

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Studi Pustaka

Mukhlis (2011) pernah melakukan peneliti tentang Evaluasi Penggunaan Energi Listrik pada Bangunan Gedung di Lingkungan Universitas Tadulako. Analisis yang digunakan menggunakan metodologi berupa observasi langsung melakukan perhitungan luas ruangan dan mendata semua peralatan listrik yang ada pada ruangan. setelah data terkumpul kemudian dilakukan perhitungan IKE. Dari hasil analisis menunjukkan bahwa terdapat 136 ruangan yang diteliti, dengan rincian 72 ruangan ber-AC dan 64 ruangan tidak ber-AC. dan ruangan yang memiliki nilai IKE masuk kedalam kategori agak boros ada 29 ruangan dengan peluang penghematan Rp 3,704,263; jumlah ruangan yang nilai IKE-nya masuk kedalam kategori boros ada 42 ruangan dengan peluang penghematan Rp 4,989,749; Jumlah ruangan yang nilai IKE-nya masuk kedalam kategori sangat boros ada 65 ruangan dengan peluang penghematan Rp 8,992,210; bila peluang penghematan dari 136 ruangan dijumlahkan maka universitas tersebut akan menghemat biaya untuk konsumsi energi listrik sebanyak Rp 17,686,222 perbulan.

Rizkani dan Ciptomulyono (2012) melakukan Audit Energi di Rumah Sakit Haji Surabaya dengan Analisis yang digunakan adalah analisis pemakaian energi listrik, audit energi, analisis perhitungan IKE, analisis ANP dan

dengan Pendekatan Metode MCDM-PROMETHEE untuk Konservasi serta Efisiensi Listrik. Hasil yang diperoleh dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa 1). RSUD Haji Surabaya, masuk dalam kategori cukup efisien dengan nilai IKE 17.468 kWh/m²/bulan, 2). Unit cost pemakaian energi listrik per-pasien sudah sesuai dengan standard yang ditetapkan pihak manajemen rumahsakit dengan unit cost per-pasien adalah 29,263 kwh/pasien 3). Ada empat peluang alternatif untuk penghematan energi yang dapat dilakukan diantaranya :perubahan pada SOP fasilitas rumah sakit, penyesuaian ulang desain bangunan rumah sakit, penerapan teknologi yang lebih hemat energi, pelatihan dan pengembangan sumberdaya manusia 4). pada perhitungan bobot kriteria menggunakan metode ANP, kriteria yang memiliki bobot paling besar adalah kriteria kenyamanan pelanggan 5). alternatif penghematan energi yang direkomendasikan untuk diterapkan adalah perubahan terhadap SOP rumah sakit.

2.2 Landasan Teori

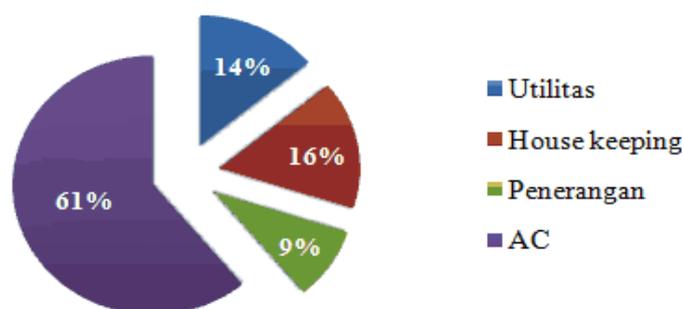
2.2.1 Konservasi Energi

Konservasi menurut KBBI adalah pelestarian atau perlindungan. Sedangkan untuk konservasi energi menurut PP 70 Tahun 2009 adalah upaya sistematis, terencana, dan terpadu untuk melestarikan sumber daya energi dalam negeri serta meningkatkan efisiensi dalam pemanfaatannya. Akan tetapi sebaiknya dalam melakukan konservasi energi juga sangat perlu untuk dipertimbangkan dengan matang agar tidak mengurangi penggunaan energi yang memang benar-benar diperlukan sehingga tidak mengurangi kenyamanan, fungsi, keamanan serta kualitas yang didapat oleh pengguna energi itu sendiri.

Tujuan konservasi energi adalah untuk memelihara kelestarian sumber daya alam yang berupa sumber energi melalui kebijakan penggunaan teknologi dengan tepat dan pemanfaatan energi secara efektif dan efisien. Penghematan energi dapat dianggap berhasil jika kita mampu mengurangi penggunaan energi akan tetapi tetap dapat memperoleh manfaat yang sama seperti saat penggunaan energi awal. Penghematan energi akan menurunkan biaya pengeluaran, meningkatkan efisiensi dan keuntungan.

Contoh sangat nyata yang akan kita rasakan jika kita berhasil melakukan konservasi energi adalah menurunnya biaya tagihan konsumsi energi, Selain itu konservasi energi juga dapat meningkatkan kenyamanan pengguna karena keuntungan dari hasil penghematan energi bisa digunakan untuk keperluan lain yang dapat meningkatkan kenyamanan.

Kementerian ESDM (2011) menyebutkan kegiatan efisiensi energi listrik untuk bangunan gedung bisa difokuskan pada beberapa item seperti sistem *Air Conditioning (AC)*, *house keeping*, utilitas, dan sistem penerangan. Berikut Potensi penghematan dari masing-masing sistem dapat dilihat seperti berikut :



Gambar 2.1 Potensi penghematan pada bangunan

(Sumber : Kementerian ESDM 2011)

2.2.2 Audit Energi

Audit Energi secara sederhana adalah sebuah proses untuk mengetahui penggunaan energi sebuah gedung atau bangunan secara aktual yang selanjutnya akan digunakan untuk melakukan evaluasi tingkat efisiensi gedung tersebut dan mengidentifikasi peluang-peluang penghematan yang dapat dilakukan.

Pada SNI 6196 (2011) audit energi diartikan sebagai sebuah proses untuk mengevaluasi pemanfaatan energi dan identifikasi peluang penghematan energi serta rekomendasi untuk peningkatan efisiensi pada penggunaan energi dan penggunaan sumber energi dalam rangka konservasi energi

Dari definisi diatas dapat disimpulkan jika audit energi adalah sebuah proses untuk mengetahui pemakaian energi sebuah bangunan atau gedung secara aktual yang kemudian diidentifikasi untuk mengetahui cara-cara peluang penghematan yang bisa dilakukan. Tujuan utamanya adalah mengetahui peluang hemat energi pada bangunan atau gedung tersebut. Hasil dari audit energi ini adalah untuk mendapatkan sebuah profil penggunaan energi pada suatu bangunan atau gedung. Sehingga pada akhirnya kita dapat membuat sebuah rancangan strategis untuk mengendalikan dan menghemat penggunaan energi.

Dari prosedur audit energi bangunan gedung yang dibuat Badan Standarisasi Nasional proses audit energi dibagi menjadi 3 yaitu:

1. Audit Energi Singkat

Kegiatan audit energi singkat meliputi beberapa tahapan diantaranya:

- A. Persiapan

- a. Lingkup kegiatan.

- b. Persiapan dokumen.
- c. Persiapan sumber daya manusia.
- d. Persiapan jadwal singkat.

B. Pengumpulan data

- a. Data historis konsumsi energi.
- b. Data luas bangunan.
- c. Observasi visual.
- d. Wawancara.

C. Perhitungan dan analisis data

- a. Hitung Intensitas Konsumsi energi ($\text{kWh/m}^2/\text{bulan}$).
- b. Hitung kecenderungan konsumsi energi.
- c. Hitung presentase potensi penghematan energi.
- d. Pilihan untuk audit lanjutan.

D. Laporan audit energi

- a. Potret penggunaan energi
- b. Rekomendasi yang mencakup langkah konservasi energi yang bisa dilaksanakan serta pilihan untuk melanjutkan audit lebih lanjut.

2. Audit Energi Awal.

Audit energi awal perlu dilakukan apabila audit energi singkat merkomendasikan untuk dilakukanya penelitian lebih lanjut pada bangunan gedung. Atau secara langsung tanpa melalui audit energi singkat. Kegiatan audit energi singkat meliputi beberapa tahapan diantaranya:

A. Persiapan

- a. Lingkup kegiatan.
- b. Persiapan dokumen.
- c. Persiapan sumber daya manusia.
- d. Persiapan alat ukur untuk pengukuran sampling.
- e. Persiapan jadwal singkat.

B. Pengumpulan data

- a. Data historis gedung.
- b. Data denah dan potongan bangunan gedung seluruh lantai.
- c. Data denah instalasi pencahayaan bangunan seluruh lantai.
- d. Diagram garis tunggal bangunan gedung.
- e. Rekening Pembayaran listrik setiap bulan selama satu tahun.
- f. Pengukuran singkat menggunakan alat ukur portable dan pengukuran dilakukan dengan interval waktu tertentu.
- g. Masukan dari observasi visual dan wawancara.

C. Perhitungan dan analisis data

- a. Intensitas Konsumsi energi (kWh/m²/tahun)
- b. Neraca energi sederhana
- c. presentase peluang penghematan energi.
- d. Rekomendasi pilihan dengan urutan prioritas langkah penghematan energi.
- e. Simple payback periode.

D. Laporan audit energi

- a. Potret penggunaan energi

- b. Potensi penghematan energi
- c. Rekomendasi spesifik.
- d. Rekomendasi tindak lanjut.

3. Audit Energi Rinci

Audit energi rinci perlu dilakukan apabila audit energi awal merekomendasikan untuk dilakukan penelitian lebih lanjut keseluruhan bangunan gedung atau pada obyek khusus/spesifik yang dianggap memiliki potensi penghematan energi besar dan menjanjikan. Pada umumnya nilai IKE yang lebih besar dari nilai standard atau target yang ditentukan merupakan alasan untuk merekomendasikan kegiatan audit energi rinci. Berberapa tahapan audit energi rinci seperti berikut:

A. Persiapan

- a. Lingkup kegiatan.
- b. Persiapan dokumen.
- c. Persiapan sumber daya manusia.
- d. Persiapan alat ukur untuk pengukuran detail.
- e. Persiapan jadwal singkat.

B. Pengumpulan data

- a. Data historis gedung.
- b. Data denah dan potongan bangunan gedung seluruh lantai.
- c. Data denah instalasi pencahayaan bangunan seluruh lantai.
- d. Diagram garis tunggal bangunan gedung.
- e. Rekening Pembayaran listrik setiap bulan selama satu tahun.

- f. Beban penghuni selama 1 tahun terakhir (occupancy).
- g. Pengukuran detail menggunakan alat ukur magun (fixed) atau alat ukur portable. Pengukuran mencakup parameter operasi, profil (jam, harian), kinerja alat.
- h. Masukan dari observasi visual dan wawancara.

C. Perhitungan dan analisis data

- a. Perhitungan profil dan efisiensi penggunaan energi :
 - i. Hitung rincian penggunaan energi pada obyek yang diteliti
 - ii. Hitung Intensitas Konsumsi energi ($\text{kWh/m}^2/\text{tahun}$) dan indeks konsumsi energi
 - iii. Hitung kinerja operasi aktual (rata-rata, maksimum, dan minimum).
- b. Analisis data
 - i. Gambar grafik kecenderungan konsumsi energi atau energi spesifik dengan parameter operasi jam, harian, mingguan, atau bulanan.
 - ii. Lihat korelasi antara intensitas energi atau konsumsi energi dengan energi dengan parameter operasi.
 - iii. Tentukan parameter yang dominan terhadap konsumsi energi maupun intensitas energi dari obyek yang diteliti.
 - iv. Lihat kemungkinan perbaikan kerja dan efisiensi penggunaan energi.
 - v. Hitung peluanghemat energi jika perbaikan kinerja tersebut dilakukan
- c. Analisis finansial hemat energi

- i. Hitung biaya yang diperlukan untuk implementasi perbaikan yang dimaksud
- ii. Lakukan analisis finansial untuk setiap peluang penghematan energi.
- iii. Lakukan analisis sensitifitas penghematan energi yang menjajikan penghematan besae dengan tingkat kelaikan yang baik.
- iv. Rekomendasi pilihan dengan ukuran priorits langkah penghematan energi.

D. Laporan audit energi

- a. Potret penggunaan energi
- b. Potensi penghematan energi dan biaya pada obyek yang diteliti.
- c. Kinerja operasi aktual pengguna energi
- d. Faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja operasi.
- e. Kajian teknis dan finansial penghematan energi.
- f. Rekomendasi tindak lanjut dan Rekomendasi spesifik.

E. Rekomendasi

Rekomendasi yang dibuat mencakup masalah:

- a. Pengelolaan energ termasuk program manajemen yang perlu diperbaiki, implementasi audit energi yang lebih baik, dan cara meningkatkan kesadaran penghematan energi.
- b. Efisiensi energi dengan beberapa langkah:
 - i. Peningkatann efisiensi energi penggunaan energi tanpa biaya (no cost), misalnya mengubah prosedur.

- ii. Perbaikan dengan investasi kecil (low cost).
- iii. Perbaikan dengan investasi besar (high cost)

2.2.3 Parameter Audit Energi

2.2.3.1 Intensitas konsumsi energi (IKE)

IKE atau Intesitas Konsumsi Energi adalah istilah yang digunakan untuk menyatakan perbandingan antara jumlah total energi yang digunakan dengan luas bangunan gedung dalam periode waktu tertentu (kWh/m²/bulan atau kWh/m²/tahun). nilai IKE ini dapat digunakan sebagai acuan untuk mengetahui potensi penghemataan yang dapat dilakukan pada setiap ruangan atau sebuah gedung secara keseluruhan dalam rangka konservasi energi. Nilai IKE ini juga dapat di gunakan sebagai nilai perbandingan dengan batas standar yang ada sehingga akan diketahui seberapa efisien sebuah ruangan atau gedung tersebut. Nilai IKE dinyatakan dengan rumus:

$$IKE = \frac{\text{Pemakaian energi listrik (kWh)}}{\text{Luas Bangunan (m}^2\text{)}} \dots\dots\dots (5)$$

Dimana:

Pemakaian energi listrik (kWh) =

$$\frac{(n.Beban \times P. Beban) \times t}{1000} \dots\dots\dots (6)$$

n. Beban = Jumlah Beban

P. Beban = Daya Beban (Watt)

t = Lama pemakaian (jam)

Nilai IKE ini biasanya digunakan sebagai acuan untuk mengetahui tingkat ke-efisienan pemakaian energi listrik pada bangunan gedung, nilai standard IKE yang dipakai di Indonesia menurut Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia nomor 13 tahun 2012 adalah sebagai berikut:

1. Standard IKE Gedung Perkantoran ber AC

Tabel 2.1 Standard IKE Gedung Perkantoran ber AC

(Sumber : Permen ESDM no 13:2013)

Kriteria	IKE (kWh/m²/bulan)
Sangat Efisien	< 8,5
Efisien	8,5 – 14
Cukup Efisien	14 - 18,5
Boros	≥ 18,5

2. Standard IKE Gedung perkantoran tanpa AC

Tabel 2.2 Standard IKE Gedung perkantoran tanpa AC

(Sumber : Permen ESDM no 13 : 2012)

Kriteria	IKE (kWh/m²/bulan)
Sangat Efisien	< 3,4
Efisien	3,4 - 5,6
Cukup Efisien	5,6 – 7,4
Boros	≥ 7,4

2.2.3.2 Peluang Hemat energi (PHE)

Peluang Hemat Energi adalah sebuah cara untuk mengetahui nilai penggunaan energi yang akan berkurang jika kita mampu menurunkan nilai IKE menjadi seperti nilai IKE target. Peluang hemat energi ini dapat dilakukan setelah perhitungan IKE, dan nilai IKE melebihi batas nilai target IKE. PHE ini digunakan untuk menghitung berapa besar peluang penghematan yang bisa dilakukan pada bangunan gedung tersebut. Nilai PHE dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$PHE = \Delta IKE \times Total\ Luas\ Ruangan \dots\dots\dots(7)$$

Dimana:

PHE : Peluang Hemat Energi

Δ IKE : Nilai IKE gedung – Nilai IKE target

2.2.3.4 Peluang Hemat Biaya

Peluang Hemat Biaya ini adalah kelanjutan dari PHE, Peluang Hemat Biaya adalah perkiraan biaya yang akan berkurang jika kita dapat menurunkan nilai IKE menjadi sesuai nilai IKE target. Peluang Hemat Biaya dapat dilakukan setelah peluang penghematan energi diketahui sehingga kita dapat menghitung perkiraan penghematan biaya yang didapat. Peluang hemat biaya ini dihitung dengan mengalikan peluang hemat energi dengan biaya per kWh. Berikut rumus untuk melakukan perhitungan Peluang Hemat Energi:

$$\text{Peluang Hemat Biaya} = \text{PHE} \times \text{Tarif Dasar Listrik} \dots\dots\dots (8)$$

Dimana:

PHE : Peluang Hemat Energi

Tarif dasar listrik : Tarif dasar listrik bangunan

2.2.3.5 Profi Beban

Pengukuran profil beban dilakukan untuk mengetahui pola perilaku penggunaan dan pengoprasian peralatan listrik pada sebuah bangunan atau gedung tingkat konsumsi energi listrik persatuan waktu. Profil beban harian akan disajikan dalam bentuk grafik hubungan antara pemakain energi listrik dengan waktu. Profil beban harian didapatkan dari pengukuran dengan *power quality* pada panel SDP gedung yang akan dicari profil beban harian. Dari profil beban akan diketahui penggunaan energi listrik persatuan waktu pada sebuah gedung.

2.2.3.6 Kualitas Energi Listrik

Energi listrik adalah energi yang memiliki suatu muatan positif (proton) dan negatif (elektron) yang bisa mengalir melalui suatu penghantar (konduktor) dalam sebuah rangkaian atau biasa diartikan juga sebagai aliran elektron dari atom ke atom lain pada sebuah penghantar. Energi listrik dapat diciptakan oleh sebuah energi lain dan enrgi listrik itu sendiri dapat dikonversikan menjadi energi yang lain seperti energi gerak, panas, cahaya. Beberapa hal yang perlu diperhatikan untuk mengetahui kualitaas energi listrik :

Tabel 2. 3 Standard ANSI/IEEE power quality (sumber : Handaji W. 2010. <http://repository.akprind.ac.id/sites/files/PROSDING.pdf>. Diakses pada 17-5-2017)

No	Parameter	Standard
1	Variasi frekuensi	50Hz \pm 0,5Hz – 1Hz
2	Perubahan frekuensi	sekitar 1 Hz
3	Ketidakseimbangan beban	5 s/d 20% maks pada setiap fasa
4	Ketidakseimbangan tegangan	2,5% - 5%
5	Faktor Daya	>0,85

A. Tegangan Listrik (Volt)

Tegangan listrik adalah perbedaan potensial listrik yang dihasilkan antara dua buah titik dalam rangkaian listrik, dan dinyatakan dalam satuan volt (V). Besaran ini mengukur energi potensial dari sebuah medan listrik yang mengakibatkan adanya aliran listrik dalam sebuah konduktor, nilainya tergantung pada perbedaan potensial listriknya. Tegangan listrik dapat dibagi menjadi beberapa tingkatan yaitu tegangan ekstra rendah, tegangan rendah, tegangan tinggi atau tegangan ekstra tinggi. Secara definisi tegangan listrik menyebabkan obyek bermuatan listrik negatif tertarik dari tempat bertegangan rendah menuju tempat bertegangan tinggi.

B. Arus Listrik (Ampere)

Arus listrik adalah banyaknya muatan listrik yang disebabkan oleh pergerakan elektron-elektron yang mengalir dari suatu titik ke titik lain dalam sirkuit listrik tiap satuan waktu. Arus listrik dapat diukur dalam satuan Coloumb/detik atau Ampere (A). Contoh arus listrik dalam kehidupan sehari-hari dari yang sangat lemah dalam satuan mikro Ampere seperti dalam tubuh hingga arus yang sangat kuat 1-200 kiloAmpere seperti yang terjadi pada petir. Dalam kebanyakan sirkuit dapat diasumsikan nilai resistansi terhadap arus listrik adalah

konstan sehingga besar arus yang mengalir dalam sirkuit bergantung pada nilai voltase dan nilai resistansisesuai denan hukum ohm.

C. Daya Listrik (Watt)

Daya Listrik seperti daya mekanik dialambangkan dengan huruf P dalam persamaan listrik. Pada rangkaian arus DC, daya listrik sesaat dapat dihitung menggunakan Hukum Joule, sesuai nama fisikawan Britania James Joule, yang pertama kali menunjukkan bahwa energi listrik dapat berubah menjadi energi mekanik, dan sebaliknya. Untuk menghitung daya dapat digunakan rumus:

$$P = V \cdot I \dots\dots\dots (1)$$

Dimana:

P : Daya (Watt)

V : Tegangan (Volt)

I : Arus (Ampere)

Hukum Joule juga dapat digabungkn dengn Hukum Ohm untuk menghasilkan persamaan tambahan yaitu:

$$P = I^2 R = \frac{V^2}{R} \dots\dots\dots (2)$$

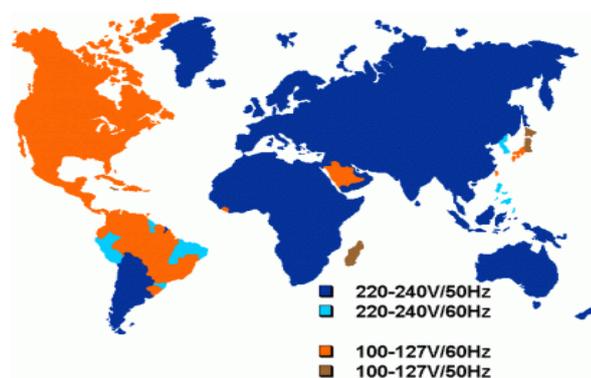
Dimana:

R : Hambatan listrik (Ohm)

D. Frekuensi

Frekuensi adalah jumlah getaran yang terjadi dalam waktu satu detik atau banyaknya gelombang/getaran listrik yang dihasilkan tiap detik. Frekuensi

dilambangkan dalam huruf **f**. Frekuensi ini diperoleh dari kombinasi jumlah putaran dan jumlah kutub listrik pada generator di pembangkit listrik. Pada awal sejarah munculnya listrik, pemahaman terhadap frekuensi tidak seperti yang sekarang ini kita semua pahami. Pada masa itu frekuensi lebih dipahami sebagai banyaknya jumlah perubahan polaritas (alternasi) per menit, akibatnya pada masa tersebut banyak kita temui frekuensi sistem tenaga yang apabila kita ubah ke definisi frekuensi modern akan menghasilkan angka yang tidak lazim, seperti 83 Hz atau 133 Hz. Sampai saat ini masih ada perbedaan penggunaan frekuensi diberbagai negara, di Amerika, khususnya Amerika Utara memilih menggunakan standar National Electrical Manufacturers Association (NEMA) yaitu 60 Hz, Sedangkan negara lain di Eropa, Asia, dan Afrika lebih memilih menggunakan standar International Electrotechnical Commission (IEC) dan memakai frekuensi 50 Hz, dan Jepang adalah kasus khusus karena menjadi negara yang memakai dua sistem frekuensi 50 Hz dan 60 Hz sekaligus. Di Indonesia sendiri memakai sistem frekuensi 50 Hz



Gambar 2.2 Peta pemakaian sistem frekuensi di dunia

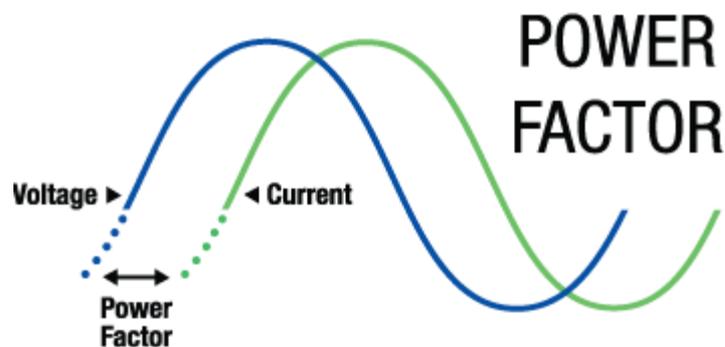
(Sumber : Anonim. 2010. *Antara 50 Hz dan 60 Hz*.)

<https://konversi.wordpress.com/2011/12/10/antara-50-hz-dan-60-hz/>.

(Diakses pada 3 Februari 2017)

E. Faktor Daya (PF)

Faktor daya atau faktor kerja adalah perbandingan antara daya aktif (watt) dengan daya semu/daya total (VA), atau cosinus sudut antara daya aktif dan daya semu/daya total. Faktor daya yang rendah merugikan karena mengakibatkan arus beban tinggi.



Gambar 2.3 Power factor

(Sumber : Anonim. 2015. *The importance of the power factor to LED high bay luminaire*. http://www.sunper.net/blog/highbayknowledge_The-importance-of-the-power-factor-to-LED-high-bay-luminaire/. Diakses pada 3 februari 2016)

Standar faktor daya yang digunakan di Indonesia adalah 0.85, jika faktor daya yang digunakan pelanggan dibawah 0.85 maka akan diterapkan biaya kVArh, Karena faktor daya yang rendah cukup merugikan baik ke alat yang kita gunakan, jaringan listrik dan biaya yang kita keluarkan. Faktor daya dengan nilai 1.0 adalah faktor daya dengan beban paling efisien.

$$PF = \cos\phi = \frac{P}{S} \dots\dots\dots (3)$$

Dimana :

PF : Faktor Daya

P : Daya Aktif (W)

S : Daya semu (VA)

Beberapa hal yang perlu diketahui agar lebih memahami faktor daya:

1. Daya Aktif (P)

Daya aktif atau Real Power yaitu power yang menghasilkan kerja (kW).

2. Daya semu (S)

Daya semu atau Daya total atau Available Power yaitu total daya yang digunakan (kVA). Berikut rumusan daya semu:

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \quad (\text{untuk sistem tiga fase}) \dots\dots\dots(4)$$

Dimana:

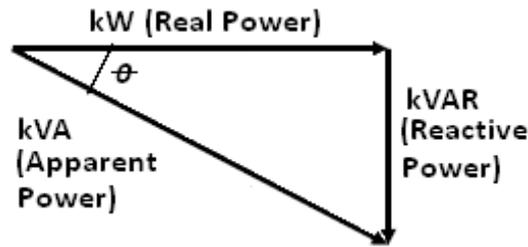
S : Daya Semu (kVA)

V : Tegangan antar fase (V)

I : Arus listrik beban (A)

3. Daya Reaktif (Q)

Daya Reaktif atau Reactive Power yaitu daya yang dibutuhkan untuk menghasilkan medan magnet yang di butuhkan untuk mengoperasikan peralatan listrik induktif atau daya yang timbul akibat mengalirnya arus listrik melalui kumparan kumparan kawat seperti pada motor-motor listrik, transformer, balast dll biasanya memiliki satuan (kVAR). Daya reaktif inilah yang sangat berpengaruh pada nilai faktor daya.



Gambar 2.4 segitiga daya

(Sumber : Anomim. 2010. *Solusi menghemat biaya pemakaian listrik*.

<http://fmpunya.blogspot.sg/2010/07/solusi-menghemat-biaya-pemakaian.html?m=1>. Diakses Pada 3 februari 2016)

Pada segitiga daya diatas terlihat, semakin semakin pendek garis kVAR (Q), maka sudut ϕ semakin kecil. Besar nya nilai Cosinus dari sudut ϕ yang terbentuk inilah yang dinamakan dengan Faktor Daya atau Cos Phi. Semakin panjang garis kVAR berarti semakin besar pemakaian daya reaktif.

Hal ini berarti dengan semakin panjangnya garis kVAR akan menyebabkan semakin besar sudut ϕ . Nilai Cosinus dari sudut ϕ berbanding terbalik dengan besarnya sudut ϕ . Pada sudut $\phi = 0^\circ$, nilai Cos ϕ adalah = 1, dan pada sudut $\phi = 90^\circ$, nilai Cos ϕ adalah 0. Seperti pada table 2.3:

Tabel 2.4 Perbandingan ϕ dan $\cos \phi$

(Sumber : Royen Abi. 2014. *Pengertian faktor daya dan manfaat dari koreksi faktor daya*. <http://abi-blog.com/pengertian-manfaat-koreksi-faktor-daya/> Diakses 3 februari 2016)

ϕ	$\cos \phi$ (PF)
0	1
30	0.866
45	0.777
60	0.5
90	0

Besarnya nilai $\cos \phi$ (Faktor Daya) ada pada nilai 0 sd 1.

2.2.3.7 Konservasi Energi Pada Sistem Pencahayaan

Menurut Kementrian ESDM (2011) Sistem pencahayaan memiliki potensi penghematan sebesar 9% pada bangunan gedung. Potensi ini tentu cukup baik untuk dilaksanakan dalam konservasi energi. Selain itu sistem tata cahaya adalah salah satu hal yang cukup penting menyangkut pada tingkat produktifitas para karyawan di dalam bangunan. Sistem pencahayaan yang baik dan sesuai standar yang telah ditentukan adalah salah satu hal yang penting yang diperlukan supaya pekerjaan yang berlangsung di dalamnya berlangsung efisien dan aman. Selain itu dengan sistem pencahayaan yang baik maka akan tercipta suasana yang nyaman dan menyenangkan bagi para karyawan.

Menurut Anderson (2003) audit energi pada sistem pencahayaan juga perlu dilakukan agar mengetahui pemborosan-pemborosan yang terjadi. Berikut kesalahan-kesalahan umum yang terjadi pada sistem pencahayaan dan menyebabkan pemborosan :

1. Inefisiensi lumener atau lumener tidak efisien hal ini terjadi ketika lampu mempunyai intensitas daya tinggi akan tetapi nilai iluminasi yang dihasilkan rendah.
2. Pencahayaan yang berlebihan terjadi ketika hasil pencahayaan memiliki nilai iluminasi melebihi dari standard.
3. Panas yang berlebihan sehingga menyebabkan suhu ruang sedikit meningkat dan berakibat bertambahnya beban pendinginan AC.
4. Kerugian pada transmisi terjadi karena lumener terpasang terlalu jauh dari tempat kerja, sehingga intensitas pencahayaan pada tempat kerja menjadi kurang optimal.

A. Standar Tingkat Pencahayaan

Setiap ruangan akan memiliki tingkat pencahayaan yang berbeda beda sesuai jenis pekerjaannya, misalkan: ruangan yang digunakan untuk pekerjaan yang memiliki tingkat ketelitian yang tinggi tentu akan membutuhkan tingkat pencahayaan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan ruangan yang hanya dipakai sebagai gudang. Besarnya intensitas cahaya dapat diukur dengan lux meter. Satuan dari intensitas cahaya itu sendiri adalah lumen/m² atau sering disebut Lux. Berikut tabel tingkat pencahayaan minimal suatu ruangan yang dibuat oleh Badan Standarisasi Nasional (SNI 6197 : 2011) :

Tabel 2. 5 Standar Tingkat Pencahayaan

(Sumber : SNI 6197:2011)

Fungsi ruangan	Tingkat pencahayaan (Lux)	Kelompok renderasi warna	Temperatur warna		
			Warm <3300 Kelvin	Warm white 3300Kelvin ~5300Kelvin	Cool Daylight > 5300Kelvin
Rumah tinggal :					
Teras	60	1 atau 2	♦	♦	
Ruang tamu	150	1 atau 2		♦	
Ruang makan	250	1 atau 2	♦		
Ruang kerja	300	1		♦	♦
Kamar tidur	250	1 atau 2	♦	♦	
Kamar mandi	250	1 atau 2		♦	♦
Dapur	250	1 atau 2	♦	♦	
Garasi	60	3 atau 4		♦	♦
Perkantoran :					
Ruang resepsionis.	300	1 atau 2	♦	♦	
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		♦	♦
Ruang tangga darurat	150	1 atau 2			♦
Ruang parkir	100	3 atau 4			♦
Lembaga pendidikan :					
Ruang kelas	350	1 atau 2		♦	♦
Perpustakaan	300	1 atau 2		♦	♦
Laboratorium	500	1		♦	♦
Ruang praktek komputer.	500	1 atau 2		♦	♦
Ruang laboratorium bahasa.	300	1 atau 2		♦	♦
Ruang guru	300	1 atau 2		♦	♦
Ruang olahraga	300	2 atau 3		♦	♦
Ruang gambar	750	1		♦	♦
Kantin	200	1	♦	♦	
Hotel dan restoran :					
Ruang resepsionis dan kasir	300	1 atau 2	♦	♦	
Lobi	350	1	♦	♦	
Ruang serba guna	200	1	♦	♦	
Ruang rapat	300	1	♦	♦	
Ruang makan	250	1	♦	♦	
Kafetaria	200	1	♦	♦	
Kamar tidur	150	1 atau 2	♦		
Koridor	100	1	♦	♦	
Dapur	300	1	♦	♦	

Lanjutan

Fungsi ruangan	Tingkat pencahayaan (Lux)	Kelompok renderasi warna	Temperatur warna		
			Warm <3300 Kelvin	Warm white 3300Kelvin ~5300Kelvin	Cool Daylight > 5300Kelvin
Rumah sakit/balai pengobatan					
Ruang tunggu	200	1 atau 2	♦	♦	
Ruang rawat inap	250	1 atau 2		♦	♦
Ruang operasi, ruang bersalin	300	1		♦	♦
Laboratorium	500	1 atau 2		♦	♦
Ruang rekreasi dan rehabilitasi	250	1	♦	♦	
Ruang koridor siang hari	200	1 atau 2		♦	♦
Ruang koridor malam hari	50	1 atau 2		♦	♦
Ruang kantor staff	350	1 atau 2		♦	♦
Kamar mandi & toilet pasien	200	2			♦
Pertokoan/ruang pameran :					
Ruang pameran dengan obyek berukuran besar (misalnya mobil)	500	1	♦	♦	♦
Area penjualan kecil	300	1 atau 2		♦	♦
Area penjualan besar	500	1 atau 2		♦	♦
Area kasir	500	1 atau 2		♦	♦
Toko kue dan makanan.	250	1	♦	♦	
Toko bunga	250	1		♦	
Toko buku dan alat tulis/ gambar	300	1	♦	♦	♦
Toko perhiasan, arloji	500	1	♦	♦	
Toko barang kulit dan sepatu	500	1	♦	♦	
Toko pakaian	500	1	♦	♦	
Pasar swalayan	500	1 atau 2	♦	♦	
Toko mainan	500	1	♦	♦	
Toko alat listrik (TV, radio/tape, mesin cuci dan lain-lain)	250	1 atau 2	♦	♦	♦
Toko alat musik dan olahraga	250	1	♦	♦	♦
Industri (umum) :					
Gudang	100	3		♦	♦
Pekerjaan kasar	200	2 atau 3		♦	♦
Pekerjaan menengah	500	1 atau 2		♦	♦
Pekerjaan halus	1000	1		♦	♦
Pekerjaan amat halus	2000	1		♦	♦
Pemeriksaan warna	750	1		♦	♦
Rumah ibadah :					
Masjid	200	1 atau 2		♦	
Gereja	200	1 atau 2		♦	
Vihara	200	1 atau 2		♦	

CATATAN : 1 Tanda ♦ artinya dapat digunakan.

2 Kelompok renderasi warna (1, 2, 3 dan 4) lihat pada penjelasan pasal 4.3.2

B. Standar Daya Pencahayaan

Selain dengan tingkat pencahayaan (Lux) untuk mengetahui tingkat efisiensi dan peluang konservasi energi pada sistem pencahayaan pada bangunan gedung, perlu diadakan audit pada daya yang digunakan pada sistem pencahayaan. Audit ini bertujuan untuk mengetahui efisiensi penggunaan energi pada sistem pencahayaan pada suatu ruangan yang bisa diperoleh dengan mengukur intensitas daya penerangan yang dinyatakan dalam satuan watt/m². Berikut rumus untuk mengetahui daya pencahayaan dalam suatu ruangan:

$$\text{Daya pencahayaan} = \frac{\text{Daya Total Lampu}}{\text{Luas ruangan}} \dots\dots\dots (5)$$

Dimana:

Daya Pencahayaan : Daya pencahayaan dalam ruangan (W/m²).

Daya Total Lampu : Daya total lampu dalam suatu ruangan.

Luas Ruangan : Luas total ruangan.

Setelah di dapat nilai daya pencahayaan, untuk mengetahui apakah daya pencahayaan pada ruangan tersebut telah dapat dikatakan efisien atau belum kita dapat membandingkan dengan nilai standar yang terdapat pada SNI 6197:2011 seperti berikut:

Tabel 2.6 Standar daya pencahayaan maksimum

(Sumber : SNI 6197:2011)

Fungsi ruangan	Daya pencahayaan maksimum (W/m ²) (termasuk rugi-rugi ballast)
Rumah tinggal :	
Teras	3
Ruang tamu	5
Ruang makan	7
Ruang kerja	7
Kamar tidur	7
Kamar mandi	7
Dapur	7
Garasi	3
Perkantoran :	
Ruang resepsionis	13
Ruang direktur	13
Ruang kerja	12
Ruang komputer	12
Ruang rapat	12
Ruang gambar	20
Gudang arsip tidak aktif	6
Ruang arsip aktif	12
Ruang tangga darurat	4
Ruang parkir	4
Lembaga pendidikan :	
Ruang kelas	15
Perpustakaan	11
Laboratorium	13
Ruang praktek komputer	12
Ruang laboratorium bahasa	13
Ruang guru	12
Ruang olahraga	12
Ruang gambar	20
Kantin	8
Hotel dan restoran :	
Ruang resepsionis dan kasir	12
Lobi	12
Ruang serba guna	8
Ruang rapat	10
Ruang makan	9
Kafetaria	8
Kamar tidur	7
Koridor	5
Dapur	10
Rumah sakit/ balai pengobatan	
Ruang tunggu	12
Ruang rawat jalan	10
Ruang rawat inap	12
Ruang operasi, ruang bersalin	10
Laboratorium	15
Ruang gawat darurat	15
Ruang tindakan	15
Ruang rekreasi dan rehabilitasi	10
Ruang pemulihan	8
Ruang koridor siang hari	9
Ruang koridor malam hari	3
Ruang kantor staf	10
Kamar mandi & toilet pasien	7

C. Standar Keseimbangan Antara Tingkat Pencahayaan dan Daya Pencahayaan.

Selain standar tingkat pencahayaan (lux) dan standar daya pencahayaan BSN juga membuat standar keseimbangan antara keduanya (tingkat pencahayaan dan daya pencahayaan) yang harus dicapai. Sehingga di dapatkan tingkat pencahayaan yang tepat dan tidak boros energi. Berikut target acuan menurut SNI 6197:2011:

Tabel 2. 7 standar tingkat pencahayaan (lux) dan Standar daya pencahayaan.

(Sumber : SNI 6197:2011)

Nilai iluminans nominal (Lux)	Nilai beban pencahayaan sebagai pedoman	
	Standar (W/m ²)	Target acuan (W/m ²)
50	3,2	2,5
100	4,5	3,5
300	10,0	7,5
500	15,0	11,0
750	20,0	16,0
1.000	25,0	21,0