

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Studi pustaka

Berikut ini pembahasan penelitian yang berkaitan dengan audit sistem pencahayaan gedung bertingkat.

Pada penelitian terkait penggunaan energi salah satunya Green Campus, Green Campus adalah kampus hijau yang menerapkan efisiensi yang rendah emisi, konservasi sumber daya dan meningkatkan kualitas lingkungan. Pengertian green campus ini sendiri adalah sejauh mana warga kampus dapat memanfaatkan sumber daya yang ada di lingkungan kampus secara efektif dan efisien, contohnya dalam pemanfaatan penggunaan kertas, efisiensi pengolahan sampah, penggunaan listrik, air, dan lainnya (nasotion,2011).

Dan juga Efisiensi energi, Efisiensi energi sendiri dapat diartikan sebagai penggunaan energi yang lebih sedikit untuk mencapai hasil yang sama. Misalnya pemilihan penggunaan lampu led dibandingkan dengan lampu pijar , lampu led merupakan lampu yang paling hemat energi di banding yang lain karena menggunakan daya yang lebih kecil untu menghasilkan kadar keterangan yang sama. Lampu led hanya membutuhkan 4 watt untuk menghasilkan keterangan yang sama dengan lampu pijar yang berdaya 20 watt.

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 (kormesil) adalah 240 kWh/ per tahun, pusat pembelanjaan 330 kWh/ per tahun, hotel atau apartemen 330 kWh/ per tahun dan rumah sakit 380 kWh/ pertahun. Jika nilai IKE lebih rendah dari pada batas bawah maka bangunan tersebut dikatakan hemat energi sehingga perlu di pertahankan dengan melaksanakan aktivitas dan pemeliharaan yang sesuai dengan standar prosedur yang telah di tetapkan oleh perusahaan. Jika nilai IKE berada di atas maka bangunan tersebut dikatakan boros

sehingga perlu dilakukan beberapa perubahan. Apabila acuan di atas batas atas maka perlu dilakukan *replacement*.

2.2 Dasar Teori

Adapun teori penunjang yang digunakan penulis untuk mengerjakan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

2.2.1 Cahaya

Cahaya adalah energi berbentuk gelombang elektromagnetik yang kasat mata dengan panjang gelombang sekitar 380–750 nm. Pada bidang fisika, cahaya adalah radiasi elektromagnetik, baik dengan panjang gelombang kasat mata maupun yang tidak. Selain itu, cahaya adalah paket partikel yang disebut foton. Kedua definisi tersebut merupakan sifat yang ditunjukkan cahaya secara bersamaan sehingga disebut "dualisme gelombang-partikel". Paket cahaya yang disebut spektrum kemudian dipersepsikan secara visual oleh indera penglihatan sebagai warna. Bidang studi cahaya dikenal dengan sebutan optika, merupakan area riset yang penting pada fisika modern.

2.2.2 Pencahayaan

Dalam merencanakan atau melakukan penelitian terhadap kualitas pencahayaan suatu ruangan, harus diperhatikan beberapa kriteria dasar agar didapatkan tingkat pencahayaan yang baik dan mata dapat melihat dengan jelas dan nyaman. Dalam teknologi pencahayaan sejumlah istilah teknis yang digunakan untuk menggambarkan sifat sumber cahaya dan efek yang dihasilkan (*Rüdiger Ganslandt & Harald Hofmann. Handbook of Lighting design, 1992*) yaitu :

- a. Fluks cahaya, lumen (*luminous flux*)

- b. Perbandingan antara fluks cahaya dengan daya lampu (*luminous efficacy*)
- c. Kuantitas pencahayaan (*quantity of light*)
- d. Intensitas cahaya atau lilin (*luminous intensity*)
- e. Kuat penerangan (*illuminance*)
- f. Luminasi (*luminance*)
- g. Eksposur (*exposure*)

2.2.1.1 Fluks Cahaya (*luminous fluks*)

Fluks cahaya (ϕ) menggambarkan jumlah total cahaya yang dipancarkan oleh sumber cahaya. Lambang fluks cahaya adalah F dan satuannya adalah lumen (lm). Satu lumen adalah fluks cahaya yang dipancarkan dalam 1 steradian dari sebuah sumber cahaya 1 cd pada permukaan bola dengan jari-jari $r = 1$ m. Fluks cahaya dalam 1 watt dipancarkan pada puncak sensitivitas spektral (dalam kisaran photopic di 555nm) menghasilkan fluks 683 lumen. Artinya jika fluks cahaya dikaitkan dengan daya listrik, maka 1 watt cahaya dengan panjang gelombang 555nm sama nilainya dengan 683 lumen.

2.2.1.2 Efikasi pencahayaan (*luminous efficacy*)

Efikasi (H) adalah efisiensi lampu, merupakan perbandingan antara fluks cahaya (ϕ) yang dihasilkan lampu dengan daya lampu (P), dengan nilai satuannya adalah lumen/watt. Maka tinggi efikasi lampu makin besar daya listrik yang sama, makin tinggi fluks cahaya dan intensitas cahayanya. Artinya lampu tersebut makin hemat energi.

2.2.1.3 Kuantitas pencahayaan (*quantity of light*)

Kuantitas cahaya (Q) adalah energi yang dipancarkan oleh sumber cahaya yang merupakan hasil dari fluks cahaya (ϕ) yang dipancarkan dikalikan waktu (t), dengan nilai satuan *lumen.second* (lm.s)

2.2.1.4 Intensitas cahaya (*luminous intensity*)

Intensitas cahaya (i) adalah arus cahaya yang di pancarkan per satuan sudut ruang (ω : omega). Intensitas cahaya dalam suatu arah dari satu sumber, memancarkan radiasi monomatrik dengan frekuensi 540×10^{12} Hertz dan yang mempunyai intensitas radian di arah 683^1 watt per steradian.

2.2.1.5 Kuat penerangan (*illuminance*)

Kuat penerangan (E) merupakan cara mengevaluasi kepadatan fluks cahaya. Hal ini menunjukkan jumlah fluks dari sumber cahaya jatuh pada daerah tertentu. Yang nantinya dapat diukur pada setiap titik dalam sebuah ruang. Artinya, kuat penerangan (E) merupakan fluks (ϕ) cahaya yang diterima bidang permukaan seluas (A).

2.2.1.6 Luminasi (*luminance*)

Luminasi adalah intensitas cahaya yang di pancarkan, di teruskan, atau di pantulkan oleh bidang permukaan seluas (A). Jika bidang seluas 1 m^2 memancarkan cahaya berintensitas 1 cd ke arah garis normal bidang, maka bidang tersebut memiliki luminasi sebesar 1.

2.2.1.7 Eksposur (*exposure*)

Eksposur digambarkan sebagai hasil dari penerangan dan waktu paparan. Eksposur merupakan masalah penting, misalnya mengenai perhitungan paparan cahaya pada pameran di museum.

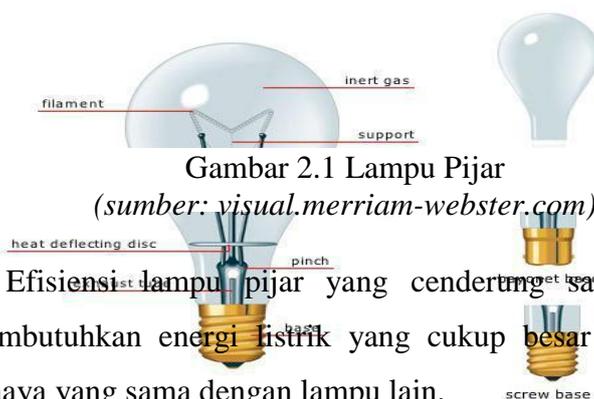
2.2.3 Cara kerja

Berdasarkan cara kerjanya lampu dibagi menjadi lima jenis, sebagai berikut :

a. Lampu pijar (*insadencent*)

Cahaya lampu pijar berasal dari bahan wolfram (*tungsten*). Bola lampu berisi gas bertekanan rendah (*inert gas*) seperti argon, nitrogen, krypton dan xenon.

Lampu *incandescent* memiliki masa kerja aktif antara 750 hingga 2000 jam dengan temperatur tabung umumnya 2700 Kelvin. Temperatur yang sedemikian tinggi ini umumnya mengakibatkan lampu tidak bisa disentuh bila sudah menyala cukup lama. standar cahaya yang dihasilkan lampu ini antara 5 hingga 20 lumen per Watt.



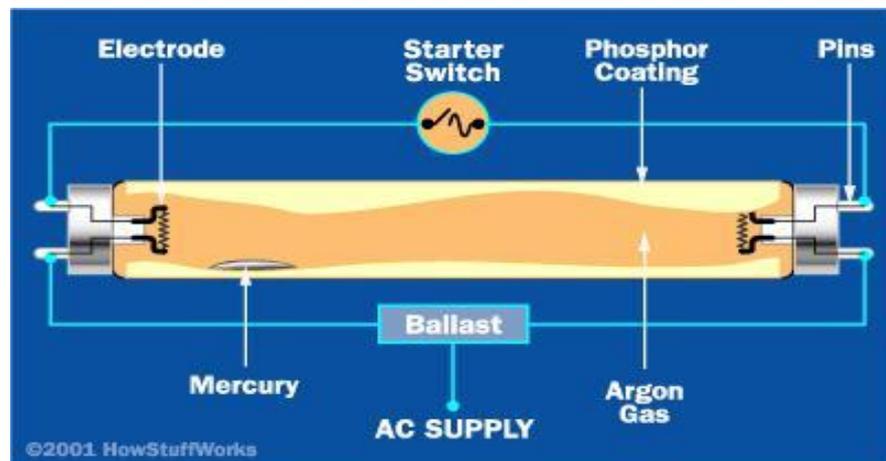
Gambar 2.1 Lampu Pijar
(sumber: visual.merriam-webster.com)

Efisiensi lampu pijar yang cenderung sangat rendah, karena membutuhkan energi listrik yang cukup besar untuk menghasilkan cahaya yang sama dengan lampu lain.

b. Lampu *fluorescent*

Lampu *fluorescent* atau lampu TL ini adalah jenis lampu gas atau discharge atau lampu pelepasan gas karena terjadi pelepasan elektron dari elektroda yang melalui uap merkuri, sehingga merkuri atom tersebut terksitasi dan mengeluarkan cahaya ultraviolet.

Cahaya lampu *fluorescent* berasal dari lapisan tipis fosfor pada permukaan dalam tabung. Fosfor menghasilkan cahaya tampak karena tertumbuk gelombang elektromagnetik ultraviolet yang dihasilkan uap merkuri saat terjadi aliran elektron (katoda menuju anoda). Tabungnya berisi gas bertekanan rendah, seperti argon, neon, krypton dan xenon.



Gambar 2.2 Lampu Flouercent

(sumber: home.howstuffworks.com)

c. Lampu halogen

Cahaya lampu halogen berasal dari pijar kumparan kawat yang terbuat dari bahan wolfram (*tugsten*). Dan bola lampu berisi *inert gas*. Gas halogen yang dipakai seperti iodin dan bromin. Perbedaannya dengan lampu pijar, lampu halogen digunakan untuk operasi pada suhu tinggi dan bentuk lampu yang lebih kecil. Intensitas cahaya yang

dihasilkan lebih tinggi dan meningkatkan efisiensi konsumsi energi listrik yang signifikan.

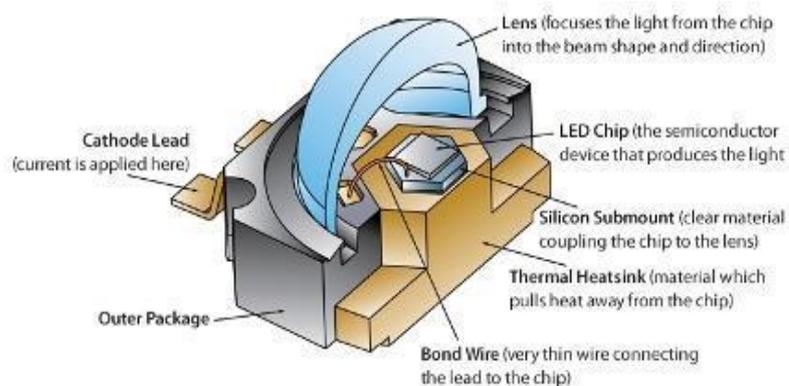


Gambar 2.3 Lampu Halogen
(sumber: visual.merriam-webster.com)

d. Lampu LED (*light emitting diode*)

Lampu LED adalah lampu semikonduktor, yang jika dialiri listrik maka elektron atomnya akan tereksitasi, sehingga melepaskan cahaya. Dioda ini terpasang pada *emitter*, sumber cahaya pada lampu LED.

Cara kerjanya pun hampir sama dengan dioda yang memiliki dua kutub yaitu kutub Positif (P) dan Kutub Negatif (N). LED hanya akan memancarkan cahaya apabila dialiri tegangan maju (bias *forward*) dari anoda menuju ke katoda.



Gambar 2.4 Lampu LED Bulb

(sumber: *electronicsweekly.com*)

2.2.4 Power Input, Luminous Fluks, dan Efikasi

Daya (*power input*) adalah besar konsumsi energi listrik yang dibutuhkan untuk menghasilkan arus cahaya dengan besaran tertentu sesuai spesifikasi lampu.

Arus cahaya adalah jumlah cahaya yang dipancarkan lampu per satuan waktu berdasarkan besar daya yang diterima. Dengan satuan pengukurannya lumen.

Sedangkan efikasi adalah efisiensi lampu, yaitu perbandingan antara besar arus cahaya yang dipancarkan lampu per daya yang dibutuhkan lampu. Satuan efikasi adalah lumen per watt. Makin tinggi efikasi lampu dengan besar daya listrik yang sama, makin tinggi arus cahaya dan intensitas cahayanya. Artinya lampu tersebut makin hemat energi.

2.2.5 Usia Pakai

Usia pakai lampu adalah jangka waktu kemampuan lampu untuk menyala sejak awal pemakaian hingga lampu tersebut tidak dapat digunakan lagi, dengan asumsi durasi penyalaan per hari selama sekian jam tertentu per hari.

Usia pakai lampu terkait dengan biaya pengadaan dan biaya pemeliharaan. Lampu *incandescent* jenis *classic tone standard* memiliki usia pakai lampu terpendek diantara jenis lampu lainnya, yaitu sekitar 1000 jam.

2.2.6 Audit Energi

Audit energi adalah aktifitas yang dilakukan untuk mengevaluasi penggunaan energi sebuah sistem, baik itu berupa industri maupun bangunan, guna mengidentifikasi peluang-peluang penghematan yang dapat dilakukan. Audit energi merupakan bagian dari manajemen energi yang memiliki sasaran sebagai berikut:

1. Memperoleh gambaran pola penggunaan energi, meliputi :
 - Intensitas konsumsi energi (IKE)
 - Efisiensi penggunaan energi
2. Mengidentifikasi sumber – sumber pemborosan energi dan menyusun langkah – langkah pencegahaannya.
3. Dasar untuk meningkatkan efisiensi 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.

2.2.7 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 ampere (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 serta dengan frekuensi 50 Hz.

2.2.8 Intensitas Konsumsi Energi

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.

2.2.9 Peluang Hemat Energi

Setelah melakukan audit energi 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 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 untuk menghitung peluang hemat biaya dapat dilakukan dengan rumus sebagai berikut :

Peluang Hemat Biaya = PHE × tarif listrik

Keterangan :

PHE : Peluang Hemat Biaya

Tarif Listrik : Biaya Per kWh

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 :

$E = P \times t$

Keterangan :

E : Energi yang terpakai (Wh)

P : Daya beban (Watt)

t : Waktu

2.2.10 Tarif Dasar Listrik

Tarif dasar listrik merupakan 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. Sesuai dengan Keputusan Presiden Republik Indonesia No.104 tahun 2013 yang menyebutkan bahwa penetapan tarif dasar listrik Indonesia oleh PLN pada bulan april – juni 2018 yaitu dapat dilihat pada gambar 2.5.

Dan pada gedung Universitas Muhammadiyah Yogyakarta ini memiliki tarif dasar listrik per kWhnya yaitu Rp.1.467,28 karena Universitas Muhammadiyah Yogyakarta ini berlangganan 150 Kva. Dimana perhitungan tarif listrik setiap tahunnya, sebagai berikut :

$$\text{Tarif listrik} = \text{Total Penggunaan Energi} \times \text{Harga per kWh}$$

Keterangan :

Tarif listrik = Jumlah Biaya (Rp)

Total Penggunaan Energi = Jumlah Energi Listrik Yang Digunakan (kWh)

Harga listrik/kWh = Harga per kWh Sesuai Tarif Langganan (Rp)



PT PLN (Persero)

Jalan Trunojoyo Blok M I/135 Kebayoran Baru – Jakarta 12160

Telepon : (021) 7261875, 7261122, 7262234

Facsimile : (021) 7221330

Website : www.pln.co.id

(021) 7251234, 7250550

**PENETAPAN
PENYESUAIAN TARIF TENAGA LISTRIK (TARIFF ADJUSTMENT)**

BULAN APRIL - JUNI 2018

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	1.300 VA	*)	1.467,28	1.467,28
2.	R-1/TR	2.200 VA	*)	1.467,28	1.467,28
3.	R-2/TR	3.500 VA s.d. 5.500 VA	*)	1.467,28	1.467,28
4.	R-3/TR	6.600 VA ke atas	*)	1.467,28	1.467,28
5.	B-2/TR	6.600 VA s.d. 200 kVA	*)	1.467,28	1.467,28
6.	B-3/TM	di atas 200 kVA	**)	Blok WBP = K x 1.035,78 Blok LWBP = 1.035,78 kVArh = 1.114,74 ****)	-
7.	I-3/TM	di atas 200 kVA	**)	Blok WBP = K x 1.035,78 Blok LWBP = 1.035,78 kVArh = 1.114,74 ****)	-
8.	I-4/TT	30.000 kVA ke atas	***)	Blok WBP dan Blok LWBP = 996,74 kVArh = 996,74 ****)	-
9.	P-1/TR	6.600 VA s.d. 200 kVA	*)	1.467,28	1.467,28
10.	P-2/TM	di atas 200 kVA	**)	Blok WBP = K x 1.035,78 Blok LWBP = 1.035,78 kVArh = 1.114,74 ****)	-
11.	P-3/TR		*)	1.467,28	1.467,28
12.	L/TR, TM, TT		-	1.644,52	-

Catatan :

- *) Diterapkan Rekening Minimum (RM):
RM1 = 40 (Jam Nyala) x Daya tersambung (kVA) x Biaya Pemakaian.
- ***) Diterapkan Rekening Minimum (RM):
RM2 = 40 (Jam Nyala) x Daya tersambung (kVA) x Biaya Pemakaian LWBP.
Jam nyala : kWh per bulan dibagi dengan kVA tersambung.
- ****) Diterapkan Rekening Minimum (RM):
RM3 = 40 (Jam Nyala) x Daya tersambung (kVA) x Biaya Pemakaian WBP dan LWBP.
Jam nyala : kWh per bulan dibagi dengan kVA tersambung.
- *****) Biaya kelebihan pemakaian daya reaktif (kVArh) dikenakan dalam hal faktor daya rata-rata setiap bulan kurang dari 0,85 (delapan puluh lima per seratus).
- K : Faktor perbandingan antara harga WBP dan LWBP sesuai dengan karakteristik beban sistem kelistrikan setempat ($1,4 \leq K \leq 2$), ditetapkan oleh Direksi Perusahaan Perseroan (Persero) PT Perusahaan Listrik Negara.

WBP : Waktu Beban Puncak.
LWBP : Luar Waktu Beban Puncak.

Gambar 2.5 Tarif Dasar Listrik

(Sumber : <https://www.sepulsa.com/blog/biaya-dan-tarif-listrik-per-kwh-2018>)

2.2.11 Time Value of Money

Nilai waktu uang merupakan suatu konsep yang sangat penting bagi suatu organisasi yang menyatakan bahwa nilai uang sekarang lebih berharga dari pada nilai uang masa yang akan datang. Perbedaan nilai mata uang tersebut disebabkan karena perbedaan waktu. Dalam hal ini misalnya pembayaran listrik 5 atau 10 tahun yang akan mendatang.

Berikut ini dimana biaya tagihan listrik yang dibebankan kepada Universitas Muhammadiyah Yogyakarta setiap tahunnya, diasumsikan dengan suku bunga sebesar 1,02 % yang di dapat dari nilai rata – rata kenaikan tarif bayar listrik PLN dalam kurun waktu 5 tahun terakhir dengan tarif listrik per kWh tetap sama yaitu Rp.1.467,28. *Time value of money* ini dapat dihitung dengan menggunakan rumus, karena yang dicari adalah nilai mata uang atau biaya tagihan listrik untuk 5 atau 10 tahun yang akan datang , maka yang dicari adalah nilai *future* / masa depan dengan cara memperhitungkan nilai mata uang yang sekarang dikalikan dengan 1 dan suku bunga kemudian dikalikan dengan tahun kelipatannya untuk rumus dapat dilihat di bawah ini, sebagi berikut :

$$F = P (1 + i)^n$$

Keterangan :

F = Future

P = Present

i = Suku bunga

n = Tahun

2.2.12 Penghematan Energi

Penghematan energi ini merupakan suatu perbandingan dari daya yang digunakan dan daya masukan atau usulan pada sistem pemanfaatan energi yang mengurangi jumlah energi yang digunakan untuk penggunaan energi listrik pada kehidupan yang dilakukan manusia, yaitu dengan cara menggunakan alat atau peralatan mesin yang mengkonsumsi energi yang lebih hemat daya. Efisiensi energi juga dapat berupa penggunaan energi yang sama dengan menghasilkan manfaat yang lebih dengan sangat berfokus pada peralatan mesin yang mengkonsumsi

$$e \quad \text{Penghematan Energi} = \text{Penggunaan energi yang ada} - \text{Energi yang diusulkan}$$

Dengan dilakukannya efisiensi tersebut, maka didapat bill saving dari hasil efisiensi energi listrik tersebut yang dikalikan dengan harga energi listrik per kWh.

$$\text{Bill Saving} = \text{Efisiensi Energi Listrik} \times \text{Biaya Listrik per kWh}$$

Lalu dari bill saving yang dihasilkan tersebut dapat digunakan untuk melakukan pergantian suatu produk yang ada dengan produk yang baru dengan spesifikasi yang lebih efisien dari sebelumnya, lamanya anggaran dari hasil billsaving itu untuk memenuhi pembelian produk baru dapat di hitung dengan :

$$\text{Payback Period} = \frac{\text{incemental cost}}{\text{annual billsaving}}$$

Keterangan :

Payback period = Waktu Pengembalian

Incemental cost = Biaya Tambahan

Annual bill saving = Hemat Biaya Tahunan