengurangi umur perangkat/device.

Sebelum era elektronika modern, sumber daya listrik dimaksudkan untuk memberikan energi listrik pada beban lampu pijar, pemanas, penyearah dengan dioda, dan sebagainya. Beban tersebut tidak mempengaruhi karakteristik pada tegangan, arus, frekuensi, dan bentuk gelombang, artinya bentuk tidak berubah (tetap) maka beban demikian disebut beban linier. Seiring dengan perkembangan teknologi elektronika, teknologi sistem konversi dan kontrol, beban-beban sumber daya listrik ternyata ada yang mempengaruhi karakteristik pada tegangan, arus, frekuensi dan bentuk gelombang, artinya bentuk berubah atau cacat; beban seperti ini disebut beban non linier.

Selain itu penulisan ini juga didasari penelitian yang dilakukan oleh Natalinus (2013), Teknik Industri, Institut Teknologi Padang. Judul yang diteliti adalah Pengaruh Perubahan Tegangan Sumber Terhadap Karakteristik Faktor Daya Pada Lampu Hemat Energi yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh tegangan sumber terhadap faktor daya dan membuktikan daya lampu masing-masing name plate pada lampu hemat energi.

Joko Santoso (2005), Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro Semarang. Penelitian mengenai Pengaruh Perubahan Tegangan Catu Terhadap Umur Lampu Hemat Energi, dalam pengukuran intensitas penerangan terhadap lampu hemat energy serta mengetahui komsumsi arus

dan daya listrik pada lampu kemudian mengetahui penurunan intensitas penerangan.

Alexander Suryajaya (2011), Teknik Elektro, Universitas Katolik Soegijapranata Semarang. Judul yang diteliti adalah Pengaruh Total Harmonic Distortion (THD) pada suatu sistem yang bertujuan untuk menganalisis sistem kelistrikan sebuah perkantoran dan memberikan suatu solusi untuk penggunaan beban-beban yang mengakibatkan terjadinya harmonisa arus.

## **2.2 Landasan Teori**

### **2.2.1 Sejarah Lampu**

Lampu dalam perkembangannya dewasa ini menjadi salah satu media penerangan penting buatan manusia untuk menggantikan keberadaan cahaya matahari. Seiring dengan kemajuan teknologi, lamp telah mengalami banyak perubahan bila dibandingkan dengan awal penemuannya. Lampu pertama kali ditemukan pada tahun 1878 oleh Thomas Alva Edison dalam bentuk lampu pijar, penemuan tersebut berawal dari ide untuk membuat lampu dengan filamen yang terbuat dari platinum kemudian dialiri arus, dimana logam platinum tersebut sukar untuk teroksidasi dan mempunyai titik lebur yang tinggi.

Namun pada awal-awal percobaan, lampu tersebut padam setiap beberapa menit karena filamen tersebut mendapatkan panas yang berlebih dan terbakar akibat masih adanya kontrak dengan udara luar. Secara umum konsep dasar dari sebuah lampu adalah salah satu bentuk pemanfaatan radiasi elektromagnetik yang dihasilkan dari transfer energi baik yang bersifat fisik maupun kimiawi yang terjadi pada saat lampi menyala.

### 2.2.2 Lampu LHE

Lampu hemat energi (LHE) atau *compact fluorescent* adalah salah satu bentuk pengembangan dari lampu *fluorescent*. Dimana system kerja lampu hemat energy adalah memendarkan gas didalam tabung lampu sehingga timbul sinar ultra violet akibat energy listrik yang dialirkan. Lampu hemat energi ini terdiri dari ballast elektronik dan tabung gelas. Ballast atau kumparan hambat bersifat reaktif atau beban induktif dipasang secara seri dengan tabung lampu dan diletakan pada sisi arah masuknya sumber arus.

Ballas terdiri dari, kumparan kawat tembaga, bahan isolasi, celah udara, teras besi dan bahan pengisi, kotak plat baja, blok terminal dan alas baja. Semua bahan dikemas menjadi satu dalam kerangka yang cukup kuat dan rapi.

Sedangkan rugi-rugi yang terjadi biasanya berupa panas, karena panas yang berlebihan akan mengakibatkan kegagalan isolasi antar kumparan kawat tembaga. Ballas terdiri dari komponen-komponen semikonduktor yang berfungsi sebagai;

1. Pembangkit tegangan induksi yang tinggi agar terjadi pelepasan elektron di dalam tabung.
2. Membatasi arus yang melalui tabung setelah lampu bekerja normal. Dimana proses kerjanya berlaku sebagai saklar yang bekerja pada setiap siklus gelombang dari sumber tegangan dan dirancang untuk menggunakan arus listrik secara hemat dan efisien selama periode pengaturan yang telah ditentukan.

Sementara itu, tabung gelas berisi campuran Merkuri dan gas inert Argon (Ar), dalam keadaan menyala tekanan uap air raksa dalam tabung sangat rendah. Uap air raksa memancarkan sinar ultra ungu, sinar yang keluar diserap oleh serbuk fluorensen dan diubah menjadi cahaya tampak. Dalam tabung selalu terdapat kelebihan air raksa cair, karena itu tekanan uap air raksa jenuh, yang ditentukan oleh suhu tabung ditempat yang paling dingin. Suhu yang dimaksudkan berkisar sama dengan 40°C.

Adapun ukuran tabung harus dibuat sesuai dengan ketentuan yang telah ditetapkan menurut kemampuan dan ukurannya, sehingga suhu 40°C dapat dipertahankan pada suhu keliling 25°C, Sedangkan untuk tabung tabung dengan daya besar, agak sulit untuk dipertahankan suhu kerjanya yang demikian rendah. Oleh karena itu tabung lampu fluorensen dengan daya 125 watt diberi tonjolan didindingnya. Suhu ditonjolan akan lebih rendah dari pada di bagian lain dari tabung.

### **2.2.3 Lampu LED**

LED adalah singkatan dari Light Emitting Diode (dioda cahaya). Lampu LED adalah Lampu masa depan ( Teknologi ) yang super hemat dan ramah lingkungan , dan juga sangat tahan lama sampai dengan 10 Tahun. LED merupakan sejenis lampu yang akhir-akhir ini muncul dalam kehidupan kita.

LED dulu umumnya digunakan pada gadget seperti ponsel atau PDA serta komputer. Sebagai pesaing lampu bohlam dan neon, saat ini aplikasinya mulai meluas dan bahkan bisa kita temukan pada korek api yang kita gunakan, lampu emergency dan sebagainya. Led sebagai model lampu masa depan dianggap dapat menekan pemanasan global karena efisiensinya.

Kata LED merupakan singkatan dari Light Emitting Diode (dioda cahaya) ialah suatu semikonduktor yang memancarkan cahaya monokromatik yang tidak koheren ketika diberi tegangan maju. Gejala ini termasuk bentuk elektroluminesensi. Warna yang dihasilkan bergantung pada bahan semikonduktor yang dipakai, dan bisa juga ultraviolet dekat atau inframerah dekat.

#### **2.2.3.1 Kegunaan Lampu LED**

LED (Light Emitting Diode) merupakan sejenis lampu yang akhir-akhir ini muncul dalam kehidupan kita. LED dulu umumnya digunakan pada gadget seperti ponsel atau PDA serta komputer. Sebagai pesaing lampu bohlam dan neon, saat ini aplikasinya mulai meluas dan bahkan bisa kita

temukan pada korek api yang kita gunakan, lampu emergency dan sebagainya. LED sebagai model lampu masa depan dianggap dapat menekan pemanasan global karena efisiensinya.

Beberapa contoh penggunaan Lampu LED dewasa ini antara lain:

- a) Penerangan bangunan rumah
- b) Penerangan jalan
- c) Lalu lintas/ traffic light
- d) Advertising
- e) Interior/eksterior gedung

### **2.2.3.2 Struktur Dasar LED**

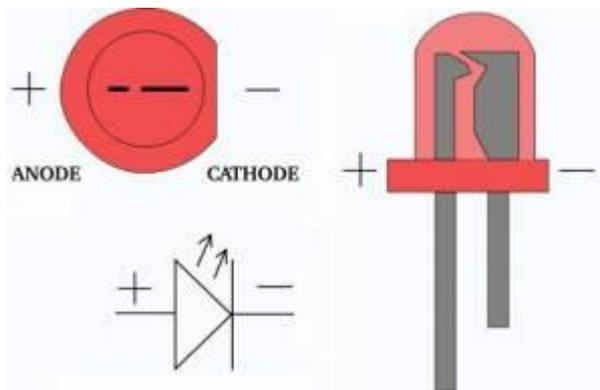
Semikonduktor merupakan material yang dapat menghantarkan arus listrik, meskipun tidak sebaik konduktor listrik. Semikonduktor umumnya dibuat dari konduktor lemah yang diberi 'pengotor' berupa material lain. Dalam LED digunakan konduktor dengan gabungan unsur logam aluminium-gallium-arsenit (AlGaAs). Konduktor AlGaAs murni tidak memiliki pasangan elektron bebas sehingga tidak dapat mengalirkan arus listrik. Oleh karena itu dilakukan proses doping dengan menambahkan elektron bebas untuk mengganggu keseimbangan konduktor tersebut, sehingga material yang ada menjadi semakin konduktif.

LED merupakan dioda, sehingga memiliki kutub ( polar ). Arah arus konvensional hanya dapat mengalir dari anoda ke katoda. Perhatikan gambar dibawah ini, ada 2 kawat ( kaki ) pada LED yang memiliki panjang sedikit berbeda. Kawat yang panjang adalah anoda sedangkan yang pendek adalah katoda.



Gambar 2.1. bentuk LED

Jika diamati kedalam lampu LED tersebut, dapat dibedakan ke dua kutub tersebut. Perhatikan gambar berikut.

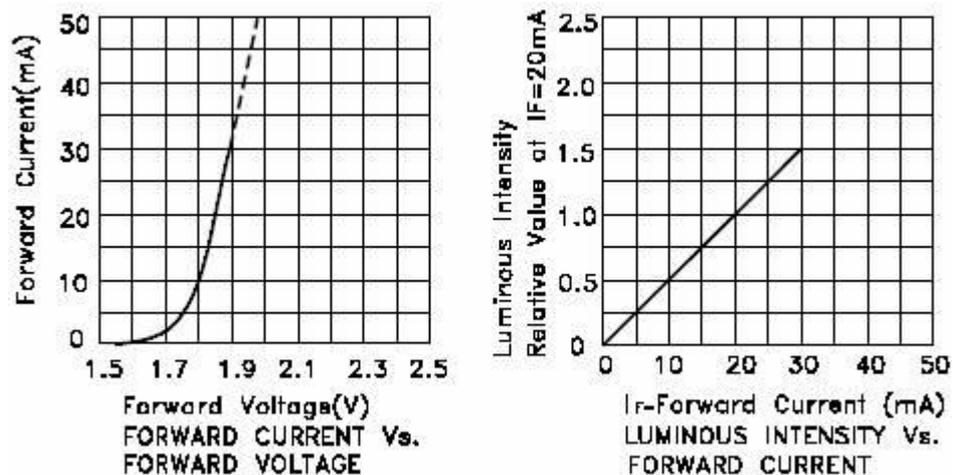


Gambar 2.2. gambar perbedaan kutub LED

## Resistor

Resistor pada LED berfungsi sebagai pengatur kuat arus yang mengalir pada LED. Resistor dipasang seri dengan LED. Jika tidak ada pengatur kuat arus maka LED akan terbakar.

Arus menentukan seberapa terang sebuah LED, semakin besar nilai arus yang masuk ke dalam LED maka lebih terang pula LED tersebut. Idealnya arus yang masuk pada satu buah LE sekitar 10 – 20 mA. Ketika arus melewati sebuah LED, jatuh tegangan pada LED sekitar 1,6 V. Perbandingan arus yang ideal pada sebuah LED terdapat pada grafik dibawah ini



Gambar 2.3. perbandingan arus dan tegangan pada LED

Grafik diatas digunakan untuk menentukan intensitas cahaya pada sebuah LED. Perbandingan untuk memilih seberapa terang sebuah LED yang diinginkan dan grafik ini digunakan untuk menentukan arus yang diperlukan. Sebagai contoh, Kita memilih intensitas luminous ( tingkat

terang gelap sebuah LED ) sebesar 1, diketahui bahwa arus sebesar 20 mA yang diperlukan.

Ini berarti bahwa arus 20 mA harus melewati LED untuk mendapatkan terangnya LED sebesar 1. Untuk menghitung jatuh tegangan pada LED berdasarkan arus yang diketahui yaitu dengan cara melihat grafik diatas. Grafik sebelah kiri menunjukkan 20 mA dan tegangannya sebesar 1,85 V. Jatuh tegangan pada LED tidak hanya fungsi dari arus, tetapi juga warna LED dan suhu (disebabkan perbedaan zat kimia pada LED ). Berikut beberapa contoh warna beda potensial tiap LED

#### **Warna Beda Potensial**

- Infrared 1,6 V
- Merah 1,8V – 2,1 V
- Jingga 2,2 V
- Kuning 2,4 V
- Hijau 2,6 V
- Biru 3,0 V – 3,5 V
- Putih 3,0 V – 3,5 V
- Ultraviolet 3,5 V

Kemudian, menentukan berapa tegangan yang digunakan untuk LED. Contohnya, jika menggunakan regulator 5 V, berarti tegangan yang dibutuhkan berkisar 5V.

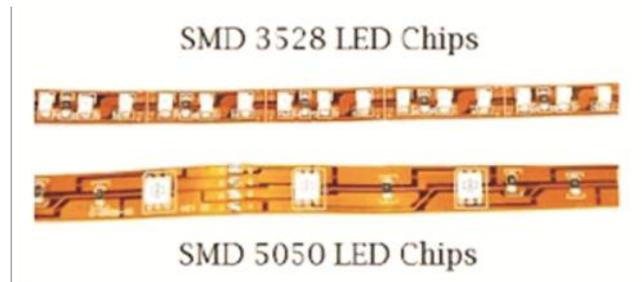
Terakhir, Gunakan persamaan berdasarkan hukum Ohm,  $V = IR$

(tegangan yang digunakan – jatuh tegangan )/ arus forward = nilai resistor

$$( 6 V - 1,85 V ) / 0,02 A = 207,5 \text{ ohms}$$

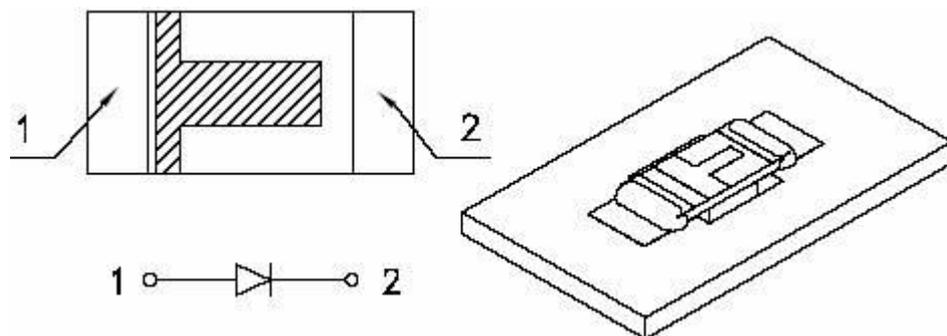
### 2.2.3.3 LED SMD

Pada aplikasi lampu LED Bulb merk philips 4W ini, menggunakan LED jenis SMD. SMD adalah singkatan dari Surface Mount Device yang merupakan metode untuk membuat sirkuit elektronik dimana komponen-komponen tersebut dibentuk atau dicetak langsung ke dalam PCBs (printed circuit boards). Teknologi inilah yang sedang dipakai oleh banyak pembuat lampu LED sekarang ini karena dinilai lebih menghemat energi, ramah lingkungan, tahan lebih lama dan lebih terang dari segi pencahayaan.



Gambar 2.4. Contoh chip LED SMD

Pada dasarnya prinsip kerja dari LED SMD ini masih sama dengan LED biasa, namun untuk LED tipe SMD ini memiliki bentuk yang lebih kecil, nyala yang lebih terang daripada LED biasa. Cara yang terbaik untuk mengetahui kutub dari LED jenis SMD ini adalah mengecek pada datasheet.



Gambar 2.5. pemilahan kutub LED SMD

Banyak varian yang telah diproduksi dari jenis LED SMD ini, diantaranya adalah jenis SMD3528, SMD 5050, SMD5630. Perbedaan hanya terletak pada besarnya di mana SMD3528 ukurannya adalah 35mm x 28mm, sedangkan SMD5050 ukurannya 50mm x 50mm, yang mana akan mempengaruhi voltase, watt, serta cahaya yang dihasilkan.

SMD LED mengeluarkan panas yang sangat sedikit. SMD LED memberikan kecerahan tinggi namun memiliki konsumsi daya yang rendah dibandingkan dari tabung lampu LED biasa. Berikut adalah keunggulan SMD dibanding jenis LED lain :

- Ukuran kecil. Memiliki chip dengan ukuran kecil dan sangat ringan
- Konsumsi daya rendah. Pada umumnya tegangan yang diperlukan tiap LED adalah 2-3,6 V, dengan arus sebesar 0,02 A – 0,03 A. Merupakan sumber cahaya yang membutuhkan tegangan paling rendah saat ini, hanya 1/8 dibanding lampu pijar.
- Life span panjang. Dalam kondisi normal, rentang penggunaan SMD LED dapat mencapai 80.000 jam.
- Lebih terang. Terutama jika menggunakan SMD versi 3528 dan 5050, merupakan SMD dengan tingkat kecerahan tertinggi. Dapat mencapai 5.5 lumen/ 1800 MCD (merupakan satuan cahaya, mengukur seberapa terang sebuah sumber cahaya).

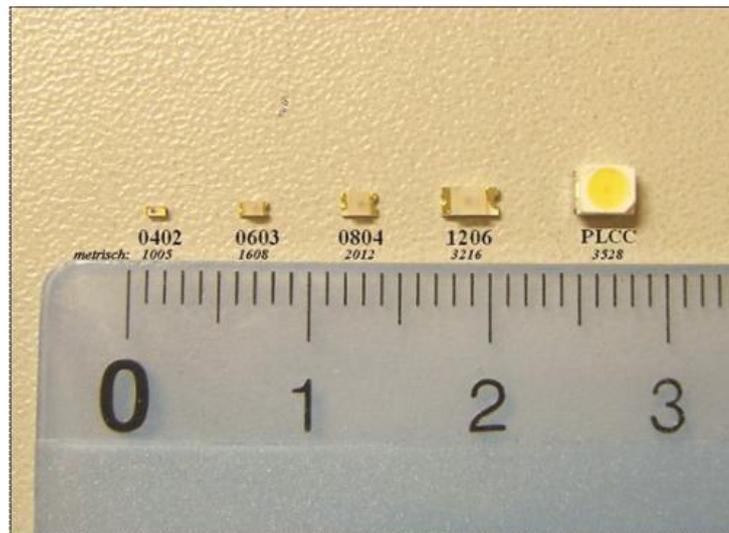
Contoh spesifikasi dari LED SMD diatas adalah sebagai berikut:

#### SMD 3528

- Berisi 1 chip pemancar cahaya
- Ukuran chip : 35 x 28 mm
- Daya: 0.08W/ biji

#### SMD 5050

- Berisi 3 chip pemancar cahaya
- Ukuran chip: 50 x 50 mm
- Daya: 0.24W/ biji



Gambar 2.6. Ukuran LED SMD

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa SMD 5050 3 kali lebih terang dari SMD 3528. Masih ada banyak seri SMD lain, yang membedakan adalah ukuran dan daya.

#### **2.2.3.4 Keunggulan dan Kekurangan Lampu LED**

Beberapa Keuntungan yang didapat apabila menggunakan lampu Led ketimbang lampu nion / pijar :

- a) Mengurangi tagihan listrik, karena lampu LED lebih hemat energi hingga 80% dibandingkan lampu pijar atau halogen biasa.
- b) Led menghasilkan panas lebih sedikit. Dengan begitu selain hemat konsumsi listrik dari lampu juga hemat untuk konsumsi listrik pendingin.
- c) Panas yang dihasilkan lampu yang sering kita gunakan selain tidak nyaman untuk mata juga bisa merubah warna dekorasi rumah. Apabila menggunakan Lampu Led hal tersebut bisa dihindari karena kualitas dari pencahayaan lampu dan manajemen panas LED lebih baik.
- d) Lampu LED bebas dari bahaya merkuri jadi sangat aman digunakan dimana saja, serta ramah lingkungan.
- e) Lampu LED jauh lebih tahan lama, 60 kali dari lampu pijar dan 10 kali dari lampu nion. Rata-rata lampu LED hidup selama 25.000 jam
- f) Lampu LED memiliki desain yang elegan, bahkan bisa memperindah interior di ruangan.
- g) Tidak memancarkan radiasi UV
- h) Walaupun harga Lampu LED sangat mahal dibandingkan lampu lainnya, bila kita memperhatikan umur dari lampu LED, maka dapat kita simpulkan bahwa dengan menggunakan lampu LED lebih hemat dan efisien.

Namun masih ada kekurangan yang ada pada lampu LED Bulb diatas. Karena hingga pada saat ini banyak masyarakat yang belum dapat mengaplikasikan lampu LED Bulb di atas karena memang harga satu lampu LED masih tergolong mahal untuk masyarakat menengah kebawah.

### 2.2.2 Faktor Daya

Istilah *faktor daya* atau *power factor* (PF) atau *cos phi* merupakan istilah yang sering sekali dipakai di bidang-bidang yang berkaitan dengan pembangkitan dan penyaluran energi listrik. Faktor daya merupakan istilah penting, tidak hanya bagi penyedia layanan listrik, namun juga bagi konsumen listrik terutama konsumen level industri.

#### Faktor daya

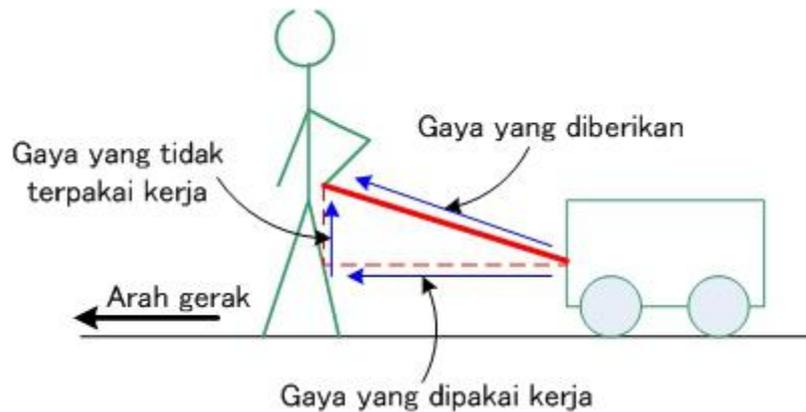
Pada listrik, daya bisa diperoleh dari perkalian antara tegangan dan arus yang mengalir. Pada kasus sistem AC dimana tegangan dan arus berbentuk sinusoidal, perkalian antara keduanya akan menghasilkan **daya tampak** (*apparent power*), satuan *volt-ampere* (VA)) yang memiliki dua buah bagian.

Bagian pertama adalah *daya yang dimanfaatkan* oleh konsumen, bisa menjadi gerakan pada motor, bisa menjadi panas pada elemen pemanas, dsb; *daya yang dimanfaatkan* ini sering disebut sebagai **daya aktif** (*real power*) memiliki satuan watt (W) yang mengalir dari sisi sumber ke sisi beban bernilai rata-rata tidak nol.

Bagian kedua adalah *daya yang tidak termanfaatkan* oleh konsumen, namun hanya ada di jaringan, daya ini sering disebut dengan **daya reaktif** (*reactive power*) memiliki satuan *volt-ampere-reactive* (VAR) bernilai rata-rata nol. Beban bersifat resistif hanya mengonsumsi daya aktif; beban bersifat induktif hanya mengonsumsi daya reaktif; dan beban bersifat kapasitif hanya memberikan daya reaktif.

Untuk memahami istilah “daya termanfaatkan” dan “daya tidak termanfaatkan”, analogi ditunjukkan pada Gambar 2. Pada analogi tersebut, orang menarik kereta ke arah kiri dengan memberikan gaya yang memiliki sudut terhadap bidang datar, dengan asumsi kereta hanya bisa bergerak ke arah kiri saja tetapi tidak bisa ke arah lainnya.

Gaya yang diberikan dapat dipecah menjadi dua bagian gaya yang saling tegak lurus, karena kereta berjalan ke kiri maka gaya yang “bermanfaat” pada kasus ini hanyalah bagian gaya yang mendatar sedangkan bagian gaya yang tegak lurus “tidak bermanfaat”. Dengan kata lain, tidak semua gaya yang diberikan oleh si orang terpakai untuk menggerakkan kereta ke arah kiri, ada sebagian gaya yang diberikannya namun tidak bermanfaat (untuk menggerakkan ke arah kiri). Apabila dia menurunkan tangannya hingga tali mendatar maka semua gaya yang dia berikan akan termanfaatkan untuk menggerakkan kereta ke arah kiri.

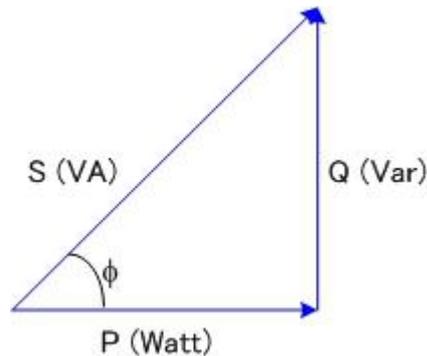


Gambar 2.7. Analogi: Usaha untuk menggerakkan kereta ke arah kiri.

Daya tampak yang diberikan oleh sumber tidak semuanya bisa dimanfaatkan oleh konsumen sebagai daya aktif, dengan kata lain terdapat porsi daya reaktif yang merupakan bagian yang tidak memberikan manfaat langsung bagi konsumen. *Rasio besarnya daya aktif yang bisa kita manfaatkan terhadap daya tampak yang dihasilkan sumber* inilah yang disebut sebagai *faktor daya*.

Ilustrasi segitiga daya pada Gambar 3 memberikan gambaran yang lebih jelas. Daya tampak ( $S$ ) terdiri dari daya aktif ( $P$ ) dan daya reaktif ( $Q$ ). Antara  $S$  dan  $P$  dipisahkan oleh sudut  $\phi$ , yang merupakan sudut yang sama dengan sudut  $\phi$  antara tegangan dan arus yang telah disebutkan di awal. Rasio antara  $P$  dengan  $S$  tidak lain adalah nilai cosinus dari sudut  $\phi$ . Apabila kita berusaha untuk membuat sudut  $\phi$  semakin kecil maka  $S$  akan semakin mendekati ke  $P$  artinya besarnya  $P$  akan mendekati besarnya  $S$ . Pada kasus ekstrim dimana  $\phi = 0^\circ$ ,  $\cos\phi = 1$ ,  $S = P$  artinya semua daya tampak yang diberikan sumber dapat kita manfaatkan sebagai daya aktif, sebaliknya  $\phi = 90^\circ$ ,  $\cos\phi = 0$   $S = Q$  artinya semua daya tampak yang diberikan sumber tidak dapat kita manfaatkan dan menjadi daya reaktif di jaringan saja.

$$\text{Faktordaya} = \cos\phi = \frac{P(W)}{S(VA)}$$



Gambar 2.8. Segitiga daya

Faktor daya bisa dikatakan sebagai besaran yang menunjukkan seberapa efisien jaringan yang kita miliki dalam menyalurkan daya yang bisa kita manfaatkan. Faktor daya dibatasi dari 0 hingga 1, semakin tinggi faktor daya (mendekati 1) artinya semakin banyak daya tampak yang diberikan sumber bisa kita manfaatkan, sebaliknya semakin rendah faktor daya (mendekati 0) maka semakin sedikit daya yang bisa kita manfaatkan dari sejumlah daya tampak yang sama.

Di sisi lain, faktor daya juga menunjukkan “besar pemanfaatan” dari peralatan listrik di jaringan terhadap investasi yang dibayarkan. Seperti kita tahu, semua peralatan listrik memiliki kapasitas maksimum penyaluran arus, apabila faktor daya rendah artinya walaupun arus yang mengalir di jaringan sudah maksimum namun kenyataan hanya porsi kecil saja yang menjadi sesuatu yang bermanfaat bagi pemilik jaringan.

Baik penyedia layanan maupun konsumen berupaya untuk membuat jaringannya memiliki faktor daya yang bagus (mendekati 1). Bagi penyedia

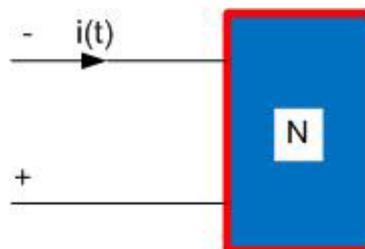
layanan, jaringan dengan faktor daya yang jelek mengakibatkan dia harus menghasilkan daya yang lebih besar untuk memenuhi daya aktif yang diminta oleh para konsumen.

Apabila konsumen didominasi oleh konsumen jenis residensial maka mereka hanya membayar sejumlah daya aktif yang terpakai saja, artinya penyedia layanan harus menanggung sendiri biaya yang hanya menjadi daya reaktif tanpa mendapatkan kompensasi uang dari konsumen. Sebaliknya bagi konsumen skala besar atau industri, faktor daya yang baik menjadi keharusan karena beberapa penyedia layanan kadang membebankan pemakaian daya aktif dan daya reaktif (atau memberikan denda faktor daya) tentu saja konsumen tidak akan mau membayar mahal untuk daya yang “tidak termanfaatkan” bagi mereka.

### Daya kompleks

Dimulai dari beberapa pengulangan mengenai teori dasar rangkaian atau uraian, dapat dilihat pada gambar 2, daya sesaat dipergunakan untuk melayani jaringan N satu gerbang yang dinyatakan oleh:

$$p(t) = v(t)i(t)$$



Gambar daya dalam untai satu gerbang

Diandaikan bahwa tegangan dan arus, keduanya dinyatakan oleh gerbang sinusoidal dengan kecepatan sudut  $\omega$ , dituliskan dengan pernyataan berikut:

$$V(t) = V_{max} \cos(\omega t + \theta_v)$$

$$I(t) = I_{max} \cos(\omega t + \theta_i)$$

$V_{max}$  = besaran nyata dari amplitudo tegangan

$I_{max}$  = besaran nyata dari amplitudo arus

$\theta_v$  = sudut fasa dari tegangan

$\theta_i$  = sudut fasa dari arus

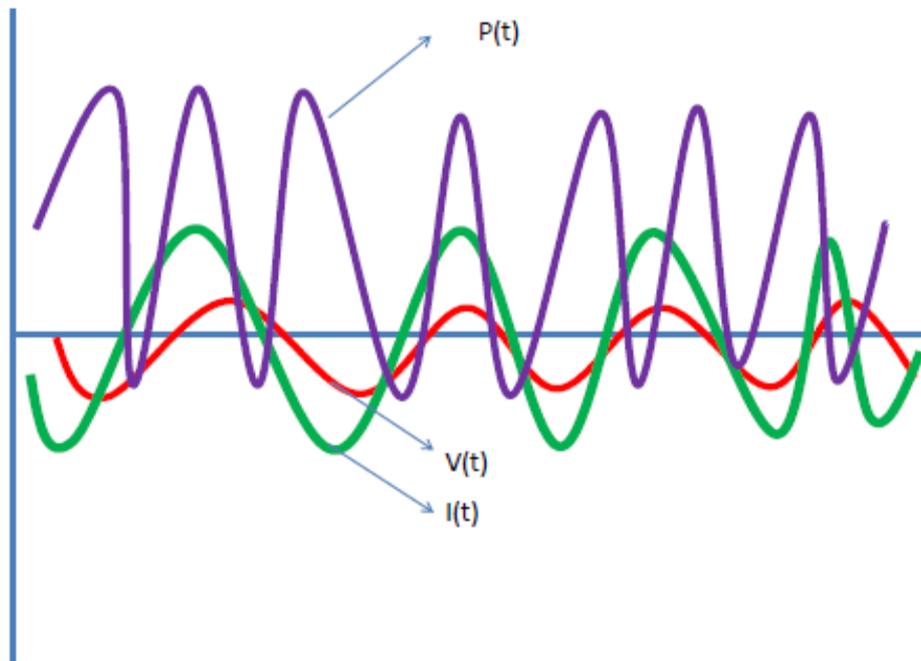
Berdasarkan persamaan diatas diperoleh persamaan daya berikut:

$$P(t) = V_{max} I_{max} \cos(\omega t + \theta_v) \cos(\omega t + \theta_i)$$

$$= \frac{1}{2} V_{max} I_{max} [\cos(\theta_v + \theta_i) + \cos(2\omega t + \theta_v + \theta_i)]$$

Dari persamaan diatas dapat dinyatakan daya  $P(t)$  terdiri dari dua bagian, yang satu terdiri dari komponen yang konstan dan yang kedua terdiri dari komponen sinusoidal dengan frekuensi  $2\omega$ .

Bentuk gelombang  $P(t)$ ,  $V(t)$ , dan  $I(t)$  dapat dilihat pada gambar dibawah



Kemudian bila didefinisikan sudut faktor daya sebagai berikut:

$$\phi \approx \theta_v - \theta_i$$

Dan P daya rata-rata satu periode  $T=2\pi/\omega$  dari persamaan diatas sehingga

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T P(t) dt = 1/2 V_{max} I_{max} \cos \phi$$

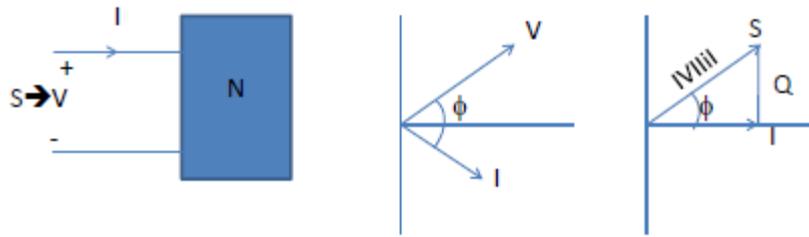
diperoleh

$$S = VI^*$$

$$Q = \text{Im } VI^*$$

$$S = VI^* = |V||I|e^{j\phi} = P + jQ$$

Persamaan diatas, S dinyatakan bentuk fasor dalam bentuk segitiga dan diperlihatkan bahwa sudut S dinyatakan oleh  $\phi$ .

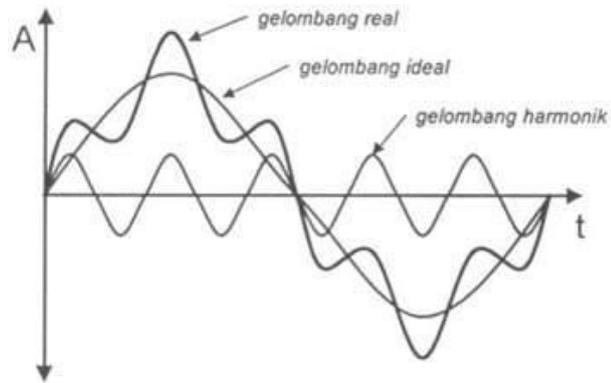


Gambar daya kompleks dalam jaringan satu gerbang N

### 2.2.3 Harmonisa

Harmonisa adalah distorsi periodik dari gelombang sinus tegangan, arus atau daya dengan bentuk gelombang yang frekuensinya merupakan kelipatan di luar bilangan satu terhadap frekuensi fundamental (frekuensi 50 Hz atau 60 Hz). Nilai frekuensi dari gelombang harmonisa yang terbentuk merupakan hasil kali antara frekuensi fundamental dengan bilangan harmonisanya ( $f$ ,  $2f$ ,  $3f$ , dst).

Bentuk gelombang yang terdistorsi merupakan penjumlahan dari gelombang fundamental dan gelombang harmonisa ( $h_1$ ,  $h_2$ , dan seterusnya) pada frekuensi kelipatannya. Semakin banyak gelombang harmonisa yang diikutsertakan pada gelombang fundamentalnya, maka gelombang akan semakin mendekati gelombang persegi atau gelombang akan berbentuk non sinusoidal.



Gambar 2.9. Gambaran gelombang harmonisa

Idealnya dalam sistem tenaga listrik gelombang yang disalurkan bersifat sinus murni. Namun kenyataannya dalam dunia kelistrikan selalu terdapat distorsi yang dapat mengganggu frekuensi fundamental. Penggunaan beban-beban non linear menyebabkan gelombang sinusoidal terdistorsi.

### 2.2.3.1 THD (Total Harmonic Distortion)

*Total Harmonic Distortion (THD)* merupakan hasil akumulasi keseluruhan komponen harmonisa yang terjadi pada komponen fundamental, berikut perhitungannya:

$$THD = \frac{\{\sum_2^k U_n\}^{\frac{1}{2}}}{U_1} \times 100\% \quad (1)$$

dimana:

$U_n$  : komponen harmonisa

$U_1$  : komponen fundamental

$k$  : komponen harmonisa maksimum yang diamati

Pada tabel 1 disajikan standar dari IEEE Std. 519-1992 dalam menentukan limit distorsi harmonisa arus yang ada pada tabel 2.

**Tabel 2.1.** Limit distorsi tegangan berdasarkan IEEE Std. 519-1992  
 Sumber: Thomas M. Blooming, P.E. th 2005

Tegangan Bus pada PCC	Distorsi	THD (%)
	Tegangan Individual (%)	
69 kV dan ke bawah	3,0	5,0
69,001 kV sampai 161 kV	1,5	2,5
161,001 kV dan ke atas	1,0	1,5

**Tabel 2.2.** Limit distorsi arus berdasarkan IEEE Std. 519-1992  
 Sumber: Thomas M. Blooming, P.E. th 2005

Distorsi Harmonisa Arus Maksimum dalam persen terhadap $I_L$						
$I_{SC}/I_L$	Orde Harmonisa Individual (Harmonisa Orde Ganjil)					
	< 11	11 < h < 17	17 < h < 23	23 < h < 35	35 < h	TDD
< 20	4	2	1,5	0,6	0,3	5
20 – 50	7	3,5	2,5	1	0,5	8
50 – 100	10	4,5	4	1,5	0,7	12
100 – 1000	12	5,5	5	2	1	15
>1000	15	7	6	2,5	1,4	20
Harmonisa orde genap dibatasi 25% dari Harmonisa orde ganjil diatas						
Tidak diperbolehkan distorsi arus yang dihasilkan sistem DC, contohnya konverter setengah gelombang						
Semua peralatan pembangkit listrik terbatas pada nilai-nilai distorsi arus terlepas dari $I_{SC}/I_L$ aktual						

Dimana:

$I_{SC}$  = Arus hubung singkat maksimum pada PCC

$I_L$  = Arus beban maksimum (komponen frekuensi fundamental) pada PCC

### Teori FFT untuk perhitungan THD

Jumlah dari periode dasar, seharusnya N adalah bilangan bulat. jumlah maksimal sampel yg diperbolehkan adalah 1024. Keluaran fft menghasilkan titik puncak amplitudo dan sudut fase (dalam derajat) dari masukan dasar komponen. contohnya:

1. jika masukannya  $100\sin(\omega\tau)$ , keluarannya: amplitudo= 100; sudut= 0.
2. jika masukannya  $100\sin(\omega\tau+\pi/6)$ , keluarannya: amplitudo= 100; sudut= 30

#### 2.2.3.2 Penyebab Harmonisa

Adapun sumber-sumber harmonisa yang utama adalah

##### 1. Penyearah

Pada saat ini, penyearah adalah sumber utama harmonisa. Dari sisi pengendalian, secara garis besar ada tiga jenis penyearah, yaitu :

- a. penyearah tak terkendali (dengan dioda)
- b. penyearah terkendali (dengan thyristor)
- c. penyearah PWM (dengan transistor)

Semua peralatan elektronik, yang meliputi televisi, sistem AV, printer, scanner, UPS dan *battery charger*, komputer, monitor, *oven microwave*, lampu fluorescent dengan ballast elektronik, dll menggunakan penyearah jenis ini pada seksi *front-end*-nya. Penyearah tak terkendali tiga fasa sangat banyak dijumpai

dalam sektor industri. Penyearah ini sangat lazim dijumpai pada seksi front-end pengendali putaran motor-motor asinkron tiga fasa dalam semua sektor industri.

## 2. Lampu Hemat Energi (LHE)

Pada saat ini, berkaitan dengan semakin mahalnya biaya energi, PLN dan produsen lampu rajin mempopulerkan apa yang disebut dengan “lampu hemat energi” (LHE). Sebenarnya, LHE adalah lampu fluorescent yang dioperasikan pada frekuensi tinggi (~10-200kHz). Frekuensi tinggi ini didapat dari *inverter* kecil dalam ballast elektronik. *Inverter* ini disuplai dari suatu penyearah yang tidak lain adalah penyearah dari jenis pertama sebagaimana telah disinggung di atas.

Pengaruh yang ditimbulkan oleh Harmonisa (Sulistiyo- 2003)

- Saluran transmisi

Harmonisa arus pada konduktor akan menyebabkan bertambahnya rugi-rugi saluran sebagai akibat adanya pemanasan tambahan.

- Transformator

Efek harmonisa pada transformator adalah harmonisa arus menyebabkan meningkatnya rugi-rugi tembaga. Selain itu harmonisa juga dapat menyebabkan pemanasan lebih pada isolasi, dan akan mempersingkat umur penggunaan isolasi.

- Bank Kapasitor (*Capasitor Banks*)

Distorsi tegangan akan menyebabkan rugi daya tambahan pada kapasitor. Pada frekuensi yang lebih tinggi, besar reaktansi dari kapasitor akan menurun sehingga arus harmonisa yang mengalir ke kapasitor juga semakin besar.

- Peralatan konsumen

Peralatan elektronik pada konsumen juga dapat terpengaruh oleh harmonisa.

- Televisi: Harmonisa akan mempengaruhi nilai puncak tegangan yang dapat berdampak perubahan pada ukuran gambar TV dan kecerahan TV.
- Komputer: dapat mengganggu sistem pemrosesan data karena tegangan supply terdistorsi.
- Terjadi kesalahan pada pembacaan di alat pengukuran, contohnya adalah KWH meter.

### **2.2.3.3 Filter Harmonisa**

Berdasarkan cara kerjanya, filter dibedakan menjadi dua yaitu filter pasif dan filter aktif. Dari segi komponen, filter pasif menggunakan komponen R,L,C lalu filter aktif menggunakan komponen elektronika daya.

#### *a. Filter Pasif*

Dalam sistem tenaga, filter yang paling sering digunakan adalah filter pasif. Disamping harganya yang lebih terjangkau, filter pasif juga dapat menekan harmonisa di orde tertentu sesuai dengan sumber harmonisa. Jenis filter pasif yang akan digunakan adalah *Single-Tuned*.

#### *b. Filter Aktif*

Filter aktif disusun dari peralatan berbasis elektronika daya seperti inverter atau *switching*. Banyak metode yang telah dikembangkan oleh para pakar elektronika daya untuk