

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Studi Pustaka

Ricky Salpanio (2007), penelitian yang dilakukan tentang Audit Energi Listrik pada Gedung Kampus Universitas Diponegoro Peleburan Semarang. Dari hasil penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa penggunaan energi listrik di gedung kampus Universitas Diponegoro termasuk efisien dengan sample hanya 21 pelanggan. Penelitian ini menggunakan metode menghitung nilai penggunaan energi yang keluar pada masing-masing ruangan yang ada pada gedung kampus Universitas Diponegoro agar peluang hemat energi dan penghematan biaya listrik kampus Universitas Diponegoro dapat dilakukan dengan cara penurunan kapasitas langganan pada beberapa pelanggan listrik.

Mukhlis (2011), penelitian yang dilakukan tentang Evaluasi Penggunaan Listrik pada Bangunan Gedung di Lingkungan Universitas Tadaluko. Dari hasil penelitian yang dilakukan bahwa ada 136 ruangan, yang terdiri dari 72 ruangan AC dan 64 ruangan tidak memakai AC. Didapat bahwa ada 29 ruangan yang dikategorikan agak boros, ada 42 ruangan yang dikategorikan sangat boros dan ada 65 ruangan yang dikategorikan sangat boros. Apabila implementasi pada ruangan ini dilakukan maka dapat menghemat biaya listrik sebanyak Rp 17.686,222 per bulan.

Asnal Effendi dan Ahsanul (2013), penelitian yang dilakukan tentang Audit Energi Mengenai Nilai Intensitas Konsumsi Energi Listrik Pada Pemakaian

Energi Suatu Sistem Bangunan. Nilai intensitas konsumsi energi diketahui dengan membandingkan total penggunaan energi listrik dengan luas bangunan gedung. Proses evaluasi ini dilakukan dengan mengumpulkan data historis gedung RSJ. Prof. HB. Sanin Padang berupa data luas bangunan gedung, data penggunaan energi listrik serta anggaran yang dikeluarkan untuk kebutuhan energi listrik. Dari data hasil perhitungan, nilai intensitas konsumsi energi listrik pada tahun 2013 adalah sebesar 155,857 kWh/m² per tahun. Nilai intensitas konsumsi energi listrik pada tahun 2014 adalah sebesar 29,291 kWh/m² per tahun. Dan nilai intensitas konsumsi energi listrik pada tahun 2015 adalah sebesar 33,216 kWh/m² per tahun. Hasil ini menunjukkan kategori yang efisien karena tidak melewati standar nilai intensitas konsumsi energi listrik untuk gedung rumah sakit sebesar 380 kWh/m² per tahun.

Catur, Dian dan Herwin (2013), penelitian yang dilakukan tentang Audit Energi di Gedung Kampus Dian Nuswantoro Semarang. Dari hasil penelitian yang dilakukan bahwa (Direktorat Pengembangan Energi) IKE untuk perkantoran (Komersil) adalah 240 kWh/m² per tahun. Pusat perbelanjaan 330 kWh/m² per tahun. Hotel atau apartemen 330 kWh/m² per tahun. Dan rumah sakit 380 kWh/m² per tahun. Jika nilai IKE lebih rendah daripada batas bawah maka bangunan gedung tersebut dikatakan hemat energi sehingga perlu untuk dipertahankan dengan melaksanakan aktivitas dan pemeliharaan yang sesuai dengan standar prosedur yang telah ditetapkan oleh perusahaan. Jika nilai IKE berada diantara batas bawah dan acuan maka bangunan gedung tersebut dikatakan agak hemat energi sehingga perlu ditingkatkan kinerja *tuning up*. Jika diantara

acuan dan batas atas maka bangunan gedung tersebut dikatakan agak boros sehingga perlu dilakukan beberapa perubahan. Apabila acuan di atas batas atas maka perlu dilakukan *retrofitting* atau *replacement*.

2.2 Landasan Teori

Pengertian audit energi adalah langkah awal dalam kegiatan konservasi energi. Audit energi mengidentifikasi berapa energi yang dikonsumsi dan berapa banyak energi yang dikonsumsi oleh sebuah fasilitas eksisting, fasilitas gedung dan fasilitas bangunan. Audit energi merupakan kegiatan penilaian dalam penggunaan dan biaya energi yang dikonsumsi dalam sebuah fasilitas. Hasil penilaian audit energi ini dapat dijadikan sebagai masukan dalam membangun serangkaian rekomendasi untuk menurunkan penggunaan biaya energi listrik dengan mengimplementasikan berbagai perubahan baik dalam hal peralatannya maupun operasionalnya. Berbagai informasi yang dikumpulkan dari kegiatan audit energi ini dapat digunakan untuk memperkenalkan ukuran konservasi energi (*Energy Conservation Measures/ECM*). Teknologi penghematan energi seperti sistem pengendalian elektronik dalam bentuk retrofit. Kegiatan audit energi ini dapat diidentifikasi sebagai peluang-peluang untuk penghematan energi secara ekonomi yang disesuaikan agar dapat menghasilkan penurunan biaya listrik, kukus (*steam*), gas dan dalam sistem pembuangan.

Intensitas Konsumsi Energi (IKE) Listrik adalah suatu istilah yang digunakan untuk menyatakan besaran energi dalam sebuah bangunan dan gedung yang telah ditetapkan di berbagai negara seperti (ASEAN dan APEC), yang

dinyatakan dalam satuan kWh/m² per tahun (SNI 03-6196-2000) dengan rumus sebagai berikut :

Dimana :

$$IKE = \frac{\text{kWh total (kWh/tahun)}}{(\text{Occ Rate X Area Room}) + (\text{Area non Room})} \quad (1)$$

$$IKE = \frac{\text{Pemakaian energi listrik (kWh/bulan)}}{\text{Luas bangunan}} \quad (2)$$

Dimana :

$$\text{Pemakaian energi listrik (kWh)} : \frac{((n.\text{lampu} \times W.\text{lampu}) + (n.\text{STU} \times W.\text{STU})) \times t}{1000} \quad (3)$$

Keterangan :

n. lampu : Jumlah lampu

n. STU : Jumlah sistem tata udara terpasang

W. lampu : Daya lampu terpasang (watt)

W. STU : Daya sistem tata udara (watt)

t : Waktu pemakaian

Nilai IKE diatas digunakan sebagai tolak ukur efisiensi pemakaian suatu energi listrik pada sebuah bangunan gedung. Beberapa hal yang dapat diketahui sebagai landasan untuk pelaksanaan audit energi ini yaitu :

2.2.1 Audit Energi

Menurut Badan Standarisasi Nasional (BSN) audit energi adalah proses evaluasi pemanfaatan energi yang diidentifikasi untuk peluang penghematan energi serta rekomendasi peningkatan efisiensi pada pengguna energi dan pengguna sumber energi dalam rangka konservasi energi. (SNI 6196-2011).

Audit energi didefinisikan sebagai pendekatan yang sistematis dan terpadu untuk melaksanakan kegiatan pemanfaatan sumber daya energi secara efektif, efisien dan rasional tanpa mengurangi kuantitas maupun kualitas fungsi utama bangunan gedung. Pada pelaksanaan manajemen energi yang paling awal adalah audit energi.

Menurut Hilmawan (2009), audit energi meliputi analisis profil penggunaan energi, mengidentifikasi pemborosan energi dan menyusun langkah pencegahan. Dengan audit energi ini dapat diperkirakan energi keluar yang akan dikonsumsi sehingga dapat diketahui penghematan yang bisa dilakukan.

2.2.2 Energi Listrik

Pengertian energi listrik yaitu energi yang berasal dari pergerakan atom terhadap konduktor yang akan menghasilkan suatu muatan listrik, listrik yang mengalir atau merambat dalam suatu konduktor memiliki satuan arus listrik dalam amper (A). Selain arus, listrik juga memiliki tegangan dalam satuan volt (V) dan daya listrik dalam satuan watt (W). Pemakaian energi listrik pada saat ini dalam satuan energi listrik yaitu watt (W). Dalam perhitungannya daya listrik didapat

dari perkalian tegangan dengan arus. Pemakaian energi listrik selain menggunakan satuan daya (W) juga bergantung pada lamanya pemakaian dalam satuan waktu jam (H). Agar mempermudah proses perhitungan pemakaian energi listrik biasanya menggunakan satuan kWh.

Fungsi energi listrik dalam kehidupan sehari-hari biasanya digunakan sebagai keperluan peralatan rumah tangga, instansi pendidikan, pabrik, elektronik dan untuk kebutuhan konsumsi lainnya. Untuk standarisasi tegangan yang ada di negara Indonesia ini ditetapkan pada 220 Volt dengan frekuensi 50 Hz.

2.2.3 Konservasi Energi

Menurut Abdurachim, dkk (2002) konservasi energi adalah kegiatan yang memanfaatkan energi secara efisien (optimal) dan rasional tanpa ada mengurangi penggunaan energi yang memang diperlukan untuk melaksanakan suatu kegiatan atau pekerjaan.

Konservasi energi pada sebuah bangunan gedung bertujuan supaya bangunan gedung tersebut sistematis, terencana dan terpadu agar bisa melestarikan sumber daya energi secara efisiensi tanpa mengorbankan tuntutan kenyamanan manusia untuk menurunkan kinerja alat. Konservasi energi sendiri dapat membantu penghematan secara finansial dan dapat membantu dalam pemeliharaan lingkungan tanpa mengurangi kualitas pengguna itu sendiri serta meningkatkan kenaikan kebutuhan energi setiap saatnya. Teknik audit energi sendiri terdapat 3 macam cara, yaitu sebagai berikut :

2.2.3.1 Audit Energi Singkat (AES)

Audit Energi Singkat (AES) yaitu suatu kegiatan pengumpulan data historis, data dokumentasi bangunan gedung yang tersedia dan observasi atau terjun langsung ke lapangan. Perhitungan ini dilakukan dengan menggunakan data yang tersedia yang diperoleh dari observasi ke lapangan langsung maupun dengan melakukan wawancara.

Perhitungan profil efisiensi pada penggunaan energi, antara lain :

- a. Menghitung kecenderungan penggunaan energi.
- b. Menghitung intensitas konsumsi energi (kWh/m²/bulan).
- c. Menghitung persentase potensi penghematan energi.
- d. Melakukan audit selanjutnya.

2.2.3.2 Audit Energi Awal (AEA)

Audit Energi Awal (AEA) yaitu suatu kegiatan pengumpulan data energi bangunan gedung dengan data yang tersedia dan tidak memerlukan pengukuran serta melakukan perhitungan intensitas konsumsi energi berdasarkan data yang telah dikumpulkan.

Pengumpulan data dengan cara Audit Energi Awal, antara lain :

- a. Pengumpulan Data Historis

Pengumpulan data ini meliputi dokumentasi bangunan yang sesuai dengan gambar konstruksi bangunan seperti gambar instalasi, diagram garis tunggal dan denah bangunan.

b. Pengukuran Singkat

Pengukuran singkat ini menggunakan alat yang portable dan pengukurannya dilakukan dengan cara sampling pada sejumlah titik pengguna energi utama.

Untuk mengetahui bahwa audit energi awal ini dilakukan jika ada rekomendasi dari hasil pengukuran audit energi singkat atau secara langsung tanpa melalui audit energi singkat.

2.2.3.3 Audit Energi Rinci (AER)

Audit Energi Rinci (AER) yaitu suatu kegiatan pengumpulan data historis, data dokumentasi bangunan, observasi atau pengukuran langsung ke lapangan dan pengukuran lengkap. Audit energi rinci ini dilaksanakan apabila tindak lanjut yang dilakukan dari analisa sebelumnya nilai IKE lebih besar dari nilai target yang ditentukan. Audit energi rinci perlu dilakukan untuk mengetahui profil penggunaan energi pada bangunan sehingga dapat diketahui peralatan penggunaan energi apa saja yang pemakaiannya cukup besar.

Audit energi rinci dilakukan apabila mendapatkan rekomendasi dari audit energi awal atau singkat. Analisis data yang dapat dilakukan, yaitu sebagai berikut

:

- a. Perhitungan efisiensi dan profil pada penggunaan energi listrik, yaitu sebagai berikut :
1. Menghitung intensitas konsumsi energi (kWh/m²/bulan) dan indeks konsumsi energinya.
 2. Menghitung penggunaan energi pada objek yang akan diteliti.
 3. Menghitung kinerja operasi aktual (rata-rata).
- b. Analisis data yang telah dilakukan pengukuran.
- c. Analisis finansial hemat energinya.

2.2.4 Intensitas Konsumsi Energi (IKE)

Intensitas Konsumsi energi (IKE) adalah istilah yang biasa digunakan dalam pemahaman tingkat pemakaian suatu energi pada bangunan baik berupa bangunan pabrik, gedung perkantoran, pasar, instansi sekolah, hotel, rumah sakit dan lain-lain. Intensitas Konsumsi Energi Listrik adalah istilah yang menyatakan besarnya pemakaian energi listrik dalam bangunan gedung per meter persegi per bulan atau per tahun. Nilai IKE ini sangat penting dijadikan tolak ukur dalam menghitung potensi penghematan energi yang mungkin akan diterapkan di setiap ruangan atau seluruh area bangunan atau gedung. Persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai IKE yaitu dengan rumus sebagai berikut :

Dimana :

$$IKE = \frac{\text{total konsumsi energi}}{\text{luas area}} \quad (4)$$

Dibawah ini merupakan tabel standar IKE pada sebuah bangunan gedung yang ada di Indonesia berdasarkan jenis bangunannya, yaitu sebagai berikut :

Tabel 2.1 Standar IKE pada Bangunan Gedung di Indonesia

No	Jenis Gedung	IKE (kWh/m ² /per tahun)
1	Perkantoran	240
2	Hotel dan Apartemen	300
3	Pusat Perbelanjaan	330
4	Rumah Sakit	380

(Sumber : Departemen Pendidikan Nasional Republik Indonesia 2004)

Departemen Pendidikan Nasional Republik Indonesia (2004), telah menetapkan nilai standar IKE untuk sebuah bangunan gedung di Indonesia yang di golongkan kedalam dua kriteria yaitu untuk gedung bangunan ber-AC dan gedung bangunan tidak ber-AC.

Dibawah ini merupakan tabel standar IKE pada sebuah bangunan gedung ber-AC, yaitu sebagai berikut :

Tabel 2.2 Standar Kriteria bangunan gedung ber-AC

No	Kriteria	Ruangan ber-AC (kWh/m ² /per bulan)	Keterangan
1	Sangat Efisien	4,17 – 7,92	Gedung didesain sesuai dengan standar tata cara perencanaan teknis konservasi energi dan pengoperasian peralatan yang dilakukan sesuai dengan prinsip manajemen energi.

Tabel 2.2 Standar Kriteria bangunan gedung ber-AC Lanjutan

No	Kriteria	Ruangan ber-AC (kWh/m ² /per bulan)	Keterangan
2	Efisien	7,92 – 12,08	Pemeliharaan gedung dan peralatan dilakukan sesuai dengan prosedurnya. Dan efisiensi penggunaan energi perlu ditingkatkan melalui sistem penerapan manajemen energi yang terpadu.
3	Cukup Efisien	12,08 – 14,08	Penggunaan energi yang cukup efisien dengan pemeliharaan bangunan gedung. Pada pengoperasian dan pemeliharaan bangunan gedung yang belum mempertimbangkan prinsip konservasi energi.
4	Agak Boros	14,58 – 19,17	Perlu dipertimbangkan adanya audit energi untuk menentukan perbaikan seefisien mungkin untuk dilakukan. Dan desain bangunan gedung maupun pemeliharaannya belum mengikuti konservasi energi.
5	Boros	19,17 – 23,75	Perlu adanya audit energi untuk menentukan langkah-langkah perbaikan agar pemborosan yang terjadi dapat dihindari. Desain pengoperasian, instalasi peralatan dan pemeliharaan yang tidak mengacu pada konservasi energi.
6	Sangat Boros	23,75 – 37,75	Perlu ditinjau ulang semua instalasi atau peralatan energi serta penerapan manajemen energi dalam pengelolaan gedung bangunan.

(Sumber : Departemen Pendidikan Nasional Republik Indonesia 2004)

Dibawah ini merupakan tabel standar IKE pada sebuah bangunan gedung tidak ber-AC, yaitu sebagai berikut :

Tabel 2.3 Standar Kriteria bangunan gedung tidak ber-AC

No	Kriteria	Ruangan tidak ber-AC (kWh/m ² /per bulan)	Keterangan
1	Efisien	0,84 – 1,67	Pengelolaan gedung serta peralatan energi dilakukan dengan prinsip konservasi energi listrik. Pemeliharaan peralatan energi juga dilakukan sesuai dengan prosedurnya. Efisiensi penggunaan energi masih perlu ditingkatkan dengan menerapkan sistem manajemen energi.
2	Cukup Efisien	1,67 – 2,5	Penggunaan energi yang cukup efisiensi tetapi masih perlu adanya peluang untuk konservasi energi. Perbaikan efisiensi yang dilakukan melalui pemeliharaan bangunan dan peralatan energi.
3	Boros	2,5 – 3,34	Perlu adanya audit energi untuk menentukan langkah-langkah agar perbaikan dapat dilakukan sehingga pemborosan energi dapat dihindari. Pemeliharaan gedung, pengoperasian gedung dan desain bangunan juga perlu mempertimbangkan konservasi energi.
4	Sangat Boros	3,34 – 4,17	Pemeliharaan gedung, desain pengoperasian dan instalasi peralatan tidak perlu mengacu pada penghematan energi. Supaya peninjauan ulang atas semua instalasi atau peralatan energi dapat dilakukan maka perlu adanya penerapan manajemen energi.

(Sumber : Departemen Pendidikan Nasional Republik Indonesia 2004)

Peluang energi dapat berjalan sesuai rencana apabila nilai dari IKE hasil pengukuran melebihi nilai standar yang telah ditetapkan. Untuk menghitung peluang dari penghematan energi yang diterapkan pada sebuah gedung bangunan dengan menggunakan rumus, yaitu sebagai berikut :

Dimana :

$$\text{PHE} = \Delta \text{IKE} \times \text{total area yang dikondisikan} \quad (5)$$

Keterangan :

ΔIKE : Nilai IKE yang terjadi (kWh/m²/per bulan).

Area : Luas ruangan (m²).

2.2.5 Peluang Hemat Energi (PHE)

Setelah melakukan audit energi awal dan audit energi rinci maka perlu adanya identifikasi peluang hemat energi. Hasil dari pengumpulan data ini selanjutnya akan ditindak lanjuti dengan perhitungan besarnya nilai IKE dan penyusunan profil penggunaan energi bangunan gedung. Jika besarnya IKE hasil perhitungan ternyata sama atau kurang dari IKE maka target dari kegiatan audit energi rinci dapat dihentikan atau diteruskan agar memperoleh IKE yang lebih rendah lagi. Apabila hasilnya lebih dari IKE berarti ada peluang untuk melanjutkan proses audit energi rinci untuk memperoleh penghematan energi. (SNI 03-6196-2000). Peluang hemat biaya dapat ditentukan dari hasil perhitungan PHE yang sebelumnya dengan menyesuaikan tarif biaya listrik per kWh. Bagi

kampus Universitas Muhammadiyah sendiri merupakan golongan sosial industri dimana dikenakan tarif biaya per kWh sebesar Rp 1.467,28.

Untuk menghitung peluang hemat biaya dapat dilakukan dengan rumus sebagai berikut :

Dimana :

$$\text{Peluang hemat biaya} = \text{PHE} \times \text{tarif listrik} \quad (6)$$

Keterangan :

PHE : Peluang hemat energi

Tarif Listrik : Biaya per kWh (Rp 1.467,28).

Tarif dasar listrik yang dikenakan oleh pemerintah untuk para pelanggan pada Perusahaan Listrik Negara (PLN). Energi yang digunakan termasuk beban pada penerangan dapat dihitung secara manual. Dimana beban tersebut dikalikan dengan waktu lamanya beroperasi, yang dapat diperoleh dengan rumus sebagai berikut :

$$E_{Load} = P_{Load} \times t \quad (7)$$

Keterangan :

E_{Load} : Energi yang terpakai (Wh)

P_{Load} : Daya beban (Watt)

t : Waktu

Tarif dasar listrik salah satu komponen analisis biaya yang menjadi bahan pertimbangan saat menentukan jenis beban yang akan terpasang. Tarif dasar listrik di Indonesia sudah ditentukan sesuai dengan penggunaannya oleh konsumen. Yang sesuai dengan Keputusan Presiden Republik Indonesia No. 104 tahun 2013 yang menyebutkan bahwa penetapan tarif dasar listrik oleh PLN pada bulan Juli – September 2017 adalah sebagai berikut :

**PENETAPAN
PENYESUAIAN TARIF TENAGA LISTRIK (TARIFF ADJUSTMENT)
BULAN JULI - SEPTEMBER 2017**

NO.	GOL. TARIF	BATAS DAYA	REGULER		PRA BAYAR (Rp/kWh)
			BIAYA BEBAN (Rp/kVA/bulan)	BIAYA PEMAKAIAN (Rp/kWh) DAN BIAYA kVArh (Rp/kVArh)	
1.	R-1/TR	900 VA-RTM	*)	1.352,00	1.352,00
2.	R-1/TR	1.300 VA	*)	1.467,28	1.467,28
3.	R-1/TR	2.200 VA	*)	1.467,28	1.467,28
4.	R-2/TR	3.500 VA s.d. 5.500 VA	*)	1.467,28	1.467,28
5.	R-3/TR	6.600 VA ke atas	*)	1.467,28	1.467,28
6.	B-2/TR	6.600 VA s.d. 200 kVA	*)	1.467,28	1.467,28
7.	B-3/TM	di atas 200 kVA	**)	Blck WBP = K x 1.035,78 Blck LWBP = 1.035,78 kVArh = 1.114,74 ****)	-
8.	I-3/TM	di atas 200 kVA	**)	Blck WBP = K x 1.035,78 Blck LWBP = 1.035,78 kVArh = 1.114,74 ****)	-
9.	I-4/TT	30.000 kVA ke atas	***)	Blck WBP dan Blck LWBP = 996,74 kVArh = 996,74 ****)	-
10.	P-1/TR	6.600 VA s.d. 200 kVA	*)	1.467,28	1.467,28
11.	P-2/TM	di atas 200 kVA	**)	Blck WBP = K x 1.035,78 Blck LWBP = 1.035,78 kVArh = 1.114,74 ****)	-
12.	P-3/TR		*)	1.467,28	1.467,28
13.	L/TR, TM, TT		-	1.644,52	-

Gambar 2.1 Tarif Dasar Listrik

(Sumber : <http://listrik.org/pln/tarif-dasar-listrik-pln/>)

2.2.6 Sistem Tata Udara pada Bangunan Gedung

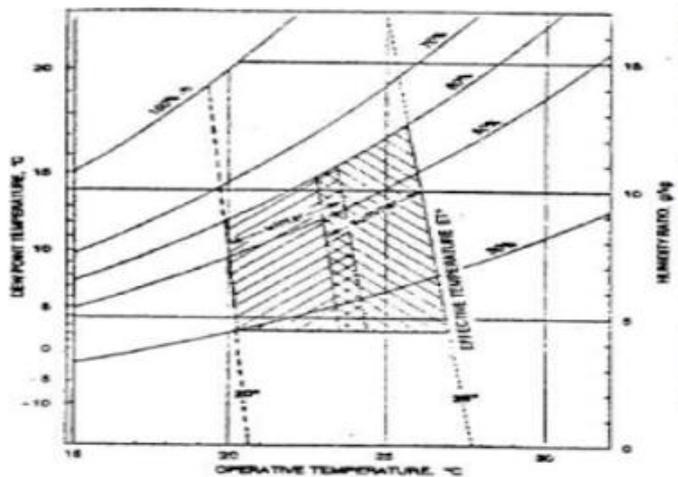
Menurut Arismunandar dan Saito (2004), sistem tata udara yaitu suatu proses yang memanaskan udara atau mendinginkan udara sehingga akan mencapai suatu suhu dan kelembapan yang sesuai diinginkan atau dipersyaratkan.

Adanya standar pada sistem tata udara pada bangunan gedung adalah untuk memenuhi kenyamanan pada bangunan gedung, pada kondisi perencanaan bangunan gedung yang berada pada wilayah dengan suhu rata-rata bulanan yang mencapai 28°C WB.

Pemakaian energi sistem tata udara harus diperkirakan menggunakan perhitungan beban pada pendingin di seluruh jam operasi dan karakteristik pada pemakaian daya peralatan yang aktual, dengan ditetapkan bahwa :

- a. Ruang Transit : temperatur bola kering berkisar antara 27° C sampai dengan 30° C atau $28^{\circ} \text{ C} \pm 1.5^{\circ} \text{ C}$ dengan suhu kelembapan yang relatif sekitar 60 % \pm 10 %.
- b. Ruang Kerja : temperatur bola kering berkisar antara 24° C sampai dengan 27° C atau $25.5^{\circ} \text{ C} \pm 1.5^{\circ} \text{ C}$ dengan suhu kelembapan yang relatif berkisar 60 % \pm 10 %.

Berikut ini adalah grafik standar efektif temperatur dan zona kenyamanan pada sistem tata udara yang dikutip menurut ASHRAE. (ASHRAE. 1993. *ASHRAE Handbook Fundamentals*).



Gambar 2.2 Standar efektif temperatur dan zona kenyamanan

(Sumber : Departemen Pendidikan Nasional Republik Indonesia 2004)

Dari grafik diatas dapat dijelaskan bahwa zona kenyamanan menurut ASHRAE yaitu sebagai berikut :

Kelembapan relative : 30 % - 60 %

Temperatur DB : 20° C - 28° C

Temperatur WB : 20° C - 30° C

Ada dua faktor yang mempengaruhi ketidaknyamanan suhu yaitu temperatur dan kelembapan udara yang tidak sesuai dengan apa yang dibutuhkan. Hal ini terjadi jika seseorang berada pada ruangan yang tertutup dalam jangka waktu yang sangat lama maka seseorang tersebut akan merasakan ketidaknyamanan pada ruangan tersebut. Begitu juga sebaliknya jika seseorang yang berada diluar ruangan terbuka pada siang hari dengan matahari yang bersinar sangat terik mengenai langsung ke arah tubuhnya maka orang tersebut akan merasakan ketidaknyamanan.

Pada kondisi suhu dan kelembapan dalam satu ruangan sangat mempengaruhi kenyamanan seseorang yang berada didalamnya apabila suhu ruangan tersebut berkisar antara 24° C sampai dengan 27° C dengan kelembapan suhu udara mencapai 55 % sampai dengan 65 %.

2.2.7 Air Conditioning (AC)

Air Conditioning (AC) dikenal dengan istilah *Coefficient of Performance* (COP) dan *Energy Efficiency Ratio* (EER). Kinerja dari koefisien pendingin merupakan perbandingan antar laju aliran kalor yang diserap oleh sistem pendingin dengan laju aliran energi yang dimasukkan ke dalam sistem tersebut. Sedangkan pada rasio efisiensi energi merupakan perbandingan antara kapasitas pendingin neto pada peralatan pendingin (Btu/jam) dengan seluruh pemakaian energi listrik (Watt) pada saat beroperasi. Apabila satuan yang digunakan sama dengan kapasitas pendingin dan masukan energi listrik, maka nilai dari COP sama dengan nilai EER.

Efisiensi merupakan kapasitas dalam watt yang dibagi dengan masukan dalam watt. Untuk mengatur temperatur dalam suatu ruangan tersebut maka menggunakan rasio efisiensi energi (EER) atau koefisien kinerja (COP). Untuk mengkonversikan EER dan COP maka kalikan EER dengan 0,293. Dengan rumus sebagai berikut :

Dimana :

$$EER = \frac{\text{Efek Pendingin } \left(\frac{\text{Btu}}{\text{Jam}}\right)}{\text{Energi Input (W)}} \quad (8)$$

Pada kinerja siklus refrigerasi biasanya digambarkan dengan koefisien kinerja (COP) yang didefinisikan sebagai pemanfaatan dari siklus (jumlah panas yang dihilangkan) dibagi dengan masukan energi yang dibutuhkan untuk siklus operasinya. Dengan rumus sebagai berikut :

Dimana :

$$\text{COP} = \frac{\text{Efek Pendingin (kW)}}{\text{Energi Input (KW)}} \quad (9)$$

Menurut Handoko (2012), penerapan konservasi energi listrik pada sistem pendingin udara dapat dilakukan dengan berbagai macam cara mulai dari pengaturan penetapan temperature udara sampai dengan sikap yang perlu diterapkan kedalam pelaksanaan penerapan pola manajemen yang hemat energi.

Dalam teknik pengukuran pendingin yang berkaitan dengan konsep ilmu termodinamika dengan satuan yang menjadi dasar yaitu *British Thermal Unit* (BTU) dapat didefinisikan sebagai jumlah panas yang dibutuhkan untuk menaikkan 1 pound air sebanyak 1° F dalam satu tekanan atmosphere. Jadi semakin besar nilai Btu yang digunakan maka semakin besar juga output yang keluar dari unit AC tersebut karena kompresor yang digunakan akan semakin besar dan mengakibatkan udara yang didinginkan menjadi semakin besar begitu juga dengan arus listrik yang digunakan juga akan semakin besar. Dengan mengabaikan pengaruh nilai alat yang lain maka menghitung kapasitas AC dengan cara mengalikan luas ruangan dengan nilai 500 (Nilai Koefisien) dengan satuan Btu, 9000 Btu sama besarnya dengan 1 PK yang diasumsikan sebesar 800 watt.

2.2.8 Sistem Penerangan pada Bangunan Gedung

Sistem penerangan atau pencahayaan pada bangunan gedung adalah suatu sistem yang mengatur pada pencahayaan baik itu bersifat alami maupun buatan. Untuk mengetahui sistem penerangan perlu diketahui dahulu beberapa satuan yang digunakan dalam penerangan tersebut diantaranya yaitu :

a. Flux Luminous

Yaitu sebuah laju emisi pada cahaya atau kuantitas cahaya yang diproduksi oleh sumber cahaya yang dinyatakan ke dalam satuan (Lumen).

b. Efisiensi Luminous (Efikasi)

Yaitu perbandingan antara laju emisi pada cahaya (Lumen) dan daya listrik yang digunakan untuk memproduksi cahaya. Efikasi ini dinyatakan ke dalam satuan (Lumen atau watt).

c. Iluminasi (E) atau Tingkat Pencahayaan

Yaitu laju emisi per luas permukaan luas yang dikenainya. Tingkat pencahayaan ini dinyatakan ke dalam satuan (Lumen/m²) atau (Lux).

Agar tidak mengurangi tingkat kenyamanan, standarisasi pencahayaan pada bangunan gedung maka harus diperhatikan pengaruh kenyamanan, kesehatan dan keamanan.

Berikut ini adalah tabel tingkat lux yang sesuai dengan fungsi ruangan bangunan gedung yaitu sebagai berikut :

Tabel 2.4 Tingkat lux sesuai dengan fungsi ruangan

Fungsi Ruangan	Tingkat Pencahayaan (Lux)	Kelompok Renderasi Warna	Temperatur Warna		
			Warm White <3300 K	Cool White 3300 K – 5300 K	Daylight >5300 K
Rumah Tinggal :					
Teras	60	1 atau 2	•	•	
Ruang Tamu	120 – 150	1 atau 2		•	
Ruang Makan	120 – 250	1 atau 2	•		
Ruang Kerja	120 – 250	1		•	•
Kamar Tidur	120 – 250	1 atau 2	•	•	
Kamar Mandi	250	1 atau 2		•	•
Dapur	250	1 atau 2	•	•	
Garasi	60	3 atau 4		•	•
Perkantoran :					
Ruang Direktur	350	1 atau 2		•	•
Ruang Kerja	350	1 atau 2		•	•
Ruang Komputer	350	1 atau 2		•	•
Ruang Rapat	300	1	•	•	
Ruang Gambar	750	1 atau 2		•	•
Gudang Arsip	150	1 atau 2		•	•
Ruang Arsip Aktif	300	1 atau 2		•	•
Lembaga Pendidikan :					
Ruang Kelas	250	1 atau 2		•	•
Perpustakaan	300	1 atau 2		•	•
Laboratorium	500	1		•	•
Ruang Gambar	750	1		•	•
Kantin	200	1	•	•	

Tabel 2.4 Tingkat lux sesuai dengan fungsi ruangan Lanjutan

Fungsi Ruangan	Tingkat Pencahayaan (Lux)	Kelompok Renderasi Warna	Temperatur Warna		
			Warm White <3300 K	Cool White 3300 K – 5300 K	Daylight >5300 K
Hotel dan Restaurant :					
Lobi Koridor	100	1	•	•	•
Ruang Serbaguna	200	1	•	•	
Ruang Makan	250	1	•	•	
Kafetaria	200	1	•	•	
Kamar Tidur	150	1 atau 2	•		
Dapur	300	1	•	•	

(Sumber : SNI 03-6197-2000)

Sesuai pada SNI 03-6197-2000 tentang konservasi energi listrik pada suatu sistem tata udara, bahwa kebutuhan lux pada ruang kelas sama besarnya dengan kamar mandi pada rumah tinggal yaitu sebesar 250 lux dengan temperature warna cool white (3300k – 5300k) dan daylight >5300k.

Penerangan terhadap bangunan gedung merupakan kebutuhan yang sangat dominan dalam penggunaannya. Karena manusia adalah makhluk yang sangat membutuhkan penerangan atau pencahayaan dalam kehidupannya untuk membantu melihat objek lain.

Penerangan atau pencahayaan yang berada dirumah biasanya terletak pada kamar mandi, kamar tidur, teras, gudang, garasi, tempat sholat atau bahkan hanya sekedar sebagai penghias ruangan saja. Padahal pada setiap ruangan biasanya

terdapat jenis lampu yang berbeda-beda sesuai dengan kebutuhan yang ada di dalam ruangan tersebut. Sebuah bangunan gedung yang besar, seperti gedung perkantoran, pabrik, rumah sakit, instansi sekolah, perusahaan, hotel dan bangunan lainnya juga menggunakan jenis lampu yang berbeda-beda yang disesuaikan dengan kebutuhannya. Sedangkan untuk penerangan atau pencahayaan yang terletak diluar bangunan atau terletak di pinggir-pinggir jalan biasanya menggunakan lampu penerangan jalan umum (PJU).

Berikut ini adalah tabel daya listrik penerangan atau pencahayaan pada ruangan bangunan gedung yaitu sebagai berikut :

Tabel 2.5 Daya listrik pencahayaan

Lokasi	Daya Pencahayaan Maksimum (W/m ²) (Termasuk Rugi-Rugi Balast)
Ruang Kantor	15
Auditorium	25
Pasar atau Swalayan	20
Hotel :	
Kamar Tamu	17
Daerah Umum	20
Rumah Sakit :	
Ruang Pasien	15
Gudang	5
Kafetaria	10
Garasi	2
Restaurant	25
Lobby	10
Tangga	10
Ruang Parkir	5
Ruang Perkumpulan	20

Tabel 2.5 Daya listrik pencahayaan Lanjutan

Lokasi	Daya Pencahayaan Maksimum (W/m ²) (Termasuk Rugi-Rugi Balast)
Industri	20
Pintu Masuk Dengan Kanopi :	
Lalu lintas sibuk seperti hotel, bandara dan teater	30
Lalu lintas sedang seperti rumah sakit, kantor, sekolah	15
Jalan dan Lapangan :	
Tempat penimbunan atau tempat kerja	2,0
Tempat untuk santai seperti taman, tempat rekreasi dan tempat piknik	1,0
Jalan untuk kendaraan dan pejalan kaki	1,5
Tempat parkir	2,0

(Sumber : SNI 03-6197-2000)

Kesamaan dari karakteristik standarisasi pencahayaan ruangan tersebut maka penggunaan daya maksimum yang ada pada ruangan kelas sama besarnya dengan ruangan pasien yang ada pada rumah sakit yang diijinkan yaitu sebesar 15 W/m².

2.2.9 Beban Listrik Harian

Pada beban listrik harian yang bertujuan untuk mengetahui bagaimana pola pemakaian dan pengoperasian peralatan yang menggunakan sistem tenaga listrik pada perusahaan atau instansi lain. Beban listrik harian yang di dapat pada sebuah bangunan gedung yaitu dengan cara pengukuran secara langsung dengan

menggunakan alat ukur *Electrical Power Analyzer* pada setiap zona yang terletak di setiap bangunan gedung. Beban listrik harian disajikan ke dalam bentuk chart beban yang menunjukkan hubungan antara pemakaian listrik dengan waktu. Pada kurva beban yang terlihat seberapa besar penggunaan listrik disetiap waktunya.

2.2.10 Kualitas Daya Kelistrikan (*Power Quality*)

Kualitas daya kelistrikan adalah tentang persoalan perubahan bentuk tegangan, arus atau frekuensi yang bisa menyebabkan kegagalan atau *misoperation* pada peralatan baik itu peralatan milik PLN maupun milik konsumen sendiri.

Pada sistem tenaga listrik dituntut harus memenuhi syarat-syarat dasar kebutuhan pada layanan (*service requirement*) kepada konsumennya, yaitu sebagai berikut :

1. Memiliki deviasi tegangan dan frekuensi minimum.
2. Menjamin pada urutan phase yang benar.
3. Menjamin distorsi pada gelombang tegangan dan harmonik yang minimum dan bebas dari tegangan.
4. Menjamin suplai sistem tegangan dalam keadaan yang setimbang.
5. Memberikan suplai daya dengan kualitas keandalan yang tinggi dan dengan prosentase waktu layanan yang tinggi pula dimana sistem tersebut dapat melayani beban secara efektif.

6. Dan dapat memenuhi beban puncak.

Kualitas daya kelistrikan memerlukan lebih banyak aspek yang perlu ditinjau, kualitas ini menyangkut beberapa parameter listrik yaitu sebagai berikut :

a. Arus Listrik

Yaitu banyaknya muatan listrik yang disebabkan oleh pergerakan elektron-elektron yang mengalir melalui suatu titik dalam sirkuit listrik setiap satuan waktu. Arus listrik dapat diukur kedalam satuan coulomb/detik atau ampere.

Pada nilai ketidak seimbangan arus merupakan salah satu parameter yang diukur untuk mengetahui kualitas dari sistem kelistrikan. Nilai ketidak seimbangan arus tersebut tidak boleh melebihi dari 20 % dan jika nilai ketidak seimbangan arus melebihi dari 20 % maka akan menyebabkan suatu proses yang disebut dengan *Transformator Harmonic Derating Factor* (THDF) yang dapat menyebabkan timbul arus netral dan isolasi menjadi panas serta dapat mempengaruhi sistem kerja trafo distribusi.

b. Daya Listrik

Yaitu laju hantaran pada energi listrik atau suatu rangkaian listrik. Pada Satuan Internasional (SI) daya listrik merupakan satuan watt yang menyatakan banyaknya suatu tenaga listrik yang mengalir per satuan waktu (Joule/detik). Daya listrik dapat mengalir pada medan listrik dan medan magnet berada pada tempat yang sama.

c. Tegangan Listrik

Yaitu tegangan atau Gaya Gerak Listrik (GGL) atau *Electromotive Force* (EMF) perbedaan potensial antar dua buah titik dalam suatu rangkaian listrik. Tegangan listrik atau voltage memiliki satuan yang disebut dengan Volt (V). Besaran ini juga digunakan untuk mengukur suatu energi potensial pada sebuah medan listrik yang menyebabkan adanya aliran listrik dalam suatu konduktor.

Tegangan dapat dikatakan ideal apabila memiliki gelombang frekuensi sinus murni yang tidak mengalami distorsi, dalam keadaan normal tegangan memiliki toleransi nilai yang di ijinakan oleh pihak PLN sebesar -10 % sampai dengan +5 % jika dalam kondisi yang darurat menurut standar IEEE pada bukunya memiliki toleransi nilai sebesar -13 % sampai dengan +6 %.

Pada tegangan listrik dapat dinyatakan sebagai ekstra rendah, rendah, tinggi atau ekstra tinggi tergantung pada besar perbedaannya. Tegangan listrik dapat menyebabkan objek yang bermuatan listrik negatif tertarik dari tempat yang bertegangan rendah ke tempat yang bertegangan lebih tinggi. Oleh sebab itu, arah arus listrik konvensional dalam sebuah penghantar mengalir dari tegangan tinggi ke tegangan yang rendah.

d. Frekuensi

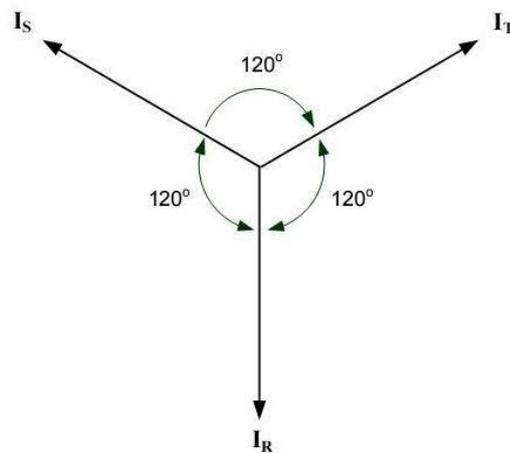
Yaitu jumlah siklus arus bolak-balik *Alternating Current* (AC) per detik. Di Negara Indonesia menggunakan frekuensi listrik standar yaitu sebesar 50 Hz karena setiap negara mempunyai frekuensi tegangan listrik yang berbeda-beda. Salah satu parameter kualitas sumber listrik yang dianggap baik adalah yang

mempunyai nilai frekuensi yang konstan jika nilai frekuensi dapat berubah-ubah maka sama halnya dengan tegangan. (Rao Chen 1990)

e. Ketidakseimbangan Beban

Yaitu keadaan seimbang beban adalah suatu keadaan dimana :

1. Keadaan dimana ketiga vektor arus atau tegangan nilainya sama besar.
2. Keadaan dimana ketiga vektor saling membentuk sudut 120° satu sama lain.



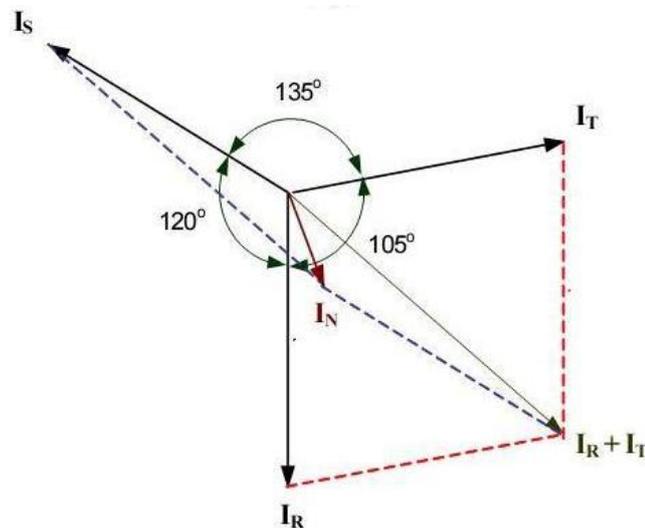
Gambar 2.3 Vektor Arus atau Tegangan dalam keadaan seimbang

(Sumber : <https://electricdot.wordpress.com>)

Pada gambar tersebut, menunjukkan bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya (I_R , I_S , I_T) sama dengan nol sehingga tidak muncul arus netral (I).

Pada keadaan ketidakseimbangan beban adalah keadaan dimana salah satu atau dua syarat keadaan seimbang tidak terpenuhi. Kemungkinan keadaan ketidakseimbangan beban ada 3 yaitu :

1. Keadaan dimana ketiga vektor yang sama besar tetapi tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.
2. Keadaan dimana ketiga vektor tidak sama besar tetapi membentuk sudut 120° satu sama lain.
3. Keadaan dimana ketiga vektor tidak sama besar dan tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.



Gambar 2.4 Vektor Arus atau Tegangan dalam keadaan ketidakseimbangan

(Sumber : <https://electricdot.wordpress.com>)

Pada gambar tersebut, menunjukkan bahwa penjumlahan ketiga vektor yang arusnya (I_R , I_S , I_T) tidak sama dengan nol sehingga akan muncul sebuah besaran yang arus netralnya (I_N) yang besarnya tergantung dari seberapa besar faktor ketidakseimbangannya.

Ketidakseimbangan beban sangat berdampak pada sistem distribusi, terutama pada trafo distribusi karena menimbulkan losses (rugi-rugi). Losses terjadi akibat adanya arus netral yang terjadi karena arus yang cukup besar

mengalir pada penghantar netral sebagai akibat dari ketidakseimbangan beban pada tiap-tiap fasa di sisi sekunder trafo (R, S, T).

Menentukan besaran ketidakseimbangan beban pada tiap fasa, dapat diperoleh menggunakan rumus sebagai berikut :

Dimana :

$$I_{\text{rata-rata}} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} \quad (10)$$

$$I_R = a \cdot I_{\text{rata-rata}} \quad \text{maka, } a = \frac{I_R}{I_{\text{rata-rata}}}$$

$$I_S = b \cdot I_{\text{rata-rata}} \quad \text{maka, } b = \frac{I_S}{I_{\text{rata-rata}}}$$

$$I_T = c \cdot I_{\text{rata-rata}} \quad \text{maka, } c = \frac{I_T}{I_{\text{rata-rata}}}$$

$$I_{\text{Ketidakseimbangan}} = \frac{\{(a-1) + (b-1) + (c-1)\}}{3} \times 100 \% \quad (11)$$

f. Harmonik

Yaitu gangguan (distorsi) pada bentuk gelombang tegangan atau bentuk gelombang arus sehingga bentuk gelombangnya bukan sinusoida murni. Distorsi diakibatkan karena adanya beban non-linier, yang merupakan sumber terbentuknya gelombang frekuensi tinggi (kelipatan dari frekuensi fundamental, semisalnya : 100 Hz, 150 Hz, 200 Hz, 300 Hz dan seterusnya). Harmonik tegangan atau arus diukur dari besarnya masing-masing komponen harmonik terhadap komponen dasarnya yang dinyatakan kedalam prosennya. Agar memperoleh suatu parameter yang dapat dipakai untuk menilai harmonik disebut

dengan THD (*Total Harmonic Distortion*). Harmonik juga bisa disebabkan karena adanya gejala pembentukan pada gelombang-gelombang dengan frekuensi yang berbeda dan merupakan perkalian bilangan bulat dengan frekuensi dasarnya.

Harmonik tegangan atau arus yang diukur dari besarnya masing-masing suatu komponen harmonik terhadap komponen dasarnya yang dinyatakan dalam besaran prosennya. Parameter yang digunakan untuk menilai cacat pada harmonik tersebut dipakai cacat harmonik total atau *Total Harmonic Distortion* (THD). Sistem tegangan nominal 20 kv dan dibawahnya termasuk tegangan rendah 220 volt, THD maksimum 5 % dan untuk sistem 66 kv ke atas THD maksimum 3 %.

THDF (*Transformer Harmonic Derating Factor*) merupakan suatu nilai atau faktor pengali yang digunakan untuk menghitung besar kapasitas baru (kVA) transformator. THDF (*Transformer Harmonic Derating Factor*) pada dasarnya transformator yang dipengaruhi oleh adanya THD (*Total Harmonic Distortion*) dalam transformator akibat dari penggunaan beban non-linier pada sisi beban. Besarnya THD (*Total Harmonic Distortion*) ditentukan oleh melalui pengukuran.

THDF (*Transformer Harmonic Derating Factor*) faktor derating pada transformator akibat harmonisa. Pada keadaan ideal (gelombang sinusoidal murni) tidak terdapat gangguan harmonisa dalam sistem nilai THDF (*Transformer Harmonic Derating Factor*) = 1, sehingga tidak terjadi penurunan kapasitas pada transformator.

Dibawah ini merupakan tabel standar batas nilai-nilai distorsi tegangan harmonik maksimum yang digunakan sebagai batas maksimum yang direkomendasikan untuk distorsi tegangan, yaitu sebagai berikut :

Tabel 2.6 Standar batas distorsi tegangan harmonik maksimum

Voltage at PCC	Individual Component Voltage Distortion	Total Voltage Distortion (THD)
$V \leq 69 \text{ kV}$	3.00 %	5.00 %
$69 \text{ kV} < V \leq 161 \text{ kV}$	1.50 %	2.50 %
$V \leq 161 \text{ kV}$	1.00 %	1.50 %

(Sumber : IEEE 519-1992)