

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Berikut ini merupakan beberapa referensi dari penelitian analisis Audit Energi pada Gedung Layanan Kesehatan, yang menjadi sumber dalam Tugas Akhir ini ada beberapa referensi yang digunakan yaitu :

Djodi Antono, Adi Wasono, Lukas Joko Dwi Atmanto (2015) melakukan penelitian terhadap harmonik arus dan tegangan pada jaringan listrik akibat pembebanan Air Conditioning (AC) inverter tiga fasa. Hasil yang diperoleh dari pengukuran dengan pebebanan AC inverter tiga fasa 6HP jenis VRV. diperoleh nilai THD arus sebesar 75,5 % sedangkan THD tegangan 4,7%.

Azhar Zahar Makmur (2012) melakukan penelitian terhadap Pembebanan Genset Di Kampus UMY. Hasil yang diperoleh yaitu wilayah B dengan beban puncak 473,29 KVA dan kapasitas genset sebesar 700 KVA mampu mencukupi apabila terjadi *off grid*. Wilayah Pasca dengan beban puncak 284,688 KVA dan kapasitas genset sebesar 680 KVA maka mampu mencukupi apabila terjadi *off grid*. Wilayah utara dengan beban puncak 595,531 KVA dan kapasitas genset 500 KVA maka tidak mampu untuk mencukupi apabila terjadi *off grid* pada saat beban puncak.

Syauqil Al Ghifari (2011) melakukan penelitian Audit energi listrik Di Rumah Sakit. Berdasarkan hasil pengukuran diketahui bahwa THD tegangan pada fasa R,S, dan T masih dalam kondisi bagus yaitu dibawah 5%. THD arus pada panel MDP masih dalam keadaan baik karena dibawah standar IEEE No. 519-1992 yaitu sebesar 15%.

2.2 Audit Kualitas Daya Listrik

2.2.1 Audit Energi

Sebelum masuk kedalam audit kualitas energi listrik alangkah lebih baiknya apabila mengetahui apa itu audit energi terlebih dahulu. Adapula audit energi tidak dapat dilepaskan dengan konversi energi, audit energi yaitu mekanisme analisa peluang untuk mengefisiensikan dan mengefektifkan pengguna energi dari hulu ke hilir serta bertujuan untuk mengoptimalkan pemakaian energi serta menjadi rujukan untuk melakukan investasi energi. Audit energi juga diartikan proses evaluasi pemanfaatan energi dan identifikasi peluang penghematan energi serta rekomendasi peningkatan efisiensi pada pengguna energi dan pengguna sumber energi dalam rangka konservasi energi. (SNI 6196:2011).

Sedangkan konversi energi adalah kegiatan pemanfaatan energi secara efisien dan rasional tanpa mengurangi penggunaan energi yang memang benar-benar diperlukan untuk menunjang pembangunan (Keppres No.43 tahun 1991). Ada juga arti konversi energi yang lain yaitu adalah upaya sistematis terencana, dan terpadu guna melestarikan sumber energi dalam negeri serta meningkatkan efisiensi pemanfaatannya (UU energi 2007). Sehingga efisiensi energi adalah cara membandingkan antara energi yang terpasok (input) dengan energi yang dimanfaatkan (output).

Dari kedua hal tersebut hubungan antara keduanya audit energi adalah proses atau cara untuk melakukan konversi energi agar penggunaannya lebih efektif dan efisien oleh pengguna energi sehingga hasil tersebut dapat dijadikan rujukan untuk investasi. Sehingga dalam hal ini pemerintah mengeluarkan kebijakan yang tertuang dalam Undang-Undang No. 30 tahun 2007 yang berkaitan dengan Energi. Ditambah dengan Intruksi Presiden No. 2 Tahun 2008 yang memberikan intruksi kepada instansi pemerintah, BUMN, BUMD, Pemerintah Daerah, masyarakat dan perusahaan swasta untuk melaksanakan program dan kegiatan penghematan energi dan air.

Audit energi mempunyai langkah-langkah yang harus ditempuh, setiap langkah harus dilewati karena mempunyai tingkatan yang berbeda yaitu:

1. *Walk-Through Audit* (Pengamatan Singkat)

Tahap ini adalah langkah awal untuk melakukan audit energi yang meliputi:

- Pengumpulan data yang bersifat secara umum, pengamatan secara singkat secara virtual dan wawancara.
- Menganalisa dan mengevaluasi data yang mendasar dengan sistem pemanfaatan energi, intensitas pemakaian energi dan kecenderungannya, dan standar intensitas energi rata-rata terhadap objek sejenis dan menggunakan peralatan atau teknologi serupa.

Tujuan dari *Walk-Through Audit* (Pengamatan singkat) ini berfungsi atau bertujuan untuk memperoleh gambaran umum pengolahan energi terlebih dahulu.

2. *Preliminary Audit* (Audit Energi Awal)

Audit Energi Awal atau jika disingkat adalah AEA merupakan kelanjutan atau level kedua dari aktivitas audit energi. Aktivitas ini bermaksud untuk mengetahui besarnya penggunaan potensi dalam penghematan energi. Kegiatan ini lebih lengkap dibanding *Walk-Through Audit* atau pengamatan singkat. Informasi dan data diperoleh melalui hasil pengukuran sesaat. *Preliminary Audit* dibagi menjadi dua bagian yaitu:

- Survey manajemen energi

Pemahaman manajemen yang sedang berlangsung dan kriteria putusan investasi yang mempengaruhi proyek konservasi dilakukan oleh tim surveyor atau tim auditor.

- Survey energi (teknis)

Pada bagian ini *Preliminary Audit* atau AEA mengulas tentang kondisi dan operasi alat-alat yang dipakai dalam pemakaian energi yang sekiranya penting serta instrumentasi yang ada kaitannya dengan penghematan energi. Tim auditor dan tim surveyor melakukan teknis AEA dengan menggunakan sedikit mungkin alat-alat *portable*.

Premilinary Audit pada banyak kasus berguna mengenali sumber-sumber pemborosan energi, namun dalam jangka waktu yang pendek adapun untuk menghemat atau mengefisiensi hal tersebut hanya perlu mengeluarkan biaya yang rendah karena terkait dengan teknis.

3. Audit Energi Terinci

Audit Energi Terinci (AET) adalah kegiatan audit energi yang paling mendalam analisisnya, yang berdasarkan lingkup yang lebih luas dan hasil data dan informasi yang lebih rinci. AET pada umumnya berlangsung cukup lama karena analisa harus mendalam dan lebih spesifik dalam mengkaji. Sehingga hasil yang diperoleh akan maksimal dan rekomendasi juga dalam waktu jangka yang panjang.

2.3 Analisa Tekno Ekonomi

Seorang insinyur ketika membuat keputusan dalam permasalahan yang dialami terutama di bidang *engineer* pasti memerlukan pengetahuan, salah satu pengetahuan yang diperoleh di bidang teknik seorang insinyur untuk mengambil keputusan adalah tekno ekonomi dalam hal pemilihan pembangunan atau perencanaan, sehingga keputusan yang diambil tepat dan terukur.

Untuk mengambil keputusan dalam tekno ekonomi diperlukan sebuah analisa yang mendalam karena terkait dengan masa pembangunan yang akan dilakukan dan biasanya analisa tersebut memperhitungkan dampak yang akan terjadi di masa mendatang karena dalam analisa tekno ekonomi hal yang harus didapat adalah *Benefit* yang diterima setelah menjalankan analisa tersebut, sehingga penting mengetahui:

1. Prediksi kondisi masa yang akan datang
2. Perkembangan teknologi
3. Sinergi antara proyek-proyek yang didanai

Kegiatan seorang insinyur dalam menjalankan pekerjaannya pasti memerlukan biaya dengan nilai yang cukup besar sehingga perlu diadakannya investasi yang tertuju untuk masa mendatang agar nilai yang cukup besar tersebut dapat digunakan sefektif dan efisien sesuai kebutuhan yang dianggap perlu.

2.3.1 Pengerian Investasi Proyek

Investasi adalah penanaman modal untuk satu atau dua aktiva yang dimiliki dan biasanya berjangka waktu yang lama dengan harapan mendapatkan keuntungan di masa-masa yang akan datang. Dewasa ini banyak negara-negara

yang melakukan kebijakan yang bertujuan untuk meningkatkan investasi baik domestik ataupun modal asing.

Suatu rencana investasi perlu dianalisis secara seksama. Karena bersangkutan dengan dana dan akan mempengaruhi perusahaan dalam jangka panjang untuk masa depan perusahaan dan pihak terkait. Pentingnya analisis sebelum melakukan investasi (besar maupun kecil) pada dasarnya digunakan untuk melihat apakah proyek investasi tersebut layak atau tidak untuk dijalankan dan sebagai landasan dalam mengambil langkah keputusan. Oleh karena itu dilakukan perencanaan investasi yang lebih teliti agar tidak terlanjur menanamkan investasi pada proyek yang tidak menguntungkan.

2.3.2 Studi Kelayakan Investasi Proyek

Studi kelayakan proyek investasi dapat diartikan sebagai suatu kegiatan yang mempelajari secara mendalam tentang suatu usaha atau bisnis yang akan dijalankan, dalam rangka menentukan layak atau tidaknya usaha tersebut dijalankan (Chan dan Sharp-Bette, 2007, p.6). Dalam investasi suatu proyek perlu juga menentukan sasaran sesuai dengan urutan yang logis untuk memfokuskan suatu rencana bisnis, hal tersebutlah yang menjadi manfaat untuk melakukan studi kelayakan suatu proyek. Selain itu, manfaat dari studi kelayakan yaitu untuk menghindarkan suatu perusahaan dari penanaman modal yang tidak ekonomis.

Dilakukannya studi kelayakan juga memerlukan biaya. Studi kelayakan baiknya dilakukan terlebih dahulu sebelum mendirikan suatu usaha karena hal tersebut menjadi landasan atau pijakan untuk menentukan suatu proyek yang akan dijalankan, bila dibandingkan dengan besarnya resiko kegagalan dan kerugian dari suatu proyek investasi dalam jumlah besar, agar biaya yang dikeluarkan dapat diminimalkan dan relatif menjadi kecil.

2.3.3 Kriteria Kelayakan Investasi

Dalam analisis proyek ada beberapa kriteria yang umumnya sering dipakai untuk menentukan diterima atau tidaknya suatu usulan proyek, atau untuk menentukan pilihan antara berbagai macam usulan proyek. Dalam semua

kriteria itu yaitu, baik manfaat (*Benefit*) ataupun biaya dinyatakan dalam nilai sekarang (*Present Value*). Beberapa kriteria tersebut adalah diantaranya :

1. *Net Cash Flow*

Net Cash Flow atau aliran kas pada saat ini dapat diartikan lebih rinci berdasarkan PSAK No.2 (2002:5) “Aliran uang adalah arus masuk dan arus keluar uang atau setara uang”. Dapat diartikan pula *Net Cash Flow* adalah selisih antara aliran uang masuk/*Cash Inflow* (Q_t) dikurang dengan aliran uang keluar/*Cash Outflow* (C_t) sehingga secara matematis dapat di tulis:

$$\text{Net Cash Flow} = Q_t - C_t$$

Dengan:

Q_t : Uang Masuk/*Cash Inflow*

C_t : Uang Keluar/*Cash Outflow*

2. *Net Present Value*

Metode *Net Present Value* (NPV), dikenal juga dengan metode nilai sekarang bersih. Dasar metode ini adalah merupakan selisih antara nilai sekarang penerimaan (*benefit*) dan nilai sekarang (*cost*). “Perlu ditetapkan dahulu tingkat suku bunga (*discount rate*) untuk menentukan nilai sekarang penerimaan dan pengeluaran” (Kadariah, 1988). Dalam kaidah *Present Worth Value* yang berhubungan dengan *interest* (i) yang dapat berubah-ubah sesuai suku bunga yang ditetapkan oleh pihak yang dianggap layak untuk mengeluarkan aturan.

Adapun syarat suatu proyek investasi dapat diterima adalah apabila aliran penerimaan kas secara bersih di masa selanjutnya sesuai studi dan analisa nilai lebih besar dari nilai investasi yang dilakukan saat ini, maka proyek tersebut dianggap menguntungkan maka proyek dapat diterima. Sedangkan apabila lebih kecil (NPV

negative) dari nilai saat ini, maka proyek dapat tidak diterima karena dinilai tidak menguntungkan. Dari hal tersebut maka bila $NPV > 0$ maka proyek diterima. Sebaliknya jika nilai $NPV < 0$ maka proyek tidak layak. Pada *Net Present Value* dapat disederhanakan dengan hasil kali antara *Net Cash Flow* dengan *Present Worth Value* secara matematis dapat dituliskan rumus:

$$Net\ Present\ Value = (Q_t - C_t) \times (1 + i)^{-t}$$

atau

$$Net\ Present\ Value = \sum_t (Q_t - C_t) \times (1 + i)^{-t}$$

Dengan:

$$Q_t - C_t = Net\ Cash\ Flow$$

$$(1 + i)^{-t} = Present\ Worth\ Value$$

$$i = Interest$$

3. *Payback Periode*

Berdasarkan teori “Periode nilai kembali (*payback period*) didefinisikan sebagai jumlah periode (waktu) yang dibutuhkan untuk mengembalikan dana investasi yang ditanamkan” (Verbaan, 2001), atau biasa disebut dengan “balik modal” berapa lama, dengan begitu *Payback Periode* dapat ditulis dengan rumus:

$$Payback\ Periode = \frac{Jumlah\ Investasi}{Laba\ bersih}$$

4. *Internal Rate of Return*

Dalam proses mencari nilai IRR, diperlukannya perkiraan biaya investasi atau estimasi biaya yaitu *cost estimate*, dengan menghitung pengeluaran dan perkiraan keuntungan bersih yang akan diperoleh dari kegiatan investasi tersebut yang disebut sebagai penerimaan. Kedua angka tersebut yaitu biaya investasi dan hasil investasi harus dianalisis.

Karena nilai-nilai tersebut terjadi pada waktu yang tidak sama atau ada perbedaan waktu, sehingga digunakannya konsep *time value of money*, yaitu harus dihitung *present valuenya*.

Biaya investasi yang dikeluarkan diberi tanda minus (*negative*) karena nilai kas berkurang dan hasil investasi yang diterima diberi tanda plus (*positive*) karena nilai kas bertambah, kemudian setelah masing-masing dihitung present valuenya, selanjutnya langkah yang dilakukan adalah mencari *net present*.

Internal Rate of Return (IRR) didefinisikan sebagai “nilai diskonto yang didapat melalui cara coba-coba yang mempersamakan nilai total alias kas pemasukan (keuntungan) saat ini sesudah pajak yang diharapkan, dengan nilai total biaya pembelanjaan modal (modal kerja ataupun modal tetap) saat ini. Untuk lebih mudahnya, IRR adalah nilai diskonto melalui cara coba-coba yang memberikan nilai NPV = 0” (Verbaan, 2001).

Apabila tingkat bunga ini lebih besar dari tingkat bunga relevan (atau tingkat bunga yang disyaratkan), maka nilai investasi dikatakan merugikan. Persamaan untuk menghitung IRR adalah:

$$IRR = \sum_{n=1}^n \frac{An}{(1+r)^n} - \sum_{n=0}^n \frac{In}{(1+r)^n}$$

Dengan:

An = Nilai aliran kas pemasukan sesudah pajak
(keuntungan)

In = Nilai belanja modal (biaya)

r = Nilai IRR setelah mencari dengan coba-coba

n = Periode waktu *n*

Arti IRR apabila mempunyai lebih besar dari biaya marjinal modal perusahaan, maka nilai perusahaan akan bertambah. Normalnya, proyek dengan nilai IRR tertinggi dapat diharapkan untuk paling

meningkatkan perusahaan. Akan tetapi, resiko proyek tetap harus dihitung ketika membuat keputusan akhir.

2.4 Intensitas Konsumsi Energi

Untuk melihat apakah penggunaan energi listrik pada suatu objek dikatakan berlebihan atau tidak dibutuhkan parameter yaitu yang disebut Intensitas Konsumsi Energi atau IKE. Biasanya IKE digunakan untuk mengukur konsumsi energi listrik pada suatu objek berupa bangunan sehingga setelah mengetahui konsumsi energi tersebut dapat dilakukan penghematan. Pada dasarnya IKE adalah hasil bagi antara konsumsi energi total selama periode tertentu (satu tahun) dengan luas bangunan. Sedangkan satuan IKE adalah kWh/m² per tahun.

Menghitung IKE diambil dari data total konsumsi energi dan data luas bangunan. Berikut ini adalah perhitungan IKE :

$$IKE = \frac{Kwh \text{ total (kWh/bulan)}}{Luas \text{ Total (m}^2\text{)}}$$

Menurut hasil penelitian yang dilakukan oleh ASEAN-USAID pada tahun 1987 yang laporannya baru dikeluarkan pada tahun 1992, target besarnya IKE listrik untuk Indonesia adalah sebagai berikut :

IKE untuk perkantoran (komersil) : 240 kWh/m² per tahun

- IKE untuk pusat belanja : 330 kWh/m² per tahun
- IKE untuk hotel / apartemen : 300 kWh/m² per tahun
- IKE untuk rumah sakit : 380 kWh/m² per tahun

Berdasarkan *Pedoman pelaksanaan konservasi energi dan pengawasan dilingkungan Depdiknas (2004)*., diperoleh nilai IKE listrik, sebagai berikut :

- 4,17-7,92 kWh/m²/bln berkriteria sangat efisien.

- 7,92-12,08 kWh/m²/bln berkriteria efisien.
- 12,08-14,58 kWh/m²/bln berkriteria cukup efisien.
- 14,58-19,17 kWh/m²/bln berkriteria agak boros.
- 19,17-23,75 kWh/m²/bln berkriteria boros.
- 23,75-37,5 kWh/m²/bln berkriteria sangat boros.

Dan besarnya target IKE diatas merupakan nilai IKE listrik per satuan luas bangunan gedung yang dikondisikan.

Besarnya IKE hasil perhitungan dibandingkan dengan IKE standar atau target IKE. Apabila hasilnya ternyata sama atau kurang dari target IKE, maka kegiatan audit energi rinci dapat dihentikan atau bila diteruskan dengan harapan dapat diperoleh IKE yang lebih rendah lagi. Namun sebaliknya jika hasilnya lebih besar dari target IKE berarti ada peluang untuk melanjutkan proses audit energi berikutnya guna memperoleh penghematan energi.

2.5 Kualitas Daya Listrik (*Power Quality*)

Dalam dunia kelistrikan yang sangat fundamental dan harus mempunyai standar yang baik juga pokok adalah tentang kualitas daya listrik. Sedangkan kualitas daya listrik sendiri dapat didefinisikan sebagai standar kemampuan yang dapat diberikan oleh daya listrik kepada pengguna agar peralatan yang digunakan sesuai dengan spesifikasi, dan kemampuan tersebut tidak merusak peralatan tersebut. Ada beberapa hal yang menyebabkan penurunan kualitas daya listrik yaitu: petir (*lightning*), *switching* pada beban dengan daya besar, *starting* atau arus mula pada motor, *unbalanced voltage*, *unbalanced load*, harmonisa, faktor daya yang rendah dan *noise* yang menyebabkan *Electromagnetic interference (EMI)* yang terjadi karena dua rangkaian elektrnika yang berdekatan dan mempunyai medan elektromagnetik.

Parameter yang menentukan kualitas daya listrik sebagai berikut: arus, tegangan, frekuensi, *losses* atau rugi-rugi daya, faktor daya, *grounding* atau pentanahan, dan *unbalanced*. Dari parameter-parameter tersebut kualitas daya listrik dikatakan baik apabila arus, tegangan dan frekuensi selalu konstan atau sesuai standar pada suatu titik dan sektor.

Setelah mengetahui permasalahan pada kualitas daya listrik, manfaat memperbaiki kualitas daya listrik adalah:

- a) Mendorong kemajuan teknologi agar semakin baik karena peralatan masa kini yang menggunakan basis mikroprosesor dan sistem kendali yang peka terhadap kualitas daya listrik.
- b) Mengefisienkan biaya yang dikeluarkan untuk membayar tagihan listrik dan mengurangi rugi-rugi atau *losses* yang terjadi pada sistem kelistrikan yang disebabkan oleh kualitas daya listrik.
- c) Merawat peralatan listrik yang digunakan karena buruknya kualitas daya listrik dapat merusak sistem kerja pada peralatan.

Sedangkan parameter-parameter yang digunakan dalam kualitas daya listrik memiliki standar yang telah ditentukan yaitu sebagai berikut:

2.5.1 Arus

Seperti hukum ohm pada umumnya arus listrik dapat dinyatakan “arus listrik adalah perbandingan antara tegangan yang ada pada sistem rangkaian listrik dengan hambatan pada konduktor” arus listrik juga dapat disebut proses perpindahan muatan listrik atau elektron dari satu titik ke titik lain melalui penghantar atau konduktor, terjadinya arus listrik berawal dari tekanan atau beda potensial yang mendorong elektron menuju titik yang berbeda melalui media yang disebut konduktor, elektron tersebut akan mengalir dari atom yang memiliki kelebihan elektron menuju atom yang kekurangan elektron karena elektron senantiasa berpindah. Aliran elektron tersebut yang disebut dengan arus listrik. Arus listrik dilambangkan dengan huruf “I” dengan satuan “Ampere” (A) yaitu “jumlah elektron yang mengalir pada titik tertentu pada tiap satu detik”.

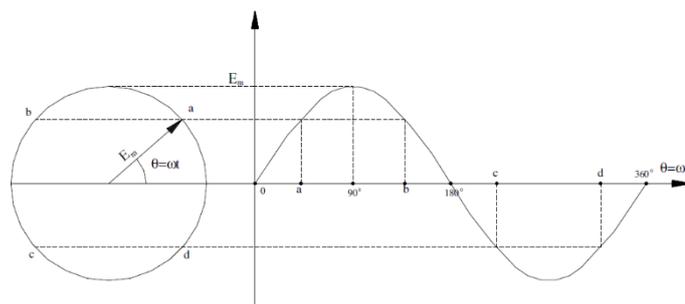
2.5.2 Tegangan

Tegangan listrik atau yang sering disebut dengan beda potensial dapat juga disebut sebagai energi yang menyebabkan terjadinya aliran listrik, beda potensial adalah perbedaan antara dua potensial listrik pada dua titik dalam rangkaian listrik dan dapat dilambangkan “V” dan satuan volt. Tegangan di baik bila memiliki toleransi yang diijinkan oleh PLN sebesar -10 % s/d +5% apabila dalam kondisi yang darurat menurut standar IEEE adalah pada toleransi sebesar -13% s/d +6%.

2.5.3 Frekuensi

Frekuensi secara umum dapat diartikan sebagai jumlah kemunculan suatu kejadian yang berulang pada suatu jangka waktu tertentu. Frekuensi didefinisikan sebagai *jumlah periode gelombang yang terjadi selama 1 detik*. Mengacu pada SI, satuan frekuensi adalah Hertz (Hz) yaitu jumlah siklus per detik. Nama ini diberikan sebagai penghargaan kepada Heinrich R. Hertz atas kontribusinya pada bidang gelombang elektromagnetik. Sehingga mempunyai rumus:

$$F = \frac{1}{T}$$



Gambar 2. 1 Gelombang Sinus

Frekuensi tegangan listrik yang berlaku di Indonesia adalah 50 Hz, karena setiap negara mempunyai frekuensi tegangan listrik yang berbeda-beda. Di Indonesia aturan frekuensi tegangan listrik tercantum pada Permen ESDM No.37 Tahun 2008 yang menyebutkan bahwa frekuensi nominal sebesar 50 Hz, diusahakan untuk tidak lebih rendah dari 49.5 Hz atau lebih tinggi dari 50.5 Hz dan dalam keadaan darurat frekuensi diizinkan turun hingga 47.5 Hz atau naik hingga 52 Hz. Tapi harus diingat jika dalam keadaan darurat (emergency).

2.6 Faktor Daya Listrik

Faktor Daya Listrik adalah perbandingan antara daya aktif dan daya buta, atau dapat dirumuskan sebagai: Faktor daya listrik = P/S , di mana P adalah daya aktif dalam KW dan S adalah daya buta dalam KVA. Daya aktif adalah daya yang ditimbulkan oleh aliran arus listrik melalui hambatan seperti lampu pijar, atau alat pemanas.

Terdapat 3 (tiga) macam daya yang terdapat pada faktor daya seperti berikut ini :

2.6.1 Daya Nyata (P)

Daya nyata atau yang sering disebut daya aktif adalah secara sederhana daya yang terpakai dalam melakukan usaha atau energi dalam sistem kelistrikan. Nilai daya nyata dipengaruhi oleh faktor seperti Tegangan, Arus dan $\cos \phi$ (faktor daya) yaitu pergeseran nilai besar sudut arus maupun tegangan pada sinusoidal listrik AC, semakin kecil nilai ketiga parameter tersebut maka akan mengurangi nilai daya nyata pula. Daya nyata dilambangkan dengan (P) dan memiliki satuan "Watt". Jika dituliskan secara matematis maka daya nyata mempunyai rumus:

Fasa ke netral atau (1 fasa) :

$$P = V \times I \times \cos \phi,$$

Sedangkan pada *line to line* atau fasa ke fasa atau (3 fasa) dapat dirumuskan dengan:

$$: P = V \times I \times \cos \phi \times \sqrt{3}$$

Keterangan:

P = daya nyata (Watt atau J/s)

V = tegangan (Volt)

I = arus yang mengalir pada penghantar (Ampere)

$\cos \phi$ = faktor daya

2.6.2 Daya Semu (S)

Daya semu atau (*Apparent Power*) merupakan daya yang terjadi ketika nilai efektif dari dua faktor yaitu tegangan dan arus yang disebut V_{RMS} (Tegangan *Root Mean Square*) dan I_{RMS} (Arus *Root Mean Square*). Daya ini adalah daya yang diberikan PLN kepada pelanggan, daya semu dilambangkan dengan huruf “S” dan mempunyai satuan *Volt-Ampere* (VA). Secara matematis daya semu dapat dituliskan dengan rumus:

Pada *line to netral* atau fasa ke netral (1 fasa) :

$$S = V \times I ,$$

Sedangkan rumus untuk *line to line* atau fasa ke fasa (3 fasa) dengan :

$$S = \sqrt{3} \times V \times I$$

Keterangan:

S = daya semu (VA)

V = tegangan (Volt)

I = arus yang mengalir pada penghantar (Ampere)

2.6.3 Daya Reaktif (VAR)

Pada dasarnya daya reaktif bukanlah daya yang sesungguhnya sehingga sering disebut dengan daya “imajiner” yang mengindikasikan adanya pergeseran pada grafik sinusoidal sama seperti faktor daya, pergeseran tersebut dikarenakan adanya beban reaktif yaitu beban yang timbul ketika adanya *flux* elektromagnetik, sehingga berhubungan dengan induktansi dan kapasitansi.

Daya reaktif mempunyai simbol “Q” dengan satuan *Volt-Ampere-Reaktif* (VAR) dan mempunyai persamaan matematis:

Pada *line to netral* atau fasa ke netral (1 fasa) :

$$Q = V \times I \times \sin \phi$$

Sedangkan pada *line to line* atau fasa ke fasa (3 fasa) :

$$Q = V \times I \times \sin \phi \times \sqrt{3}$$

Keterangan:

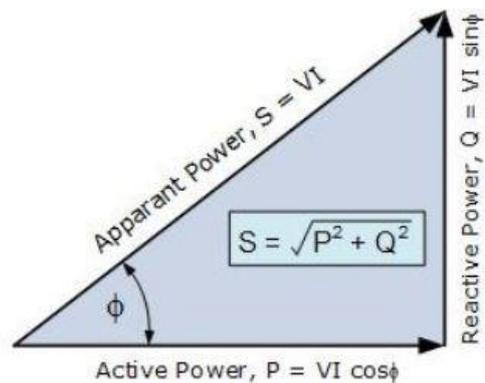
Q = daya reaktif (VAR)

V = tegangan (Volt)

I = arus (Ampere)

$\sin \phi$ = faktor daya

Dari penjelasan ketiga macam daya diatas, dikenal juga sebagai segitiga daya. Dimana definisi umum dari segitiga daya adalah suatu hubungan antara daya nyata, daya semu, dan daya reaktif, yang dapat dilihat hubungannya berikut.



Gambar 2. 2 Segitiga Daya

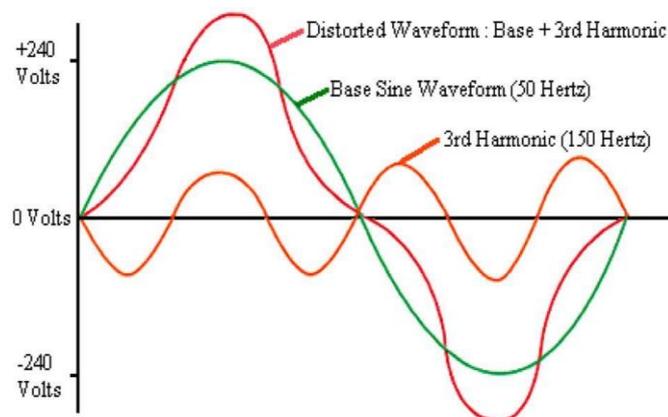
2.7 Harmonisa

Didalam sebuah rumah sakit dengan peralatan yang sedimikian banyaknya pastilah mempunyai alat yang dapat menghasilkan beban yang bersifat *non-linier* yaitu beban bersifat statis yang dalam penggunaannya sangat mudah seperti mesin-mesin, AC driver, UPS (*uninterruptible power supply*), Lampu TL dan lain-lain.

Alat yang bersifat *non-linier* tersebut mengakibatkan terjadinya harmonik, pada dasarnya gelombang ideal adalah sinus murni namun dalam distribusi tenaga listrik terdapat distorsi gelombang arus dan tegangan yang membuat gelombang tidak sinusoidal. Perubahan gelombang tersebut dikarenakan menumpanginya gelombang frekuensi orde yang menumpang pada gelombang frekuensi kerja normal. Harmonik ini mempengaruhi terhadap kualitas daya listrik dan bisa membuat peralatan bermasalah. Sebagai contoh dalah gelombang berikut ini:



Gambar 2. 3 Gelombang frekuensi ideal, real dan harmonik



Gambar 2. 4 Gelombang terdistorsi 50 Hz ke 150 Hz

2.7.1 Macam-macam Harmonik

Harmonik di bedakan lagi dalam beberapa jenis, dari sumber gelombangnya harmonik ada dua harmonik arus dan harmonik tegangan sedangkan berdasarkan ordenya harmonik di bedakan menjadi harmonik urutan ganjil dan harmonik urutan genap, harmonik urutan ganjil merupakan kelipatan ganjil dari frekuensi fundamentalnya yaitu 3, 5, 7, 9, 11 dan seterusnya. Harmonik urutan genap merupakan kelipatan genap dari frekuensi fundamentalnya atau dasarnya 1, 2, 4, 6, 8, dan seterusnya, yang di akibatkan karena gelombang tidak simetris terhadap sumbu karena ada komponen DC pada bebannya. Interharmonik merupakan harmonik yang frekuensinya tidak merupakan integral dari frekuensi dasarnya. Subharmonik merupakan harmonik dengan frekuensi yang lebih kecil dari frekuensi fundamentalnya.

Harmonik yang berdasarkan urutan fasanya di bedakan menjadi 3 macam yaitu harmonik urutan positif, harmonik urutan negatif, dan harmonik urutan nol. Seperti berikut:

1. Harmonik Urutan Positif (*Positif Sequence*)

Harmonik yang mempunyai urutan fasa yang sama dengan harmonik fundamentalnya atau dasarnya 50 Hz, harmonik ini berdampak pada penambahan panas konduktor, CB, dan panel-panel.

2. Harmonik Urutan Negatif (*Negatif Sequence*)

Harmonik yang kebalikan dari harmonik urutan positif yaitu mempunyai urutan fasa yang berlawanan dengan harmonik dasarnya 50 Hz, harmonik ini urutan negatif mengakibatkan panas dan menyebabkan masalah pada motor induksi sehingga motor mengalami perlambatan.

3. Harmonik Urutan Nol (*Zero Sequence*)

Harmonik urutan nol tidak memproduksi perputaran medan di kedua Arah, sehingga menghasilkan panas yang lebih dibandingkan dengan harmonik urutan positif dan urutan negatif, harmonik ini tidak dapat di hilangkan sehingga bahaya yang di rimbulkan besar yaitu arus normal yang lebih besar, sehingga arus yang bear itu bisa menimbulkan kebakaran.

Orde Harmonik	1	2	3	4	5	6	7	8		9
Frekuensi (Hz)	50	100	150	200	250	300	350	400		450
Urutan/Polaritas	+	-	0	+	-	0	+	-		0

Tabel 2. 1 Polaritas Orde Harmonik

Akibat dari polaritas tersebut menyebabkan akibat yang berbeda-beda yaitu seperti berikut:

Urutan	Pengaruh Pada Motor	Pengaruh Pada Sistem Distribusi
Positif	<ul style="list-style-type: none"> Menimbulkan Medan magnet arah maju (forward) 	<ul style="list-style-type: none"> panas
Negatif	<ul style="list-style-type: none"> Menimbulkan medan magnet putar arah mundur (reverse) 	<ul style="list-style-type: none"> Panas Arah putaran motor berubah
Nol	<ul style="list-style-type: none"> Tidak ada 	<ul style="list-style-type: none"> Panas Menambah / menimbulkan arus pada kawat netral

Tabel 2. 2 Akibat polaritas komponen harmonik

2.7.2 Total Harmonic Distortion (THD)

Total *harmonic distortion* (THD) merupakan sebuah ukuran harmonik yang paling umum digunakan untuk menunjukkan tinggi rendahnya kandungan dari jumlah harmonik pada suatu gelombang yang terdistorsi. THD merupakan sebuah perbandingan dari hasil penjumlahan komponen harmonik dengan komponen fundamental (dasar). THD dinyatakan dalam ukuran prosentase (%). Semakin besar nilai prosentase THD arus atau tegangan, maka akan semakin besar pula tingkat resiko kerusakan yang akan dialami oleh sistem kelistrikan. Untuk gelombang arus, nilai THD nya didefinisakn seperti berikut:

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \times 100\%$$

Sedangkan untuk gelombang tegangan, nilai THD nya didefinisikan sebagai berikut:

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_1} \times 100\%$$

Keterangan:

THD_V = Total harmonic distortion tegangan

THD_I = Total harmonic distortion arus

V_h = Nilai tegangan harmonik (V)

V_1 = Nilai tegangan fundamental (V)

I_h = Nilai arus harmonik (A)

I_1 = Nilai arus fundamental (A)

h = arus dan tegangan harmonik ke-h

2.7.3 Batas Standar Harmonik

Beberapa dokumen mengenai standar batasan harmonik pada sistem tenaga listrik telah dipublikasikan, diantaranya adalah standar IEEE 519-1992, IEC 61000-3-4, IEC61000-3-6, dan lain lain. Standar IEC biasanya digunakan untuk daerah Eropa dan standar ANSI dan IEEE banyak digunakan di Amerika. Mengenai standar yang digunakan pada penelitian ini adalah standar IEEE no 519 tahun 1992.

Nugroho S.S (2018) menyebutkan bahwa *Institute of Electrical and Electronic Engineering* (IEEE) adalah suatu lembaga internasional yang memiliki wewenang untuk melakukan riset dan penelitian dan ANALISIS untuk memberikan sebuah batas standar untuk dijadikan acuan referensi dalam bidang kelistrikan dan elektronika di beberapa negara.

Eward F. Fuchs dan Mohammad A.S. Masoum (2008) menerangkan bahwa IEEE 519-1992 adalah praktik dan persyaratan yang direkomendasikan untuk mengendalikan harmonik dalam sistem tenaga listrik dan IEEE-519 lebih komprehensif dibandingkan dengan standar IEC.

Standar harmonik tegangan memiliki acuan berdasarkan nilai tegangan yang digunakan pada sebuah sistem, sedangkan untuk acuan harmonik arus adalah nilai perbandingan dari arus hubung singkat dengan arus yang bekerja pada beban.

Tabel 2. 3 Batas Total Harmonic Distortion Tegangan

<i>Nominal Voltage</i>	<i>Individual Harmonic Order</i>	THD
$V \leq 69 \text{ kV}$	3.0 %	5.0 %
$69 \text{ kV} < V < 161 \text{ kV}$	1.5 %	2.5 %
$V \geq 161 \text{ kV}$	1.0 %	1.5 %

Tabel 2. 4 Batas *Total Harmonic Distortion* arus

SCA	<i>Individual Harmonic Order (h) Current Distortion Limit</i>					THD
	$H < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$H \geq 35$	
$V_{supply} \leq 69 \text{ kV}$						
<20	4,0 %	2,0 %	1,5 %	0,6 %	0,3 %	5,0 %
20-50	7,0 %	3,5 %	2,5 %	1,0 %	0,5 %	8,0 %
50-100	10,0 %	4,5 %	4,0 %	1,5 %	0,7 %	12,0 %
100-	12,0 %	5,5 %	5,0 %	2,0 %	1,0 %	15,0 %

SCA	<i>Individual Harmonic Order (h) Current Distortion Limit</i> THD					THD
1000 >1000	15,0 %	7,0 %	6,0 %	2,5 %	1,4 %	20,0 %
SCA	<i>Individual Harmonic Order (h) Current Distortion Limit</i>					THD
	H<11	11≤h<17	17≤h<23	23≤h<35	H≥35	
$69 \text{ kV} < V_{supply} < 161 \text{ kV}$						
<20	2,0 %	1,0 %	0,75 %	0,3 %	0,15 %	2,5 %
20-50	3,5 %	1,75 %	1,25 %	0,5 %	0,25 %	4,0 %
50-100	5,0 %	2,25 %	2,0 %	1,25 %	0,35 %	6,0 %
100-1000	6,0 %	2,75 %	2,5 %	2,0 %	0,5 %	7,5 %
>1000	7,5 %	3,5 %	3,0 %	2,5 %	0,7 %	10,0 %
$V \geq 161 \text{ kV}$						
<50	2,0 %	1,0 %	0,75 %	0,3 %	0,15 %	2,5 %
≥50	3,5 %	1,75 %	1,25 %	0,5 %	0,25 %	4,0 %

Untuk mengetahui standar THD arus yang diijinkan pada tabel 2.2 dari suatu sitem atau trafo, terlebih dahulu mencari besar nilai arus *Short Circuit* (Isc) dan mengukur arus beban (I_L). berikut cara perhitungan Isc:

$$I_{SC} = \frac{\text{Daya Trafo (VA)}}{\sqrt{3} \cdot V_{LL} \cdot Z\%}$$

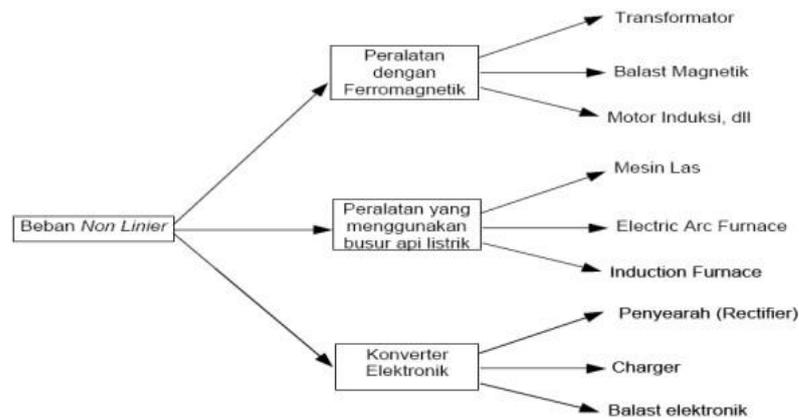
Keterangan :

V_{LL} = Tegangan Antar Fasa (Volt)

Z % = Impedansi Trafo

2.7.4 Sumber-sumber Harmonik

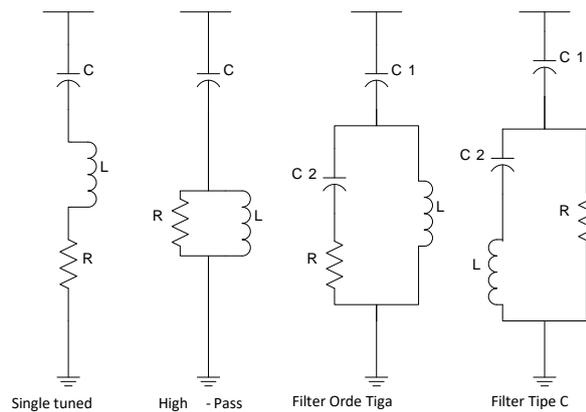
Penyebab terjadinya harmonik adalah adanya beban *non-linier* pada sistem bisa pada sistem kelistrikan ataupun peralatan. Banyaknya beban *non-linier* seperti *Converter* statis, AC/DC driver, harmonik bisa juga di beban *non-linier* seperti berikut:



Gambar 2. 5 Macam-macam beban non-linier

2.8 Passive Filter

Pada peralatan rumah sakit khususnya pada beban *non linier* aplikasi rangkaian RLC atau *Passive Filter* merupakan metode penyelesaian yang efektif . *Passive Filter* dirancang untuk mengalihkan arus harmonisa pada bagian tertentu yang tidak diinginkan dalam sistem tenaga. Untuk meredam harmonisa diperlukan sebuah alat yaitu *Passive Filter Single Tuned* yang masuk kedalam kategori filter pasif karena komponen utamanya adalah komponen pasif berupa kapasitor, induktor, dan resistor sehingga disebut dengan rangkaian R-L-C. *Passive Filter* juga dapat dibedakan menjadi 4 macam yaitu:



Gambar 2. 6 *Passive Filter*

2.8.1 Cara Kerja *Passive Filter Single Tuned*

Karena peralatan pada rumah sakit banyak yang menggunakan beban *non linier* maka dipilihlah *Passive Filter Single-Tuned* berfungsi sebagai filter yang dapat mengalihkan arus harmonisa pada orde tertentu yang tidak diinginkan atau melebihi batas standar yang telah ditentukan dalam suatu sistem tenaga. Prinsip kerja dari *Passive Filter* yaitu mengalirkan arus harmonisa orde tertentu dari sumber harmonisa (beban non linier) melalui jaringan filter. Untuk memaksa arus orde tertentu mengalir ke jaringan filter, besar kapasitor harus diatur agar terjadi resonansi pada jaringan, sehingga harga impedansi saluran akan minimum dan arus harmonik akan dibelokan oleh *Passive Filter Single Tuned*..

Passive Filter atau rangkaian R-L-C menghasilkan tiga jenis hambatan yaitu: (R) hambatan yang dihasilkan oleh komponen resistor yaitu resistansi, (X_L) hambatan yang dihasilkan oleh komponen induktor yaitu reaktansi induktif, (X_C) hambatan yang dihasilkan oleh komponen kapasitor yaitu reaktansi kapasitif. Dari ketiga hambatan tersebut bila dijumlahkan didapat (Z) yaitu impedansi atau hambatan total. Sehingga dapat dituliskan dengan rumus:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

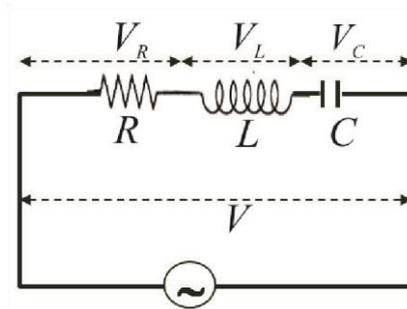
Keterangan:

Z = Impedansi (Ω)

R = Hambatan (Ω)

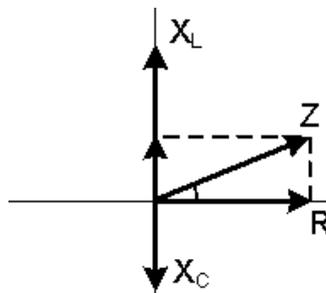
X_L = Reaktansi Induktif (Ω)

X_C = Reaktansi Kapasitif (Ω)



Gambar 2. 7 Rangkaian R-L-C

Dari hal tersebut karena agar arus yang mengalir dari orde tertentu mengalir melalui filter maka perlu adanya resonansi, resonansi dapat terjadi jika memenuhi tiga syarat berikutnya: pada saat Reaktansi Induktif sama dengan Reaktansi Kapasitif ($X_L = X_C$), pada saat Impedansi sama dengan Resistansi ($Z=R$), dan saat sudut fase ($\theta=0$). Pada keadaan tersebut antara (X_L) Reaktansi Induktif dan (X_C) Reaktansi Kapasitif bersifat saling meniadakan dan bila bernilai sama sehingga nilai Impedansi (Z) menjadi minimum dan sama dengan nilai Resistansi (R).



Gambar 2. 8 Vektor Impedansi

Dari hal tersebut faktor yang melatar belakangi terjadinya resonansi adalah frekuensi dan frekuensi tersebut disebut frekuensi resonansi, sehingga frekuensi resonansi dapat dinyatakan dalam persamaan:

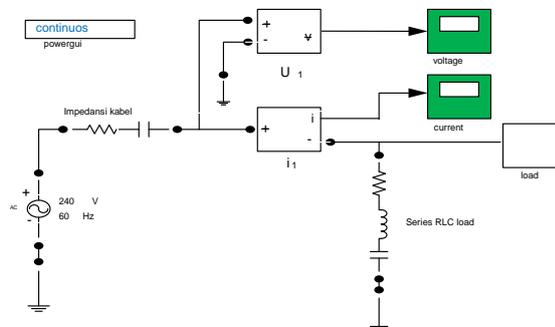
$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Keterangan:

L= Nilai Induktor (H)

C= Nilai Kapasitor (F)

Sehingga ketika Impedansi (Z) sama dengan nilai Resistansi (R), Impedansi tersebut mempunyai nilai yang kecil pada frekuensi resonsansi yang dapat menyerap arus harmonik yang dekat dengan frekuensi resonsansi tersebut, karena nilai arus harmonik yang tinggi dan nilai impedansi yang kecil maka arus harmonik tersebut dialirkan atau melewati jaringan *Passive Filter Single Tuned*.



Gambar 2. 9 Pemodelan *Passive Filter Single Tuned*

2.8.2 Spesifikasi *Passive Filter Single Tuned*

1. Spesifikasi Resistor

$$R = \frac{V}{I}$$

$$P = V \times I$$

Keterangan:

$$R = \text{Kapasitas Resistor} (\Omega)$$

$$V = \text{Tegangan} (V)$$

$$I = \text{Arus Harmonisa Orde ke } - 3$$

$$P = \text{Kapasitas Daya Resistor} (W)$$

2. Q Faktor :

$$X_L = X_C = X_n$$

$$Q = \frac{X_n}{R}$$

$$X_n = Q \times R$$

Keterangan:

$$X_L = \text{Reaktansi Induktif} (\Omega)$$

$$X_C = \text{Reaktansi Kapasitif} (\Omega)$$

$$Q = \text{Kualitas Filter} (30 - 100)$$

3. Spesifikasi Induktor :

$$X_L = \omega L$$

$$L = \frac{X_L}{\omega}$$

Keterangan:

$$L = \text{Kapasitas Induktor Filter} (H)$$

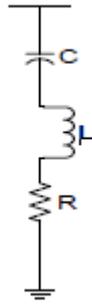
4. Spesifikasi Kapasitor:

$$X_C = \frac{1}{\omega C}$$

$$C = \frac{1}{\omega X_C}$$

Keterangan:

$$C = \text{Kapasitas Capasitor Filter} (F)$$



Gambar 2. 10 Pemodelan *Passive Filter Single Tuned*

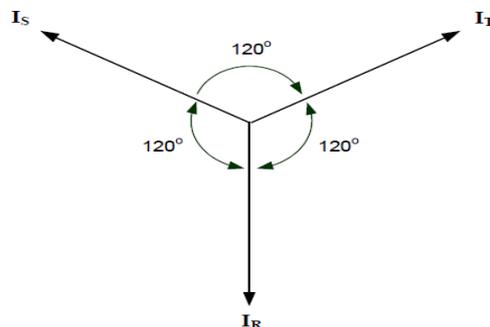
2.9 Ketidakseimbangan Beban

Ketidakseimbangan beban atau *unbalance* merupakan kondisi dimana besarnya arus yang mengalir pada tiap fasa berbeda besarnya. Suatu sistem kelistrikan pada sebuah bangunan dikatakan memiliki beban seimbang jika memenuhi dua hal berikut:

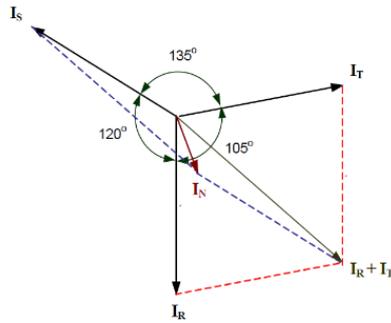
1. Ketiga Vektor arus atau tegangan sama besar.
2. Ketiga vektor arus saling membentuk sudut 120^0 satu sama lain.

Ada 3 kondisi ketidakseimbangan beban yaitu:

1. Ketika masing-masing vektor seimbang namun tidak membentuk sudut 120^0 satu sama lain.
2. Ketika masing masing vektor tidak seimbang namun membentuk sudut 120^0 satu sama lain.
3. Ketika masing masing vektor tidak seimbang dan tidak membentuk sudut 120^0 satu sama lain.



Gambar 2. 11 Vektor arus dalam keadaan seimbang



Gambar 2. 12 Vektor arus dalam keadaan tidak seimbang

Ketidakseimbangan beban menyebabkan penjumlahan ketiga vektor arus (I_R , I_S , I_T) tidak sama dengan nol, sehingga menyebabkan adanya arus netral (I_N). Dapat dilihat pada gambar 2.11 bahwa vektor arus dalam keadaan seimbang jika penjumlahan vektornya sama dengan nol atau pada fase netral tidak ada arus, sehingga dapat dikatakan memiliki kondisi arus yang baik. Sedangkan pada gambar 2.12 merupakan gambar diagram vektor arus yang tidak setimbang antara ketiga vektor arus (I_R , I_S , I_T) sehingga menimbulkan adanya arus pada fase netral dan masuk pada kategori arus yang kurang baik.

2.9.1 Akibat Ketidakseimbangan Beban

Akibat Ketidakseimbangan Beban menyebabkan adanya arus pada titik netral yang disebabkan oleh penjumlahan ketiga vektor arus (I_R , I_S , I_T) tidak sama dengan nol. Adanya arus netral menyebabkan rugi-rugi daya (*losses*). Untuk menghitung nilai rugi rugi daya dapat digunakan rumus berikut:

$$P_N = I_N^2 \times R_N$$

Keterangan:

P_N = Rugi-rugi daya pada penghantar netral (W)

I_N^2 = Arus pada Penghantar netral (Ampere)

R_N = Hambatan penghantar (ohm)

2.9.2 Perhitungan Ketidakseimbangan Beban

Dalam menghitung besarnya ketidakseimbangan beban digunakan rumus sebagai berikut:

$$I_{Rata-rata} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3}$$

Dimana:

$$I_R = a \times I_{Rata-rata}$$

$$\text{Maka: } a = \frac{I_R}{I_{Rata-rata}}$$

$$I_S = b \times I_{Rata-rata}$$

$$\text{Maka: } b = \frac{I_S}{I_{Rata-rata}}$$

$$I_T = c \times I_{Rata-rata}$$

$$\text{Maka: } c = \frac{I_T}{I_{Rata-rata}}$$

Sehingga :

$$\text{Ketidakseimbangan} = \frac{\{|a-1|+|b-1|+|c-1|\}}{3} \times 100 \%$$

Hasil perhitungan ketidakseimbangan beban yaitu dalam satuan %