

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian mengenai Audit Energi maupun Audit Elektrikal di Indonesia termasuk hal yang baru dipublikasikan. Beberapa penelitian pernah dilakukan pada tahun 2007 dengan melakukan penelitian tentang audit energi listrik pada gedung kampus Undip Peleburan Semarang, pada tahun 2007. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan energi listrik setiap pelanggan di gedung kampus sebagian termasuk kriteria efisien. Penelitian ini dilakukan dengan menghitung nilai penggunaan energi pada masing-masing ruangan yang ada di gedung kampus sehingga penelitian ini membutuhkan implementasi dan pengamatan langsung di lapangan. (Salpanio, 2007)

Penelitian pada tahun 2013 mengenai IKE atau intensitas konsumsi energi listrik, merupakan istilah yang digunakan untuk mengetahui besarnya pemakaian energi pada suatu sistem (bangunan). Nilai IKE ini diketahui dengan membandingkan total penggunaan energi listrik dengan luas bangunan gedung. Proses evaluasi dilakukan dengan mengumpulkan data historis gedung RSJ. Prof. HB. Saanin Padang berupa data luas bangunan gedung, data penggunaan energi listrik, serta anggaran yang dikeluarkan untuk kebutuhan energi listrik. Dari hasil perhitungan, Nilai IKE Listrik tahun 2013 adalah sebesar 155,857 kWh/ m² per tahun, nilai IKE tahun 2014 adalah 29,291 kWh/ m² per tahun, dan tahun 2015 adalah 33,216 kWh/ m² per tahun. Hasil ini termasuk kategori efisien karena tidak melewati standar IKE listrik untuk gedung rumah sakit sebesar 380 kWh/ m² per tahun. (Asnal Effendi, Miftahul 2013)

Penelitian mengenai Audit energi yang pernah dilakukan di kampus Kasipah Universitas Muhammadiyah Semarang, pada tahun 2010. Dari hasil audit, Kampus Kasipah UNIMUS memiliki tingkat pemakaian ruangan yang cukup tinggi pada saat jam kerja dan daya listrik yang terpasang sering trip karena kelebihan beban. Untuk itu diperlukan audit energi untuk menentukan (klarifikasi) nilai indeks konsumsi energi (IKE) dan membandingkannya dengan standar IKE Asia. Hasil penelitian berupa nilai IKE gedung kampus Kasipah UNIMUS adalah 117,4 kWh/m². Nilai ini masih di bawah standar IKE gedung perkantoran (240 kWh/m²). Dari hasil ini dapat direkomendasikan dua hal yaitu : pemakaian daya di gedung kampus Kasipah masih dapat ditingkatkan guna mencapai standar

minimal peralatan ruangan dan kenaikan kapasitas daya terpasang menjadi 33 kVA agar tidak sering terjadi trip. (Solichan, 2010)

Beberapa penelitian mengenai Analisa Konservasi Energi Listrik Pada Industri Tekstil, di PT Industri Sandang Nusantara (Persero), Cilacap pada tahun 2010 . Audit awal dilakukan untuk memperoleh gambaran umum pola penggunaan energi dan identifikasi potensi penghematan serta menyusun rekomendasi awal yang sifatnya segera dapat dilakukan. Keluaran audit awal juga menentukan lokasi dan kebutuhan untuk melakukan audit rinci. Hasil penelitian menunjukkan bahwa:

1. Trafo

Berdasarkan pengukuran di lapangan, pembebanan trafo distribusi masih cukup rendah. Pembebanan masing – masing trafo (terdapat 7 unit trafo) berkisar 40 – 60%. Dengan nilai efisiensi masing – masing trafo distribusi berkisar 98,3 – 99,4%.

2. Harmonic

Berdasarkan pengukuran pada panel utama didapat nilai *harmonic* arus (I THD) rata – rata mencapai 20%. Perlu dilakukan pemasangan filter untuk mereduksi *harmonic*. Setelah pemasangan filter didapat penghematan sebesar Rp. 104.520.428 / bulan dengan investasi sebesar Rp. 500.000.000, maka *pay back periode* sebesar 0,39 tahun

3. Power Factor

Berdasarkan pengukuran di lapangan, nilai faktor daya masih cukup rendah. Terutama pada faktor daya pada beban yang semuanya masih di bawah nilai $\cos \phi$ 0,85 maka perlu dilakukan pemasangan kapasitor pada beban. Setelah pemasangan kapasitor pada mesin RSF di dapat penghematan Rp. 27.520 / bulan atau Rp. 330.240 / tahun dengan investasi sebesar Rp. 3.613.915 maka *pay back periode* sekitar 10 tahun.

4. Motor Listrik

Berdasarkan pengukuran, terdapat beberapa motor listrik yang pemakaiannya (load beban) hanya sekitar 50%. Maka perlu dilakukan pergantian motor sesuai dengan kebutuhan yang diperlukan. Setelah pergantian pada motor *supply fan* maka didapat penghematan sebesar Rp. 3.001.464 / bulan atau Rp. 36.017.564 / tahun dengan investasi sebesar Rp. 65.000.000 maka *pay back periode* sekitar 1,8 tahun.

5. Kapasitas Daya Langganan.

Dari hasil pengukuran diperoleh untuk memenuhi kebutuhan pengoperasian, pabrik hanya mampu memakai daya secara maksimal hingga kisaran 2300 kVA. Beban puncak tersebut masih jauh lebih rendah dari kapasitas daya langganan sebesar 3985

kVA. Oleh karena itu, disarankan untuk menurunkan kapasitas daya langganan dari 3985 kVA menjadi 3465 kVA. Setelah menurunkan kapasitas daya langganan didapat penghematan sebesar Rp. 15.340.000 / bulan atau Rp. 184.000.000 / tahun dengan investasi sebesar Rp. 308.080.000 maka *pay back periode* sekitar 2 tahun. (Ramadhani, 2010)

Penelitian sebelumnya tentang “kajian manajemen konservasi energi listrik untuk perencanaan dan pengendalian pada gedung perkantoran PT. PHE” oleh Ajen Mukarom, dalam penelitian ini penulis melakukan rekomendasi penghematan energi listrik dengan melakukan retrofit pada lampu yang awalnya TL 36 W diretrofit ke TL LED 19 W sehingga penghematannya 50 % dari konsumsi awal yaitu Rp 34.842.600/tahun dan investasi Rp 225.600.000. Selain lampu dilakukan penghematan pada tata udara dengan melakukan metode peralihan jam operasional yang awalnya jam 05:00 pagi diubah menjadi jam 06:00 pagi mendapatkan penghematan sebesar Rp 179.150.400/tahun dan dimatikan pada setengah jam sebelum jam kerja selesai yaitu nilai penghematannya Rp 81.081.000/tahun.

Penelitian lain yang berkaitan dengan konsumsi energi listrik adalah Gardina Daru Andini tentang “Analisis Potensi Pemborosan Konsumsi Energi Listrik Pada Gedung Kelas Fakultas Teknik Universitas Indonesia” pembahasan dalam penelitian ini membandingkan lampu eksisting dan jumlah lampu sesuai standar (SNI 6197) dengan mencari F_{total} , N_{total} dan selisih lampu. Pada rekomendasi tersebut terdapat kelebihan jumlah lampu pada gedung FTUI sebanyak 255 lampu TL 2 x 40 W dan 38 lampu TL 2 x 20 W, serta total kelebihan kapasitas AC adalah 28 PK dan total kekurangan kapasitas AC sebanyak 53,5 PK.

2.2 Konservasi Energi Listrik

Banyak upaya yang dapat dilakukan dalam konservasi energi listrik, upaya tersebut dapat dilakukan baik di sisi penyedia listrik (*supply*) atau di sisi konsumsi listrik (*demand*). Metode untuk mencapai efisiensi konsumsi energi listrik pada sisi pemakai energi listrik lazim disebut *Demand Side Management* (DSM) di mana salah satu jenisnya adalah konservasi energi listrik. Konservasi energi didefinisikan sebagai penggunaan energi, sumber energi dan sumber daya energi secara efisien dan rasional tanpa mengurangi penggunaan energi yang memang benar-benar diperlukan dan tidak menurunkan fungsi energi itu sendiri secara teknis namun memiliki tingkat ekonomi yang serendah-rendahnya, dapat diterima oleh masyarakat serta tidak pula mengganggu lingkungan. Sehingga konservasi energi listrik adalah penggunaan energi listrik secara efisiensi tinggi melalui langkah-langkah penurunan

berbagai kehilangan (*loss*) energi listrik pada semua taraf pengelolaan, mulai dari pembangkitan, pengiriman (transmisi), sampai dengan pemanfaatan. Sederhananya dengan kata lain yang lebih sederhana, konservasi energi listrik adalah penghematan energi listrik. (Hadi, 2008)

2.3 Audit Energi

Kebutuhan memakai energi secara efisien menjadi semakin mendesak terutama dalam kondisi harga dan suplai energi dunia yang tidak menentu. Telah bertahun-tahun, penghematan energi terbukti sebagai jawaban yang *cost effective* terhadap krisis energi. Meskipun banyak perusahaan yang peduli dan sadar bahwa energi adalah sangat penting dan dibutuhkan dalam menjalankan bisnis mereka, cukup banyak pula yang tidak tahu pasti bagaimana sebenarnya mereka mengkonsumsi komoditas yang termasuk mulai langka ini. Berbagai pendekatan standart telah dikembangkan untuk menolong suatu perusahaan dalam mengevaluasi efisiensi energi, mengidentifikasi peluang penghematan energi serta menetapkan rencana untuk proyek-proyek guna menghemat energi. (Subhan 2010)

Salah satu pendekatan tersebut adalah audit energi yang juga sering disebut *survey energy*. Audit energi (*energy audit*) adalah nama populer untuk *heat balance* atau *energy balance* yang digunakan para *engineer* beberapa tahun lalu. Ini merupakan survai teknis yang berguna dalam mengidentifikasi peluang penghematan energi dan memungkinkan potensi ini diimplimentasikan pada proyek-proyek konservasi energi. Biasanya audit energi dikerjakan dalam dua tingkat, yakni: Audit energi awal (*preliminary*) dan Audit energi rinci (*detailed*). (Subhan, 2010)

2.3.1 Audit Energi Awal

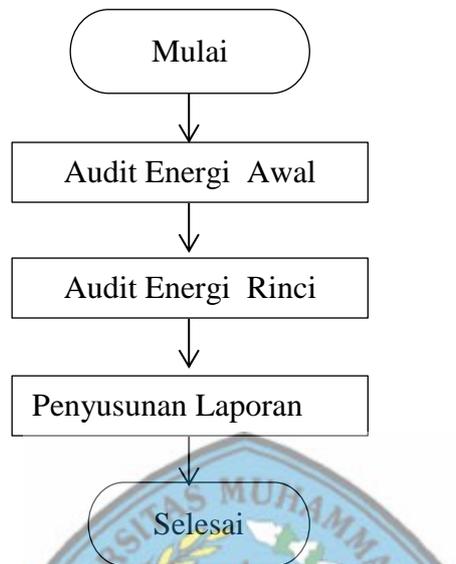
Audit energi awal merupakan pengumpulan data awal, tidak menggunakan instrumentasi yang canggih dan hanya menggunakan data yang tersedia. Dengan kata lain audit energi awal merupakan pengumpulan data di mana, bagaimana, berapa, dan jenis energi apa yang dipergunakan oleh suatu fasilitas. Daya ini diperoleh dari catatan penggunaan energi pada tahun-tahun atau bulan-bulan sebelumnya pada bangunan dan keseluruhan sistem kelengkapannya.

Audit energi awal (*Preliminary Energy Audit*), atau survey awal (*initial survey*) terdiri dari sebagai berikut :

1. Pengumpulan data awal yang sudah tersedia

2. Penghematan (*walk through*) kondisi umum operasi peralatan
3. Standart pemeliharaan dan tingkat pengendalian manajemen terhadap operasi.

Tujuan dari audit energi awal adalah mengidentifikasi dan menghitung penghematan dalam bidang pemakaian dan biaya energi.



Gambar 2.1 *Flow Chart* Audit Energi

2.3.2 Audit Energi Rinci

Audit energi rinci (*Detailed Energy Audit*) merupakan survey dengan memakai instrumen untuk menyelidiki peralatan-peralatan pemakai energi, yang selanjutnya diteruskan dengan analisa secara rinci terhadap masing-masing komponen, peralatan, grup-grup komponen yang melengkapi bangunan guna mengidentifikasi jumlah energi yang dikonsumsi oleh peralatan, komponen, bagian-bagian tertentu dari bangunan, sehingga pada akhirnya dapat disusun aliran energi keseluruhan bangunan. Secara lengkap, prosedur audit energi rinci dapat dibagi ke dalam delapan langkah utama sebagai berikut :

- a. Perencanaan : merencanakan audit secara teliti, mengidentifikasi bagian- bagian atau peralatan-peralatan utama pengguna energi dan merencanakan pemakaian waktu yang tersedia secara efisien bagi tim audit.
- b. Pengumpulan data dasar : mengumpulkan data dasar yang tersedia, meliputi penggunaan energi dan kegiatan produksi dan jadwal penggunaan gedung.
- c. Data pengujian peralatan : melakukan pengujian operasi dan mendapatkan data baru pada kondisi operasi yang sebenarnya.

- d. Analisa data : menganalisa data yang telah dikumpulkan, termasuk menggambarkan grafik energi spesifik, menghitung efisiensi peralatan dan membuat *system balance* dan *electricity balance*.
- e. Rekomendasi tanpa biaya/ dengan biaya rendah : mengidentifikasi cara-cara operasi, pemeliharaan dan *housekeeping* yang akan menghilangkan pemborosan energi atau memperbaiki efisiensi.
- f. Investasi modal : mengidentifikasi peluang penghematan energi yang memerlukan investasi.
- g. Rencana pelaksanaan : menggambarkan dengan jelas rencana pelaksanaan yang memuat semua langkah yang diperlukan oleh perusahaan untuk menerapkan rekomendasi.
- h. Laporan : menyusun laporan untuk manajemen, menyimpulkan temuan hasil audit, rekomendasi yang dibuat dan rencana pelaksanaan/ implementasi. (Hadi, 2008)

2.4 Management Energy

Di industri biaya energi menjadi biaya terbesar setelah bahan baku, biaya tersebut mesti dibayar setiap bulan. Biaya energi bisa dalam bentuk tagihan listrik dan bahan bakar. Karena merupakan komponen biaya besar ketika pemerintah telah menaikkan harga minyak dan listrik, maka banyak industri yang mengalami kesulitan. Terdapat solusi yang sudah diakui secara internasional dan telah ditetapkan secara luas di negara-negara maju yaitu *Program Energy Management (PEM)*. Pertama menghemat penggunaan segala jenis energi dengan cara mengurangi atau menghilangkan energi terbuang (*wasted energy*) dan menggunakan energi secara efisien. Kedua, di beberapa industri mungkin perlu mengganti bahan bakar yang bisa digunakan pabrik dengan harga yang lebih murah, misalnya mengganti BBM (yang mahal) dengan gas (yang murah). Dengan menerapkan PEM didapat keuntungan antara lain sebagai berikut :

1. Memangkas biaya energi
2. Meningkatkan keuntungan perusahaan
3. Mengurangi resiko kekurangan suplai energi
4. Mengurangi emisi gas karbon dilingkungan perusahaan
5. Meningkatkan kemampuan perusahaan dalam berkompetisi, karena dengan penghematan biaya yang dicapai perusahaan dapat meningkatkan kualitas produk dan *service*.

Banyak industri yang keberatan dengan biaya yang dikeluarkan untuk *Program Energy Management* (PEM). Apakah yang menjadi permasalahan apakah PEM itu ekonomis. Yang bisa menjawab adalah perusahaan itu sendiri. Penghematan yang ditargetkan bisa dicapai jika rekomendasi konsultan dilaksanakan secara konsisten. Memang perusahaan perlu mengeluarkan biaya awal yang cukup besar, tapi penghematan masa depan yang diperoleh juga besar. Kebanyakan pengalaman membuktikan modal kembali (*payback*) antara tiga bulan hingga tiga tahun. Setelah itu perusahaan mendapat keuntungan tiap bulan. Jika perusahaan punya target penghematan 30% maka akan menghemat lima juta sebulan jika selama ini anda membayar energi 15 juta sebulan. Dengan modal awal 150 juta, akan mendapatkan (*payback*) dalam 2,5 tahun. Setelah itu setiap bulan akan menghemat lima juta.

2.5 Elemen Audit Energi Listrik

Elemen-elemen dari proses audit energi listrik antara lain :

- a. Diagram Proses Produksi (Pada konsumen industri)
Diagram proses produksi merupakan skema yang menggambarkan alur proses produksi. Dimulai dari bahan mentah, proses awal, hingga *finishing* atau produk yang dihasilkan.
- b. Diagram Alir Energi
Diagram alir energi menggambarkan pasokan awal energi listrik yang kemudian dikonversi menjadi bentuk energi lainnya (mekanis, panas, cahaya, dan sebagainya). Melalui diagram energi dapat diamati proses konversi energi listrik melalui peralatan yang digunakan.
- c. Analisa suplai listrik dan instalasinya
Analisa suplai listrik mencakup kapasitas suplai, *captive power* (bila ada), kapasitas transformator, besaran daya aktif (MW) dan reaktif (MVA_r), *load factor*, pembebanan pada instalasi listrik, serta parameter kualitas daya.
- d. Data produksi (pada konsumen industri)
Data produksi mencakup output yang dihasilkan serta perhitungan biaya energi/output. Melalui perhitungan ini diharapkan dapat diketahui berapa biaya energi yang dikeluarkan untuk menghasilkan satu satuan *output*.
- e. Analisa konsumsi energi listrik spesifik
Analisa konsumsi energi spesifik mencakup analisa penggunaan energi listrik per jenis peralatan. Setelah diketahui total penggunaan energi listrik oleh setiap

peralatan, dapat pula diketahui tingkat susut (*losses*) dari suatu sistem.

f. Rekapitulasi energi listrik

Rekapitulasi energi listrik merupakan resume dari analisa sebelumnya dengan memasukkan unsur biaya energi listrik, yang mencakup tiga aspek:

1. Rekapitulasi konsumsi: merupakan rekap konsumsi energi listrik per jenis peralatan yang digambarkan pada diagram alir energi.
2. Referensi: merupakan acuan yang digunakan untuk membandingkan konsumsi energi listrik oleh tiap jenis peralatan. Referensi bisa bersumber pada standar peralatan, SPLN, maupun acuan lainnya.
3. Tingkat Efisiensi: merupakan perbandingan antara rekapitulasi konsumsi dan referensi. Tingkat efisiensi ini menentukan kinerja dari suatu sistem pemanfaatan energi listrik.

g. Rekomendasi Efisiensi

Rekomendasi efisiensi berisi saran dan langkah-langkah yang harus dilakukan untuk mencapai tingkat efisiensi yang lebih baik di masa mendatang. Ada tiga skenario dalam rekomendasi efisiensi:

1. *Low Cost*: apabila perubahan yang dilakukan bersifat pemeliharaan atau perubahan pada pola konsumsi tiap jenis peralatan.
2. *Medium Cost*: apabila perubahan yang dilakukan menyangkut penggantian sebagian elemen peralatan yang dinilai kurang optimal.
3. *High Cost*: apabila perubahan yang dilakukan merupakan investasi yang cukup besar, misalnya menambah peralatan atau mengubah sistem instalasi energi listrik. (Hadi, 2008)

2.6 Prosedur Audit Energi

Di Indonesia prosedur audit energi pada bangunan gedung telah dibakukan dalam SNI 03-6196-2000. Standard Nasional Indonesia (SNI) ini merupakan revisi dari SNI 03-6196-2000 mengenai “Proses Audit Energi”.

Berikut adalah beberapa istilah dan definisi menurut SNI 03-6196-2000:

1. Definisi Audit Energi

Audit energi merupakan proses evaluasi pemanfaatan energi dan identifikasi peluang penghematan energi serta rekomendasi peningkatan efisiensi pada pengguna energi dan pengguna sumber energi dalam rangka konservasi energi.

2. **Audit Energi Singkat (*Walk Through Audit*)**

Kegiatan audit energi yang meliputi pengumpulan data historis, data dokumentasi bangunan gedung yang tersedia dan observasi, perhitungan intensitas konsumsi energi (IKE) dan kecenderungannya, potensi penghematan energi dan penyusunan laporan audit.

3. **Audit Energi Awal (*Preliminary Audit*)**

Kegiatan audit energi yang meliputi pengumpulan data historis, dokumentasi bangunan gedung yang tersedia, observasi dan pengukuran sesaat, perhitungan IKE dan kecenderungannya, potensi penghematan energi dan penyusunan laporan audit.

4. **Audit Energi Rinci (*Detail Audit*)**

Kegiatan audit energi yang dilakukan bila nilai IKE lebih besar dari nilai target yang ditentukan, meliputi pengumpulan data historis, data dokumentasi bangunan gedung yang tersedia, observasi dan pengukuran lengkap, perhitungan IKE dan kecenderungannya, potensi penghematan energi, analisis teknis dan finansial serta penyusunan laporan audit.

5. **Energi**

Adalah kemampuan untuk melakukan kerja yang dapat berupa panas, cahaya, mekanika, kimia, dan elektromagnetika.

6. **Konsumsi Energi**

Besarnya energi yang digunakan oleh bangunan gedung dalam periode waktu tertentu dan merupakan perkalian antara daya dan waktu operasi (kWh/bulan atau kWh/tahun).

7. **Intensitas Konsumsi Energi (IKE)**

Perbandingan antara konsumsi energi dengan satuan luas bangunan gedung dalam periode tertentu (kWh/m² per bulan atau kWh/m² per tahun).

Dimana rumus mencari besarnya Intensitas Konsumsi Energi (IKE), yaitu:

$$IKE = \frac{kWh \text{ total}}{Luas \text{ Lantai}} \quad 2.1$$

8. **Konservasi Energi Bangunan Gedung**

Upaya sistematis, terencana dan terpadu guna melestarikan sumber daya energi dalam

negeri serta meningkatkan efisiensi pemanfaatannya tanpa mengorbankan tuntutan kenyamanan manusia atau menurunkan kinerja alat.

9. Pengelolaan Energi Bangunan Gedung

Penyelenggaraan kegiatan penyediaan dan pemanfaatan energi serta konservasi energi bangunan gedung.

10. Bangunan Gedung

Bangunan yang didirikan dan diletakkan dalam suatu lingkungan sebagian atau seluruhnya pada, di atas, atau di dalam tanah atau perairan secara tetap yang berfungsi sebagai tempat manusia untuk melakukan kegiatan, bertempat tinggal, berusaha, bersosial budaya, dan beraktifitas lainnya.

11. Peluang Konservasi Energi (PKE)

Peluang yang mungkin bisa diperoleh dalam rangka penghematan energi dengan cara perbaikan dalam pengoperasian dan pemeliharaan, atau melakukan tindakan konservasi energi pada fasilitas energi.

12. Potret Penggunaan Energi

Gambaran pemanfaatan energi menyeluruh pada bangunan gedung, meliputi jenis, jumlah penggunaan, peralatan, intensitas, profil beban penggunaan, kinerja peralatan, dan peluang konservasi energi, maupun bagian bangunan gedung dalam periode tertentu.

13. Target Penghematan Energi

Nilai IKE yang ditetapkan untuk bangunan gedung.

(SNI, 2000)

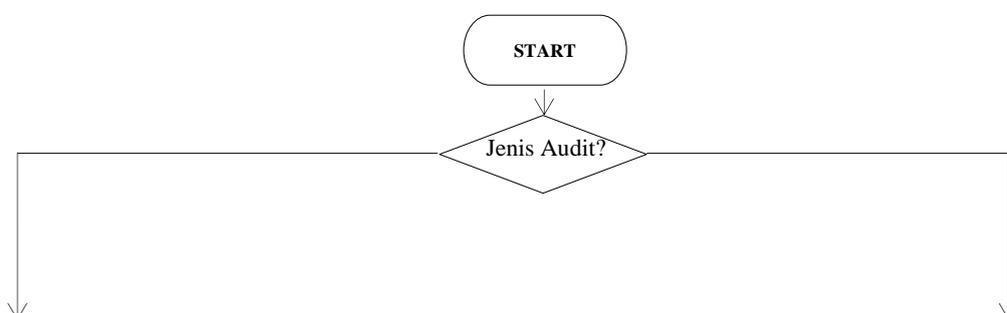
Prosedur audit energi dilakukan secara bertahap menurut SNI 03-6196-2000 sebagaimana pada gambar 2.2.

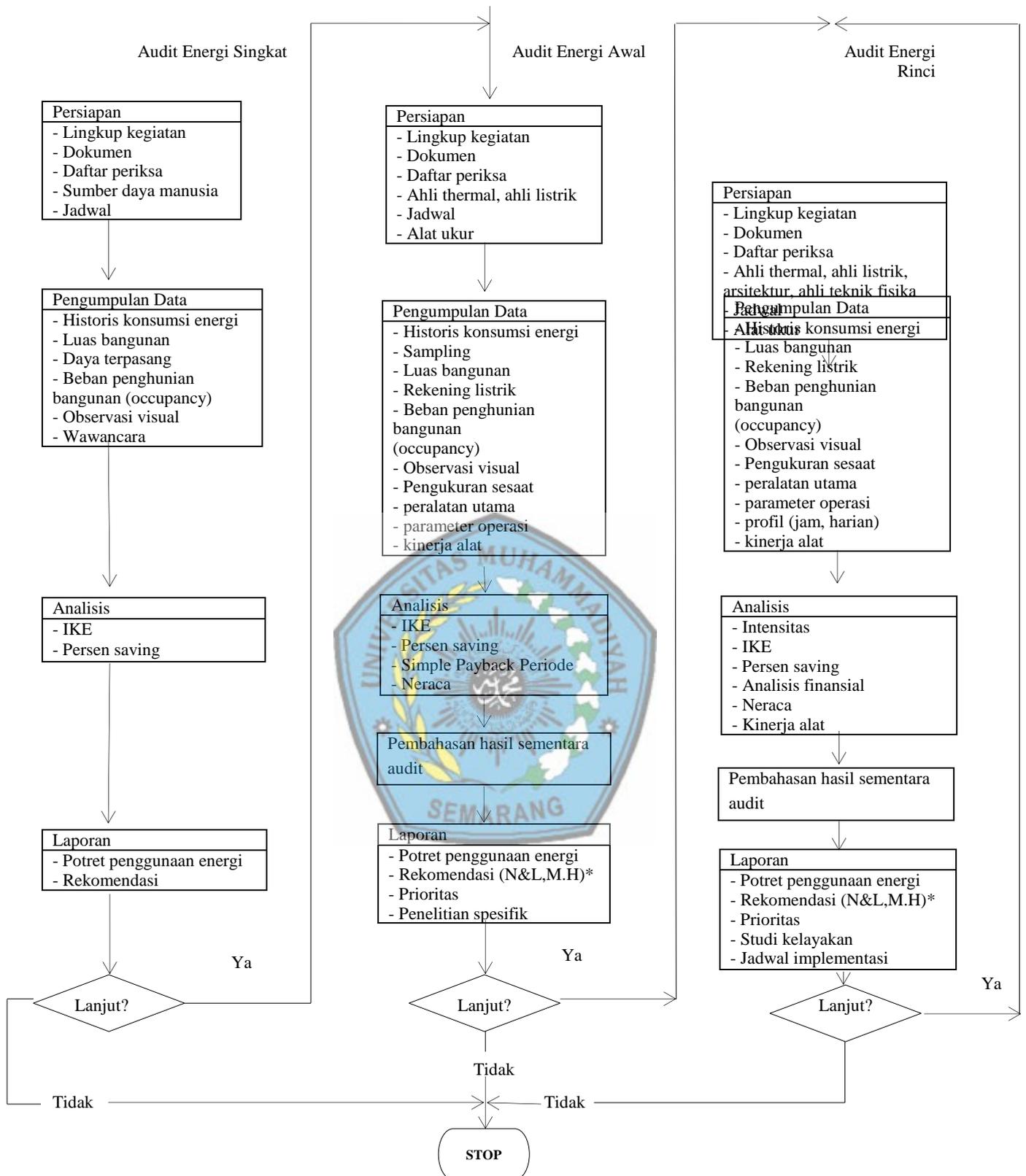
Berikut ini adalah penjelasan mengenai masing-masing jenis audit energi pada bangunan menurut SNI 03-6196-2000 yang seperti pada Gambar 2.2 :

1. Audit Energi Singkat

A. Persiapan

Persiapan yang dilakukan mencakup:





Gambar 2.2 Flowchart Proses Audit Energi (SNI 03-6196, 2000)

1. Penyiapan dokumen terkait termasuk kuesioner.

2. Penyiapan sumber daya manusia (SDM).
3. Penetapan jadwal singkat perencanaan.

B. Pengumpulan Data

Data historis terdiri dari:

1. Luas total lantai gedung.
2. Pembayaran rekening listrik bulanan gedung selama 1 sampai 2 tahun terakhir dan rekening pembelian bahan bakar minyak (BBM), bahan bakar gas (BBG), dan air.
3. Beban penghunian bangunan (*occupancy rate*) selama 1 sampai 2 tahun terakhir.
4. Daya terpasang.
5. Masukan dari observasi visual.

Berdasarkan observasi langsung dari hasil wawancara singkat dengan operator tentang hal-hal yang berkaitan dengan operasi penggunaan energi objek yang diteliti maupun kebutuhan energi keseluruhan bangunan gedung.

C. Perhitungan dan Analisis Data

Perhitungan dilakukan menggunakan data yang tersedia dan diperoleh melalui wawancara dan observasi. Perhitungan profil dan efisiensi penggunaan energi:

1. Hitung intensitas konsumsi energi (kWh/m^2 per tahun) dan indeks konsumsi energi.
2. Hitung kecenderungan konsumsi energi.
3. Hitung persentase potensi penghematan energi.
4. Pilihan untuk audit lanjutan (awal atau rinci).

D. Laporan Audit Energi

Berdasarkan pada seluruh kegiatan pengumpulan dan analisis data yang dilaksanakan, maka laporan audit energi disusun. Laporan audit energi memuat:

1. Potret penggunaan energi.
2. Rekomendasi yang mencakup langkah konservasi energi yang bisa dilaksanakan serta pilihan untuk melanjutkan audit yang lebih lanjut (awal atau rinci).

2. Audit Energi Awal

A. Persiapan

Audit energi awal perlu dilakukan bila audit energi singkat merekomendasikan untuk dilakukan penelitian lebih lanjut pada seluruh bangunan gedung. Atau secara langsung tanpa melalui audit energi singkat. Persiapan audit energi yang dilakukan untuk mendapatkan hasil audit yang sesuai dengan lingkup kegiatan yang ditetapkan mencakup:

1. Penyiapan dokumen terkait termasuk ceklist data.
2. Penyiapan SDM yang sesuai bidang listrik dan mekanis.
3. Penyiapan alat ukur untuk pengukuran sampling.
4. Penetapan jadwal rinci perencanaan.

B. Pengumpulan Data

1. Data Historis

Mencakup dokumentasi bangunan yang sesuai gambar konstruksi terpasang (*as built drawing*), terdiri atas:

- a. Tapak, denah, dan potongan bangunan gedung seluruh lantai.
- b. Denah instalasi pencahayaan bangunan seluruh lantai.
- c. Diagram garis tunggal, lengkap dengan penjelasan penggunaan daya listrik dan besarnya penyambungan daya listrik PLN serta besarnya daya listrik cadangan dari set generator.
- d. Pembayaran rekening listrik bulanan bangunan gedung selama satu tahun terakhir dan rekening pembelian bahan bakar minyak (BBM), bahan bakar gas (BBG), dan air.
- e. Beban penghunian bangunan selama 1 tahun terakhir.

2. Pengukuran Singkat

Alat ukur yang digunakan adalah portable dan pengukuran dilakukan secara sampling di sejumlah titik pengguna energi utama.

3. Masukan dari Observasi Visual

Dikumpulkan berdasarkan observasi langsung dan wawancara dengan operator tentang hal-hal yang berkaitan dengan kinerja operasi penggunaan energi pada objek yang diaudit maupun kebutuhan energi total bangunan gedung.

C. Perhitungan dan Analisis Data

Perhitungan sederhana untuk profil dan efisiensi penggunaan energi dilakukan dengan menggunakan data yang terkumpul menghasilkan:

1. Intensitas konsumsi energi (kWh/m² per tahun) dan indeks konsumsi energi.
2. *Simple payback period*.
3. Neraca energi sederhana.
4. Persentase peluang penghematan energi.
5. Rekomendasi pilihan dengan urutan prioritas langkah penghematan energi.

D. Pembahasan Hasil Sementara Audit

Untuk mendapatkan hasil audit yang sesuai dengan kebutuhan dan keinginan dari pemilik gedung maka diskusi dan presentasi harus dilakukan minimal satu kali sebelum laporan akhir.

E. Laporan Audit Energi

Berdasarkan pada seluruh kegiatan yang dilaksanakan, maka laporan audit energi awal disusun. Laporan audit energi awal harus memuat:

1. Potret penggunaan energi.
2. Potensi penghematan energi dan biaya pada objek yang diteliti.
3. Rekomendasi spesifik.
4. Apabila diperlukan, rekomendasi tindak lanjut ke audit energi rinci.

3. Audit Energi Rinci

A. Persiapan

Audit energi rinci perlu dilakukan bila audit energi singkat/audit energi awal merekomendasikan untuk dilakukan penelitian lebih lanjut pada seluruh bangunan gedung atau pada objek khusus/spesifik yang dianggap memiliki potensi penghematan energi besar dan menjanjikan tingkat perbaikan cukup menarik. Umumnya IKE yang lebih besar dari nilai benchmark atau target yang ditentukan merupakan alasan untuk merekomendasikan kegiatan audit energi rinci.

Persiapan audit energi dilakukan adalah untuk mendapatkan hasil audit yang sesuai dengan lingkup kegiatan yang ditetapkan. Persiapan yang dilakukan mencakup:

1. Penyiapan dokumen terkait termasuk daftar periksa data audit.
2. Penyiapan SDM yang sesuai bidang listrik dan mekanis serta arsitektur.
3. Penyiapan alat ukur untuk pengukuran detail yang dilakukan secara periodik.
4. Penetapan jadwal rinci perencanaan.

B. Pengumpulan Data

1. Data Historis

Mencakup dokumentasi bangunan yang sesuai gambar konstruksi terpasang, terdiri atas:

- a. Tapak, denah, dan potongan bangunan gedung seluruh lantai.
- b. Denah instalasi pencahayaan bangunan seluruh lantai.
- c. Diagram garis tunggal, lengkap dengan penjelasan penggunaan daya listrik dan besarnya penyambungan daya listrik PLN serta besarnya daya listrik cadangan dari set generator.
- d. Pembayaran rekening listrik bulanan bangunan gedung selama satu tahun terakhir dan rekening pembelian BBM, BBG, dan air.
- e. Beban penghunian bangunan selama satu tahun terakhir.

2. Pengukuran Langsung

Alat ukur terkalibrasi yang digunakan dapat berupa alat ukur tetap (fixed) pada instalasi atau alat ukur portable. Pengukuran langsung pada peralatan utama mencakup:

- a. Parameter operasi.
- b. Profil (jam, harian).
- c. Kinerja alat.

3. Masukan dari Pengamatan

Dikumpulkan berdasarkan observasi langsung dan hasil wawancara mendalam dengan operasi tentang hal-hal yang berkaitan dengan kinerja operasi penggunaan energi objek yang diteliti maupun kebutuhan energi keseluruhan bangunan gedung.

C. Perhitungan dan Analisis Data

Analisis data energi dapat dilakukan dengan penggunaan program komputer yang telah direncanakan untuk kepentingan itu dan diakui oleh masyarakat profesi.

1. Perhitungan Profil dan Efisiensi Penggunaan Energi.

- a. Hitung rincian penggunaan energi pada objek yang diteliti.
- b. Hitung intensitas konsumsi energi (kWh/m² per tahun) dan indeks konsumsi energi.
- c. Hitung kinerja operasi aktual (rata-rata, maksimum, dan minimum).

2. Analisis Data.

- a. Gambarkan grafik kecenderungan konsumsi energi atau energi spesifik dengan parameter operasi, jam, harian, mingguan, atau bulanan.
- b. Lihat korelasi antara intensitas energi atau konsumsi energi dengan parameter operasi.
- c. Tentukan parameter operasi yang dominan terhadap konsumsi energi maupun intensitas energi dari objek yang diteliti.
- d. Lihat kemungkinan perbaikan kinerja dan efisiensi penggunaan energi.
- e. Hitung peluang penghematan energi jika perbaikan kinerja tersebut dilakukan:
Apabila peluang hemat energi telah diidentifikasi, selanjutnya perlu ditindak lanjuti dengan analisis peluang hemat energi, yaitu dengan cara membandingkan potensi perolehan hemat energi dengan biaya yang harus dibayar untuk pelaksanaan rencana penghematan energi yang direkomendasikan. Analisis peluang hemat dapat juga dilakukan dengan penggunaan program komputer yang telah direncanakan untuk kepentingan itu dan diakui oleh masyarakat profesi. Penghematan energi pada bangunan gedung harus tetap memperhatikan kenyamanan penghuni. Analisis peluang hemat energi dilakukan dengan usaha antara lain, menekan penggunaan energi hingga sekecil mungkin (mengurangi daya terpasang/terpakai dan jam operasi), memperbaiki kinerja peralatan, dan menggunakan sumber energi yang murah.

D. Analisis Finansial Hemat Energi.

1. Hitung biaya yang diperlukan untuk implementasi perbaikan dimaksud.
2. Lakukan analisis finansial untuk setiap peluang penghematan energi yang ada.
3. Lakukan analisis sensitifitas penghematan energi yang menjanjikan penghematan besar dengan tingkat kelayakan yang cukup menarik.
4. Rekomendasikan pilihan dengan urutan prioritas langkah penghematan energi.

E. Pembahasan Hasil Sementara Audit

Untuk mendapatkan hasil audit yang sesuai dengan kebutuhan dan keinginan dari pemilik gedung maka diskusi dan presentasi harus dilakukan minimal satu kali sebelum laporan akhir final.

F. Laporan Audit Energi

Berdasarkan pada seluruh kegiatan yang dilaksanakan, maka laporan audit energi rinci disusun. Laporan audit energi rinci harus memuat:

1. Potret penggunaan energi.

2. Kinerja operasi aktual penggunaan energi untuk berbagai kondisi dan beban.
3. Faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja operasi.
4. Potensi penghematan energi dan biaya pada objek yang diteliti.
5. Kajian teknis dan finansial penghematan energi.

G. Rekomendasi

Rekomendasi yang dibuat mencakup masalah:

1. Pengelolaan energi termasuk program manajemen yang perlu diperbaiki, implementasi audit energi yang lebih baik, dan cara meningkatkan kesadaran penghematan energi.
2. Pemanfaatan energi, termasuk langkah-langkah:
 - a. Peningkatan efisiensi penggunaan energi tanpa biaya, misalnya mengubah prosedur.
 - b. Perbaikan dengan investasi kecil.
 - c. Perbaikan dengan investasi besar.

2.7 Identifikasi Potensi Penghematan Energi

Pengumpulan data pada pelaksanaan audit energi ditujukan untuk mendapatkan informasi mengenai kondisi performance peralatan penggunaan energi dan teknologi yang digunakan serta kondisi operasi proses pada masing-masing peralatan penggunaan energi. Data yang terkumpul berupa data primer dan data sekunder.

2.7.1 Data Primer

Data primer dilakukan melalui survei lapangan guna untuk mendapatkan informasi data teknis dan operasi aktual serta spesifikasi peralatan yang berkaitan dengan operasional peralatan penggunaan energi di industri. Kegiatan pengumpulan data primer ini diawali dengan *walk-trough* ke lapangan mengetahui kondisi operasi peralatan penggunaan energi serta menentukan titik-titik pengukuran yang diperlukan. Data operasi aktual pada unit spinning 1 antara lain meliputi: *input* dan *output*, konsumsi energi, kondisi operasi, serta faktor/parameter lain yang turut menentukan operasi yang akan dikumpulkan berdasarkan data *logsheet* peralatan pengguna energi. Data dan parameter proses pada kondisi operasi aktual yang tidak tercatat dari *logsheet* pabrik ataupun ruang kendali (*control room*) tetapi diperlukan dalam evaluasi, dapat diperoleh dengan cara melakukan pengukuran langsung (*load survei*) dan parameter- parameter pengoperasian kondisi kelistrikan (tegangan, arus, faktor daya dan lain-lain) serta parameter- parameter lainnya yang diperlukan untuk dianalisis.

2.7.2 Data Sekunder

Data sekunder ini diperlukan untuk mendapatkan informasi mengenai spesifikasi *design* peralatan pengguna energi dan kondisi operasi pada unit spinning 1, yang akan digunakan untuk mendukung analisis data primer dan evaluasi selanjutnya. Data sekunder yang dikumpulkan pada setiap industriyan dilakukan assesmen energi antara lain mencakup:

- a. *Logsheet* data operasi peralatan penggunaan energi
- b. Sistem utilitas pabrik
- c. Informasi mengenai data-data kegiatan modifikasi yang pernah dilakukan, baik dalam rangka peningkatan efisiensi, reliabilitas, kapasitas maupun konservasi energi.

2.8 Audit Sistem Penerangan

Sistem penerangan atau pencahayaan adalah suatu cara yang digunakan dalam memanfaatkan cahaya alami maupun buatan. Tata cahaya harus didesain senyaman mungkin agar aktifitas pada kegiatan gedung tidak terganggu. Tata cahaya ada 2 (dua) jenis yaitu :

1. Tata cahaya alami.

Tata cahaya alami tanpa menggunakan energi listrik karena sudah tersedia tinggal cara pemanfaatannya dalam sebuah gedung yang didesain sesuai standar bangunan gedung. apabila cahaya alami dapat dimanfaatkan untuk penerangan pada siang hari untuk menerangi ruangan maka dapat menghemat energi listrik.

2. Tata cahaya buatan.

Tata cahaya buatan memerlukan energi listrik. Pada tata cahaya buatan harus didesain sesuai dengan standar tingkat pencahayaan.

2.8.1 Perhitungan Tingkat Penerangan

Tingkat pencahayaan adalah besarnya cahaya yang menerangi bidang kerja. Tingkat pencahayaan pada ruangan dapat diperoleh dengan pengukuran menggunakan lux meter dengan cara dibandingkan dengan nilai standar sesuai SNI 03-6197-2000. Tingkat pencahayaan pada ruangan sangat penting untuk mengetahui penerangan yang ada ruangan ruangan sudah memenuhi kriteria atau belum.

Tabel 2.1 Standar tingkat pencahayaan (SNI 03-6197-2000).

Fungsi Ruangan	Tingkat Pencahayaan (Lux)
Perkantoran :	
Ruang Direktur	350
Ruang Kerja	350
Ruang Komputer	350
Ruang Rapat	300
Industri :	
Gudang	100
Pekerjaan Kasar	100 - 200
Pekerjaan Menengah	200 - 500
Pekerjaan Halus	500 - 1000
Pekerjaan Amat Halus	1000 - 2000
Pemeriksaan Warna	750
Rumah Ibadah :	
Masjid	200

Tingkat pencahayaan pada setiap ruangan berbeda tergantung fungsi dan jenis pekerjaan. Untuk mengetahui tingkat pencahayaan pada masing-masing ruangan dapat diukur menggunakan lux meter, atau menggunakan rumus :

$$E \text{ rata-rata} = \frac{F_{\text{total}} \times K_p \times K_d}{A} \quad (2.2)$$

Dimana :

F_{total} = fluks luminous total lampu (lumen)

A = Luas Ruang (m^2)

K_p = Koefisien Penggunaan.

K_d = Koefisien depresiasi

E rata-rata = tingkat pencahayaan rata-rata (Lux)

Berkaitan dengan penghematan energi, SNI 03-6197 tahun 2000 bahwa daya listrik maksimal untuk kebutuhan pencahayaan sesuai dengan (tabel 2.2), contoh pada ruang

direktur daya pencahayaan maksimal 15 W/m² artinya setiap luas 1 m² total daya maksimum untuk lampu yang dapat digunakan adalah 15 Watt.

Tabel 2.2 Daya listrik maksimum untuk pencahayaan (SNI 6197, 2000).

Fungsi Ruangan	Daya Pencahayaan maks (W/m ²)
Ruang Direktur	15
Ruang Kerja	15
Ruang Komputer	15
Ruang Rapat	25
Gudang	5
Industri	20
Lobi	10
Ruang parkir	5

2.8.2 Perhitungan Kebutuhan Lampu

Jumlah lampu yang diperlukan dalam suatu ruangan digunakan untuk mendapatkan tingkat pencahayaan sesuai standar. Untuk memperoleh tingkat pencahayaan yang sesuai standar dapat digunakan rumus :

$$F_{total} = \frac{E \times A}{K_p \times K_d} \quad (2.3)$$

Sedangkan untuk mengetahui jumlah lampu yang dibutuhkan dapat menggunakan rumus :

$$N_{total} = \frac{F_{total}}{Fl \times n} \quad (2.4)$$

E = tingkat pencahayaan sesuai standar SNI 6197 (Lux)

A = Luas ruangan (m²)

K_p = Koefisien Depresiasi sebesar 0.8 menurut standar SNI 6575 tahun 2001

K_d = Koefisien Penyusutan 0.84 sesuai dengan standar

N_{total} = Jumlah Lampu 1 ruangan

F_1 = Fluks luminous dalam 1 lampu (Lumen)

n = jumlah lampu 1 armature

2.8.3 Jenis- Jenis Lampu

Nilai lux juga dipengaruhi oleh jenis lampu yang digunakan pada sebuah ruangan, jenis- jenis lampu yaitu :

1. Lampu Halogen

Lampu halogen adalah lampu pijar yang memiliki temperature tinggi sehingga partikel tungsten menguap dan menempel di permukaan lampu. Pada lampu halogen partikel yang menempel tersebut tidak terjadi penghitaman karena adanya gas halogen yang dapat mencegahnya. umur lampu halogen lebih lama dibandingkan lampu pijar.

2. Lampu Flouresen

Lampu flouresen adalah lampu tabung terbuat dari kaca yang tersekat. Didalam lampu dilapisi warna putih dan diisi gas inert dengan sedikit *mercury*. Pada lampu jenis ini membutuhkan ballast dalam menyalakan sehingga terdapat kedip pada saat lampu sebelum menyala dan ballast tersebut juga memiliki daya tambahan. Lampu flouresen cocok untuk pencahayaan pada pekantoran dan area komersil lainnya

3. Lampu Pijar

Lampu pijar adalah sumber cahaya buatan yang dihasilkan melalui penyaluran arus listrik melalui *filament* yang kemudian memanaskan dan menghasilkan cahaya. Kaca yang menyelubungi filamen panas tersebut menghalangi udara untuk berhubungan dengannya sehingga filamen tidak akan langsung rusak akibat teroksidasi. Lampu pijar dipasarkan dalam berbagai macam bentuk dan tersedia untuk tegangan (voltase) kerja yang bervariasi dari mulai 1,25 volt hingga 300 volt. Energi listrik yang diperlukan lampu pijar untuk menghasilkan cahaya yang terang lebih besar dibandingkan dengan sumber cahaya buatan lainnya seperti lampu pendar dan diode cahaya, maka secara bertahap pada beberapa negara peredaran lampu pijar mulai dibatasi.

4. LED

LED (Lighting Emitted Diode) adalah lampu dengan teknologi terbaru dengan material diode semikonduktor yang mampu mengalirkan listrik. Lampu *LED* mengalirkan listrik dan tidak perlu adanya pembakaran bahan kimia, sehingga lampu ini tidak menimbulkan panas berlebih seperti lampu TL ataupun flouresen. Dengan watt yang kecil akan tetapi cahaya yang dihasilkan seperti watt yang besar oleh karena itu

kebanyakan pada saat ini masyarakat beralih ke lampu *LED* karena keunggulannya dibanding jenis lampu lainnya.

Tabel 2.3 Perbandingan lampu .

NO	Lampu	Efisiensi	Umur lampu
1	Pijar	14 lumen/W	1.000 jam
2	Halogen	20 lumen/W	2.000 – 4.000 jam
3	TL	80 lumen/W	6.000 jam
4	CFL	60 lumen/W	8.000 – 10.000 jam
5	<i>LED</i>	100 lumen/W	50.000 jam

Tabel 2.4 Spesifikasi Lampu (Philips Catalogue)

Lampu terpasang	Lumen	Umur lampu	<i>LED</i>	Lumen	Umur lampu
TL 18 W	1050	10.000	TL <i>LED</i> 10 W	1050	40.000
8 W	430	8800	6 W	470	15.000
14 W	810	8800	13 W	1400	15.000
23 W	1370	8800	13 W	1400	15.000

2.8.4 Pemilihan *Retrofit* Lampu

Retrofit atau pergantian lampu merupakan teknik yang digunakan untuk mengganti lampu yang lama dengan teknologi yang terbaru .

Alasan dilakukan *retrofit* :

1. Untuk dapat menghemat energi listrik.
2. Lampu *LED* memiliki umur yang lebih lama dibandingkan lampu biasa, yaitu dengan daya tahan 20-25 tahun.
3. Lampu *LED* tidak menghasilkan sinar UV.
4. Lampu *LED* memiliki efisiensi energi yang lebih baik.
5. Lampu *LED* memiliki tegangan DC yang rendah

6. Lampu *LED* tidak menghasilkan panas akan tetapi energi listrik langsung menjadi cahaya tanpa harus melakukan pemanasan bahan kimia terlebih dahulu. (Mahmudah, 2017)

2.9 Audit Sistem Tata Udara

Sistem tata udara adalah seluruh sistem yang mengendalikan kondisi udara pada sebuah gedung melalui pengendalian termal, penyebaran udara, serta kualitas udara. Sehingga dapat diperoleh kondisi ruangan yang bersih, segar dan nyaman bagi penghuninya. Pengendalian termal meliputi suhu dan kelembaban pada ruangan harus diperhatikan. Untuk kenyamanan dapat diperoleh suhu ruangan antara 24 sampai 27 °C dengan nilai kelembaban udara 55 sampai 65 %. Dalam memenuhi kriteria tersebut maka diperlukan peralatan tambahan yaitu penyejuk udara seperti AC (*Air Conditioning*). Sistem pengkondisian udara pada sebuah gedung kebutuhan energinya 40 sampai 70 %.

Beban energi sistem tata udara menggunakan jumlah jam dalam pengoperasian dan karakteristik pemakaian daya aktual. Dalam memperkirakan pemakaian beban perbulan maka harus mengukur pada kebutuhan pemakaian tiap hari kemudian dikalikan jumlah hari pengoperasian dalam satu bulan. Pada bangunan gedung perkantoran AC umumnya menggunakan sistem pendingin udara terpusat (AC Central). (Mahmudah, 2017)

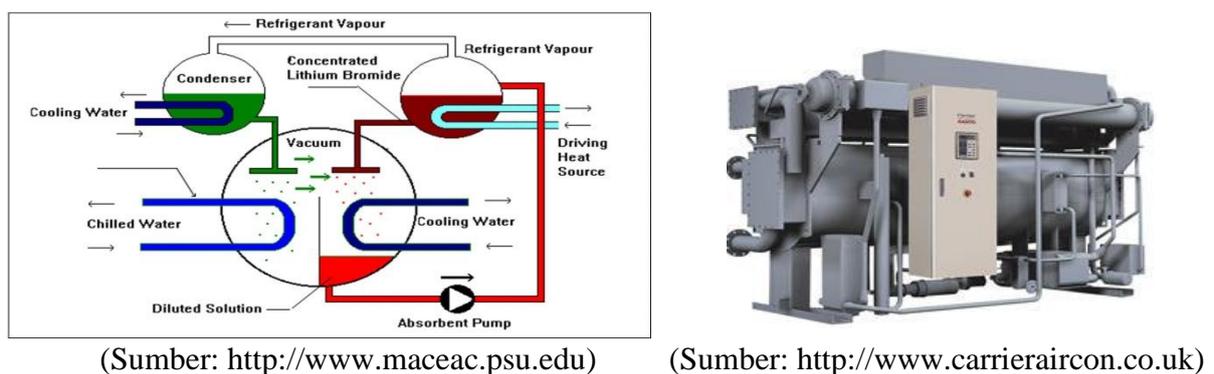
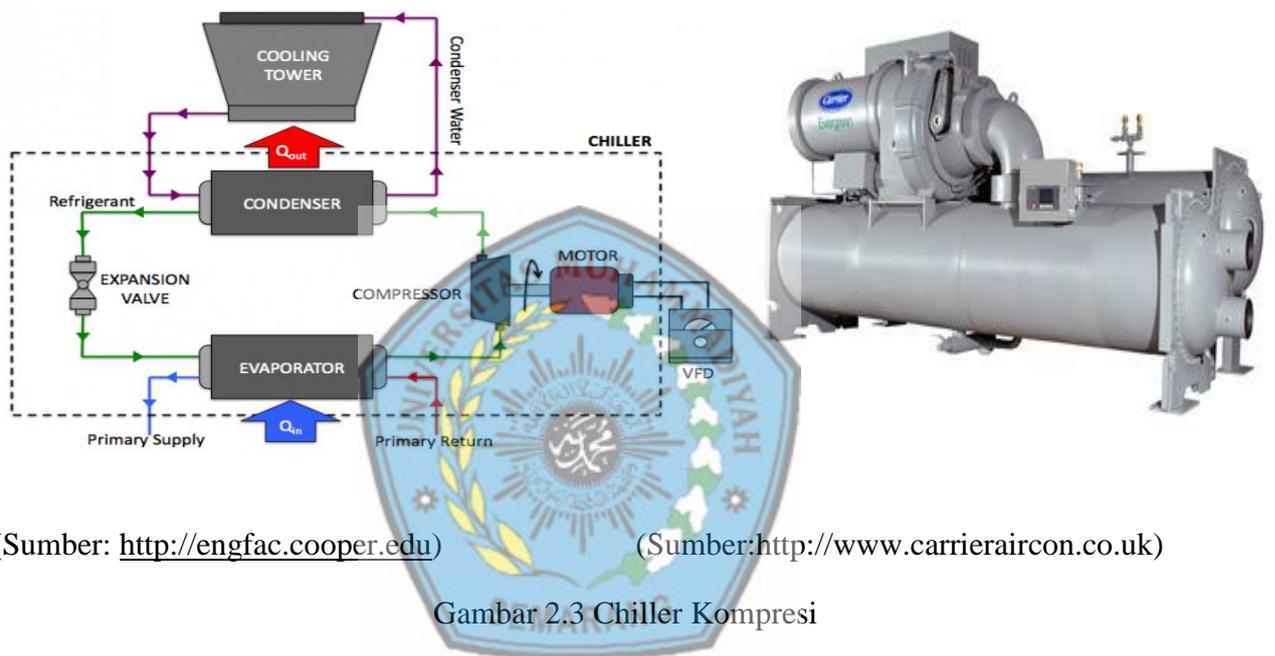
Untuk mencapai suhu yang diinginkan dalam ruangan maka dibutuhkan pendingin ruangan atau AC. Audit sistem pendingin ruangan ini bertujuan untuk mengetahui kondisi suhu dan kelembaban dalam suatu ruangan dan mengetahui efisiensi penggunaan peralatan pendingin ruangan.

Mesin pendingin atau disebut chiller bukan hanya dijumpai atau diinstalasi di gedung-gedung sebagai elemen pokok pada sistem tata udara atau *air conditioning* (AC). Chiller juga dijumpai di industri/pabrik untuk memenuhi kebutuhan fluida dingin. Pada penerapannya di industri, air dingin atau jenis cairan lainnya dari chiller dimanfaatkan di unit proses atau peralatan laboratorium. Chiller digunakan di banyak industri, misalnya industri-industri plastik, logam, bahan-bahan kimia, farmasi, makanan dan minuman, kertas, tekstil, percetakan, peralatan medis, penerbangan, serta beberapa lainnya. Sebagai mesin konversi energi, sistem chiller merupakan sistem yang perlu diperhitungkan dalam pelaksanaan audit energi di industri-industri yang menggunakannya. Hal ini mengingat energi (listrik) yang dikonsumsi chiller tergolong signifikan. Terhadap sistem chiller di industri, analisis beban dan kinerja yang meliputi: operasional rutin, pembebanan kerja, nilai kinerja chiller, dan

faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja chiller perlu untuk dilakukan. Dari hasil analisis ini dapat diketahui status terakhir chiller sekaligus potensi penghematan energi dan biayanya.

2.9.1 Definisi Dan Jenis Chiller

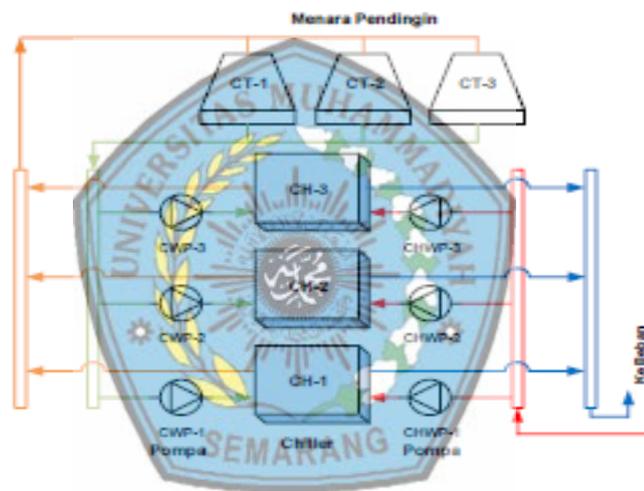
Chiller adalah mesin pendingin yang bekerja dengan cara memindahkan panas dari satu media ke media lainnya melalui proses kompresi atau absorpsi uap. Uap yang digunakan disebut *refrigerant*. Sehingga berdasarkan prosesnya, chiller terbagi menjadi dua macam, yaitu chiller kompresi dan absorpsi, seperti tampak pada Gambar 2.3 dan gambar 2.4



Adapun cara pembuangan panas dari chiller terdiri atas dua macam, yaitu oleh udara dan air. Chiller yang didinginkan oleh udara disebut *air-cooled chiller*. Sedangkan chiller yang didinginkan oleh air disebut *water-cooled chiller*.

2.9.2 Instalasi Chiller

Chiller adalah suatu perangkat yang tidak bisa berdiri sendiri. Dalam penggunaannya, chiller terpasang dengan perangkat-perangkat pendukung seperti pompa, pipa, serta asesoris dan sensor kelengkapannya. Pada chiller tipe *water-cooled*, terdapat pula menara pendingin (cooling tower) yang berfungsi untuk mendinginkan chiller. Sedangkan pada proses pertukaran panas secara tidak langsung dibutuhkan penukar panas (*heat exchanger*). Penukar panas dipasang antara chiller dengan beban pendinginan atau dengan menara pendingin. Contoh instalasi chiller seperti tampak pada Gambar 2.5



Gambar 2.5 Contoh instalasi chiller

2.9.3 Pemilihan Tata Udara

Pemilihan tata udara dimaksudkan agar sistem dan peralatan yang digunakan sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI 03-6390 tahun 2011). Dalam memilih sistem dan peralatan tata udara terutama pada industri pabrik harus memperhitungkan konsumsi energi paling besar dalam satu tahun. Diperlukan juga mengetahui karakteristik sistem udara dalam merespon ketika terjadi fluktuasi beban akibat kegiatan dalam ruangan secara sesaat seperti ruang aula atau ruang rapat tidak selalu digunakan akan tetapi pada saat dipakai akan terjadi peningkatan beban penghuni yang menyebabkan meningkatnya konsumsi pada pendingin ruangan. Fluktuasi beban terjadi selama perubahan waktu sesaat, agar peralatan bekerja

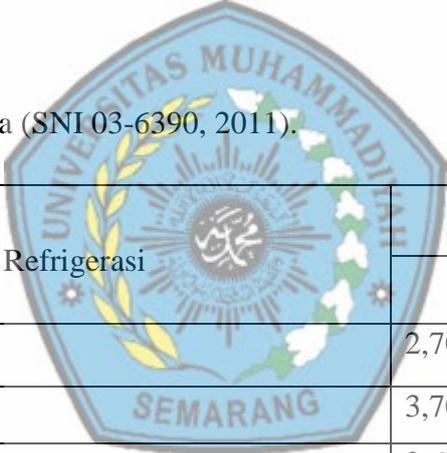
dengan baik maka harus memiliki nilai efisiensi yang baik. Dengan memilih efisiensi yang baik terdapat pada spesifikasi alat maka akan diperoleh nilai performa AC.

COP atau sering disebut *Coefficient Of Performance* merupakan perbandingan antara kalor yang diserap oleh sistem pendingin energi input . Dalam menghitung performa AC dapat digunakan rumus:

$$COP = \frac{\text{Efek Pendinginan (kW)}}{\text{Daya Input (Kw)}} \quad (2.5)$$

Nilai COP yang dihasilkan harus di sesuaikan dengan nilai COP pada standar SNI 6390 tahun 2011.

Tabel 2.5 Efisiensi Tata Udara (SNI 03-6390, 2011).

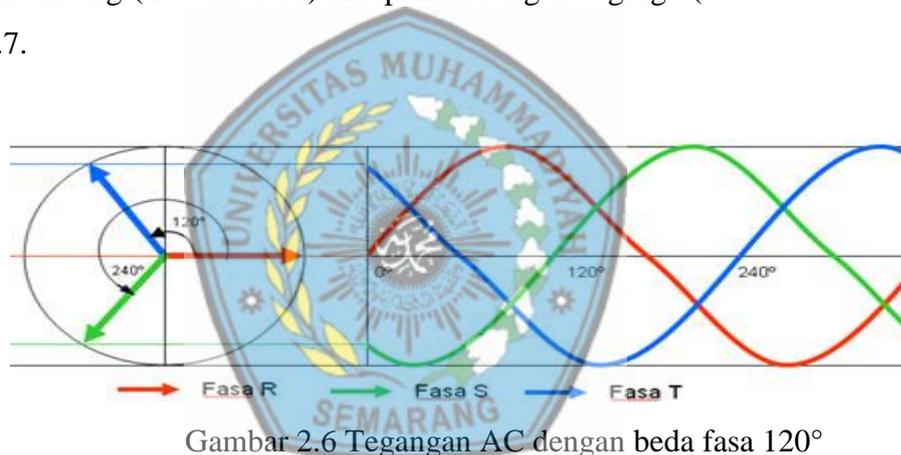


Tipe Mesin Refrigerasi	Efisiensi minimum	
	COP	KW/TR
<i>Split</i> < 65.000 BTU/h	2,70	1,303
<i>Varriable Refrigerant Value</i>	3,70	0,951
<i>Split Duct</i>	2,60	1,353
Air Cooled Chiller < 150 TR (recip)	2,80	1,256
Air Cooled Chiller < 150 TR (screw)	2,90	1,213
Air Cooled Chiller > 150 TR (recip)	2,80	1,256
Air Cooled Chiller > 150 TR (screw)	3,00	1,172
Water Cooled Chiller < 150 TR (recip)	4,00	0,879
Water Cooled Chiller < 150 TR (screw)	4,10	0,858
Water Cooled Chiller > 150 TR (recip)	4,26	0,826
Water Cooled Chiller > 150 TR (screw)	4,40	0,799
Water Cooled Chiller > 150 TR (centrifugal)	6,05	0,581

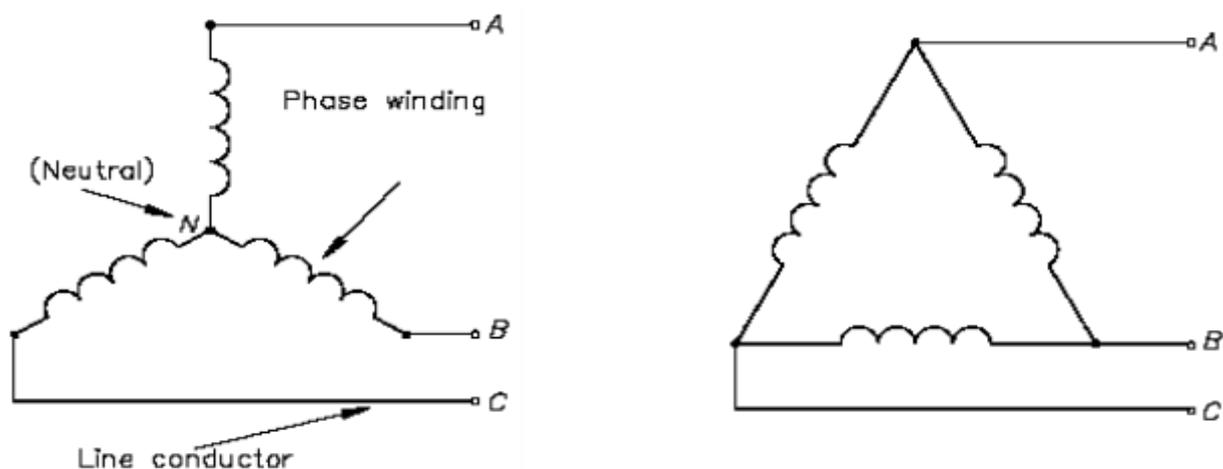
2.10 Sistem Tenaga Listrik

2.10.1 Sistem Tiga Fasa

Sebuah sistem tiga fasa merupakan kombinasi dari tiga buah sistem satu fasa. Dalam sistem tiga fasa yang seimbang, daya bersumber dari sebuah generator AC yang menghasilkan tiga tegangan terpisah namun sama besarnya di mana saling memiliki perbedaan fasa sebesar 120° (Gambar 2.6). Meskipun rangkaian satu fasa digunakan luas dalam sistem kelistrikan, pembangkitan dan distribusi arus bolak-balik adalah menggunakan sistem tiga fasa. Rangkaian tiga fasa membutuhkan berat penghantar yang lebih sedikit dibandingkan dengan sistem satu fasa dengan rating daya yang sama. Sistem tiga fasa lebih fleksibel dalam pemilihan tegangan dan dapat digunakan untuk beban satu fasa. Kemudian peralatan dengan sistem tiga fasa memiliki ukuran yang lebih kecil, massa yang lebih ringan, dan lebih efisien daripada mesin satu fasa dengan kapasitas yang sama. Sistem tiga fasa dapat dihubungkan dalam hubungan bintang (Y-connected) maupun hubungan segitiga (*delta-connected*) seperti pada Gambar 2.7.



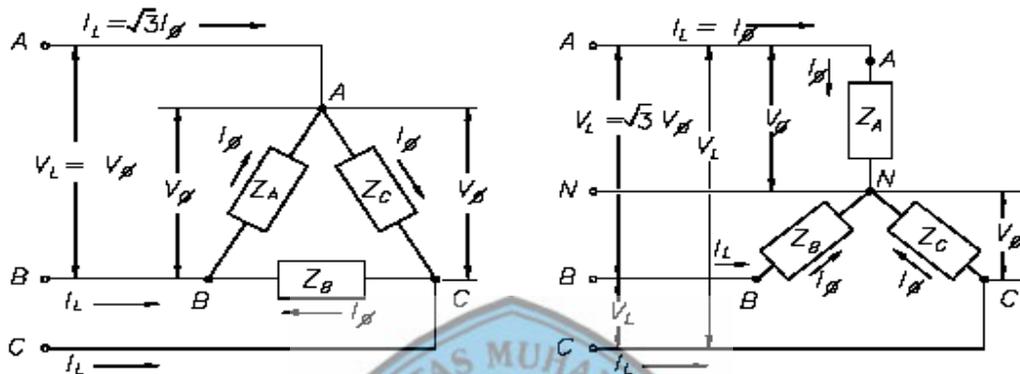
Gambar 2.6 Tegangan AC dengan beda fasa 120°



Gambar 2.7 Hubungan untuk sistem tiga fasa

2.10.2 Daya Pada Sistem Tiga Fasa Yang Seimbang

Sebuah beban seimbang memiliki impedansi yang identik pada tiap kumparan sekundernya (Gambar 2.8). Jumlah daya yang diberikan oleh suatu generator 3 fase atau daya yang diserap oleh beban 3 fase, diperoleh dengan menjumlahkan daya dari tiap-tiap fase. Pada sistem yang seimbang, daya total tersebut sama dengan tiga kali daya fase, karena daya pada tiap-tiap fasenya sama.



Gambar 2.8 Jenis-jenis beban tiga fasa seimbang

Pada beban delta seimbang, tegangan *line* V_L dan tegangan fasa V_p adalah sama, dan arus *line* I_L adalah $\sqrt{3}$ kali arus fasa I_p ditunjukkan dengan persamaan berikut:

$$V_L = V_p \quad (2.6)$$

$$I_L = \sqrt{3}I_p \quad (2.7)$$

Untuk beban bintang seimbang, arus *line* I_L memiliki nilai yang sama dengan arus fasa I_p , arus netral I_N sama dengan nol, dan tegangan *line* V_L sama dengan $\sqrt{3}$ kali tegangan fasa V_p ditunjukkan dalam persamaan berikut:

$$I_L = I_p \quad (2.8)$$

$$I_N = 0 \quad (2.9)$$

$$V_L = \sqrt{3}V_p \quad (2.10)$$

Karena impedansi fasa dari beban bintang atau delta seimbang memiliki besar arus yang sama, daya tiap kumparan besarnya sepertiga dari daya total.

Daya pada tiap kumparan adalah :

$$P_p P_p = V_p I_p \cos \theta \quad (2.11)$$

Dan daya total P_T adalah:

$$P_T = 3V_p I_p \cos \theta \quad (2.12)$$

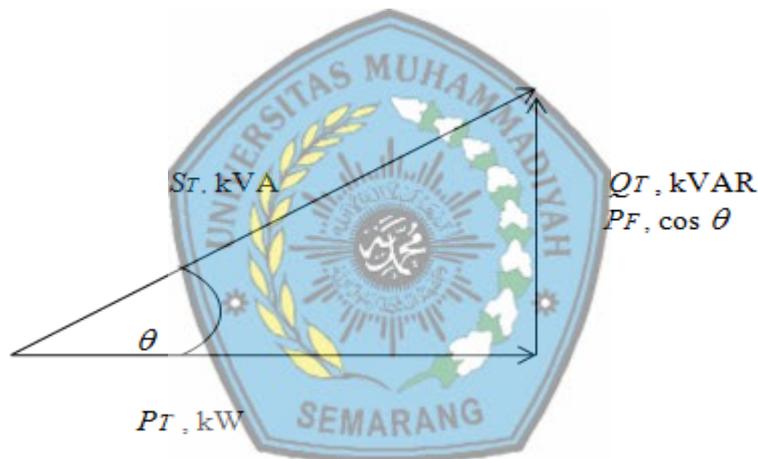
Pada beban delta seimbang di mana $V_L = V_p$ dan $I_p = \sqrt{3}I_L/3$, daya totalnya adalah :

$$P_T = \sqrt{3}V_L I_L \cos \theta \quad (2.13)$$

Pada beban bintang seimbang di mana $I_L = I_p$ dan $V_p = \sqrt{3}V_L/3$, jika disubstitusikan ke persamaan 2.11 akan diperoleh daya total :

$$P_T = \sqrt{3}V_L I_L \cos \theta \quad (2.14)$$

Jadi persamaan daya total untuk hubungan bintang maupun delta adalah identik. θ merupakan sudut fasa antara tegangan dan arus pada impedansi beban sehingga $\cos \theta$ merupakan faktor daya dari beban.



Gambar 2.9 Hubungan segitiga daya pada rangkaian tiga fasa

Total daya kompleks S_T dinyatakan dalam voltampere dan total daya reaktif Q_T dinyatakan dalam Voltampere reaktif memiliki hubungan dengan daya nyata P_T yang dinyatakan dalam Watt seperti pada gambar 2.9. Oleh karena itu, beban tiga fasa seimbang memiliki daya nyata, daya kompleks, dan daya reaktif yang dinyatakan dengan persamaan:

$$P_T = \sqrt{3}V_L I_L \cos \theta \quad (2.15)$$

$$S_T = \sqrt{3}V_L I_L \quad (2.16)$$

$$Q_T = \sqrt{3}V_L I_L \sin \theta \quad (2.17)$$

dengan:

P_T = Daya nyata total, W

S_T = Daya kompleks total, VA

Q_T = Daya reaktif total, VAR

V_L = Tegangan *line*, V

I_L = Arus *line*, A

θ = Sudut fasa

$\sqrt{3} = 1,73$, konstanta

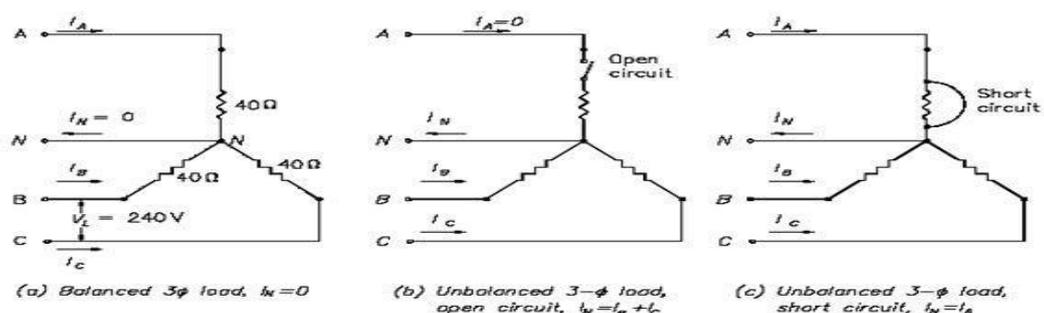
2.10.3 Daya Pada Sistem Tiga Fasa Yang Tidak Seimbang

Sifat terpenting dari pembebanan yang seimbang adalah jumlah phasor dari ketiga tegangan adalah sama dengan nol, begitupula dengan jumlah phasor dari arus pada ketiga fase juga sama dengan nol. Jika impedansi beban dari ketiga fase tidak sama, maka jumlah phasor dan arus netralnya (I_n) tidak sama dengan nol dan beban dikatakan tidak seimbang. Ketidakseimbangan beban ini dapat saja terjadi karena hubung singkat atau hubung terbuka pada beban.

Dalam sistem 3 fase ada 2 jenis ketidakseimbangan, yaitu:

1. Ketidakseimbangan pada beban.
2. ketidakseimbangan pada sumber listrik (sumber daya).

Kombinasi dari kedua ketidakseimbangan sangatlah rumit untuk mencari pemecahan permasalahannya, oleh karena itu kami hanya akan membahas mengenai ketidakseimbangan beban dengan sumber listrik yang seimbang. (Yasef, 2008)



Gambar 2.10 Ketidakseimbangan beban pada sistem 3 fase.

2.10.4 Arus Beban Penuh Pada Transformator

Daya transformator bila ditinjau dari sisi tegangan tinggi (primer) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \quad (2.18)$$

dimana:

S = daya transformator (kVA)

V = tegangan sisi primer transformator (kV)

I = arus jala-jala (A)

Sehingga untuk menghitung arus beban penuh (*full load*) dapat menggunakan rumus :

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} \quad (2.19)$$

dimana:

I_{FL} = arus beban penuh (A)

S = daya transformator (kVA)

V = tegangan sisi sekunder transformator (kV)



2.10.5 Losses (rugi-rugi) Akibat Adanya Arus Netral pada Penghantar Netral Transformator

Sebagai akibat dari ketidakseimbangan beban antara tiap-tiap fasa pada sisi sekunder trafo (fasa R, fasa S, fasa T) mengalir arus di netral trafo. Arus yang mengalir pada penghantar netral trafo ini menyebabkan *losses* (rugi-rugi). *Losses* pada penghantar netral trafo ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P_N = I_N^2 \cdot R_N \quad (2.20)$$

dimana:

P_N = *losses* pada penghantar netral trafo (watt)

I_N = arus yang mengalir pada netral trafo (A)

R_N = tahanan penghantar netral trafo (Ω)

Sedangkan *losses* yang diakibatkan karena arus netral yang mengalir ke tanah (*ground*) dapat dihitung dengan perumusan sebagai berikut :

$$P_G = I_G^2 \cdot R_G \quad (2.21)$$

dimana:

P_G = *losses* akibat arus netral yang mengalir ke tanah (watt)

I_G = arus netral yang mengalir ke tanah (A)

R_G = tahanan pembumian netral trafo (Ω)

2.10.6 Penyaluran dan Susut Daya

Misalnya daya sebesar P disalurkan melalui suatu saluran dengan penghantar netral. Apabila pada penyaluran daya ini arus-arus fasa dalam keadaan seimbang, maka besarnya daya dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$P = 3 \cdot [V] \cdot [I] \cdot \cos \varphi \quad (2.22)$$

dengan:

P = daya pada ujung kirim

V = tegangan pada ujung kirim

$\cos \varphi$ = factor daya

Daya yang sampai ujung terima akan lebih kecil dari P karena terjadi penyusutan dalam saluran. Jika [I] adalah besaran arus fasa dalam penyaluran daya sebesar P pada keadaan seimbang, maka pada penyaluran daya yang sama tetapi dengan keadaan tak seimbang besarnya arus-arus fasa dapat dinyatakan dengan koefisien a, b dan c sebagai berikut :

$$\begin{aligned} [I_R] &= a [I] \\ [I_S] &= b [I] \\ [I_T] &= c [I] \end{aligned} \quad (2.23)$$

dengan IR , IS dan IT berturut-turut adalah arus di fasa R, S dan T. Bila faktor daya di ketiga fasa dianggap sama walaupun besarnya arus berbeda, besarnya daya yang disalurkan dapat dinyatakan sebagai :

$$P = (a + b + c) \cdot [V] \cdot [I] \cdot \cos \varphi \quad (2.24)$$

(Setiadji dkk, 2006)

Berikut ini adalah tabel standar atau batas toleransi ketidakseimbangan beban

Tabel 2.6 Standard ANSI (IEEE std 446 – 1980)

No	Parameter	Maksimum
1	Regulasi tegangan keadaan tetap	+5,-10 s/d +10%,-15% (ANSI C84,1-1970) adalah +6,-13%
2	Gangguan tegangan Drop Tegangan sementara Tegangan lebih transien	-25 s/d -30% Tidak lebih dari 0,5 s -100% dengan lama 4 s/d 20 ms +150 s/d 200% tidak lebih dari 0,2 ms
3	Distorsi tegangan Harmonik	3-5% (beban linier)
4	Noise	Tidak ada standart
5	Variasi Frekuensi	50 Hz \pm 0,5 Hz sampai 1 Hz
6	Perubahan Frekuensi	Sekitar 1 Hz
7	Ketidakseimbangan beban	5 s/d 20% maks, Pada setiap fase
8	Ketidakseimbangan tegangan	2,5% s/d 5%
9	Faktor daya	0,18 sampai dengan 0,9
10	Kapasitas beban	0,75 s/d 0,85 (beban terpasang)
Keterangan :		
1,2,5,6 Tergantung pada sumber daya		
3,4,7 Dihasilkan dari interaksi antara sumber dan beban		
8,9,10 Tergantung pada jumlah beban		

2.11 Konsumsi Energi Listrik

Konsumsi energi listrik adalah banyaknya energi yang digunakan selama beberapa waktu dan hasil perkalian antara besarnya daya dengan lamanya penggunaan. Besarnya

energi listrik selalu fluktuatif (berubah-ubah) setiap bulan maupun tahun. Beban energi listrik setiap sektor berbeda-beda. Konsumsi energi listrik dapat dihitung menggunakan rumus :

$$\text{Konsumsi perhari} = \frac{(\sum \text{Watt} \times \text{Jam Penggunaan Per hari})}{1000} \quad (2.25)$$

Dalam mencari nilai konsumsi perbulan maka dikali dengan jumlah penggunaan selama 1 bulan berapa hari, dan untuk mencari konsumsi pertahun dikali 12 bulan. Biaya konsumsi energi listrik tergantung pada harga TDL pada setiap tahun.

$$\text{Biaya energi} = \frac{(\sum \text{Watt} \times \text{Jam Penggunaan Per hari})}{1000} \times \text{TDL} \quad (2.26)$$

Untuk menghitung biaya energi perlu diketahui jam penggunaannya. Karena pada saat malam hari akan dikenakan tarif berbeda yaitu pada saat WBP atau Waktu Beban Puncak adalah waktu beban tertinggi pada PLN selama pukul 17:00 sampai 22:00, pada bulan februari sampai maret 2017 harganya Rp 1553,67. sedangkan waktu LWBP adalah waktu dimana PLN berada pada beban yang masih dalam kategori wajar, LWBP diwaktu selain WBP dan tarifnya lebih murah yaitu Rp 1.035,78. Berikut ini adalah tabel 2.6 tarif listrik dari PLN. (Mahmudah, 2017)



Tabel 2.7 Harga TDL dari PLN

Golongan Tarif	Daya Listrik	TDL
1-3/TM	Lebih dari 2000 kVA	Blok WBP = K x 1.035,78 Blok LWBP = 1.035,78 kVArh = 1.114,74
1-4/ TT	3000 kVA ke atas	Blok WBP dan Blok LWBP = 996,74 kVArh = 996,74
P-1 /TR	6600 VA s.d 200 kVA	1.467,28
P-2/ TM	Lebih dari 200 kVA	Blok WBP = K x 1.035,78 Blok LWBP = 1.035,78 kVArh = 1.114,74
P-3/TR	Lebih dari 200 kVA	1.467,28

2.12 Tarif Listrik

Biaya listrik dikenakan kepada pelanggan yang menggunakan listrik yang bersumber dari Perusahaan Listrik Negara (PLN). Biaya listrik terdiri dari dua komponen yaitu biaya

awal dan biaya bulanan, penjelasan untuk kedua biaya tersebut adalah sebagai berikut:

2.12.1 Biaya Awal

Biaya awal merupakan biaya yang harus dikeluarkan oleh konsumen listrik untuk mendapatkan suplai listrik dari penyedia listrik pada waktu awal.

Biaya awal terdiri dari dua jenis yaitu:

1. Biaya Penyambungan
2. Biaya Jaminan Listrik

2.12.2 Biaya Bulanan

Rekening listrik, seperti diketahui, merupakan biaya yang wajib dibayar pelanggan setiap bulan. Ada beberapa komponen dalam menghitung rekening listrik:

1. Biaya Beban

Adalah biaya yang besarnya tetap, dihitung berdasarkan daya kontrak. Khusus untuk golongan tarif H-3, I-4 untuk tanur busur dan I-5 Biaya Beban dihitung berdasarkan pembacaan kVA Max.

2. Biaya Pemakaian (kWh)

Adalah biaya pemakaian energi, dihitung berdasarkan jumlah pemakaian energi yang diukur dalam kWh. Untuk golongan tarif tertentu, pemakaian energi ini dipilih menjadi dua bagian yaitu:

- a. Pemakaian WBP dan pemakaian LWBP.
- b. Untuk golongan tarif R-2 Biaya Pemakaian dihitung berdasarkan sistem blok.

3. Biaya Kelebihan Pemakaian (kVARh)

Adalah biaya yang dikenakan untuk pelanggan golongan tarif S-3, B-3, I-2, I-3, I-4, P-2, apabila jumlah pemakaian kVARh yang tercatat dalam 1 (satu) bulan lebih tinggi dari $0.62 \times$ jumlah kWh bulan yang bersangkutan, sehingga faktor daya ($\text{Cos}\theta$) rata-rata kurang dari 0,85.

4. Biaya Pemakaian Trafo

Adalah biaya yang dikenakan untuk pelanggan tertentu, yang tidak dapat menyediakan trafo sendiri.

5. Biaya Pajak Penerangan Jalan Umum

Adalah pajak yang dipungut oleh Pemerintah Daerah (Pemda) berdasarkan Peraturan Daerah (Perda). Besarnya pajak juga ditentukan oleh Perda. Komponen ini disetorkan ke Kas Pemda, dan masuk sebagai Pendapatan Asli Daerah (PAD). (Prasetio, 2008)

