

Rancang Bangun Lampu Sentral Sebagai Sumber Cahaya Armatur Untuk Penerangan Lampu Hemat Energi

Irianti, Gina¹⁾, Sumardjati, Prih²⁾

Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung

Jl. Gegerkalong Hilir, Ds.Ciwaruga, KotakPos 1234, Bandung40012

Email : gina.iriанти22@gmail.com¹⁾, sumardjatiprih@yahoo.co.id²⁾

Abstrak

Lampu sentral merupakan alternatif sumber cahaya pengganti cahaya matahari pada malam hari untuk mengoperasikan armatur hemat cahaya (tanpa energi listrik). Rancang Bangun Lampu Sentral sebagai Sumber Cahaya Armatur Untuk Penerangan Lampu Hemat Energi merupakan sebuah lampu LED yang dioperasikan pada malam hari. Dengan bantuan *solar cell* sebagai pemasok energi yang *dicharging* melalui *accu*, mampu menerangi beberapa ruangan dengan menggunakan beberapa armatur hemat energi. Dengan cara memantulkan cahaya lampu pada dua buah cermin yang dipasang membentuk sudut 45°, cahaya diarahkan memasuki sebuah armatur yang didesain berdasarkan sifatnya dan memanfaatkan sifat cermin datar dan cermin cekung. Hasil pengukuran dengan menggunakan lampu LED 10 Watt menghasilkan 10 lux pada jarak 2,9 m dari armatur. Sedangkan hasil dari perhitungan bisa didapatkan iluminasi sebesar 120 lux (memenuhi SNI) dengan menambahkan 12 armatur pada satu ruangan atau dengan mengganti lampu LED yang berdaya 120 Watt. Berdasarkan perhitungan biaya komponen yang diperlukan untuk membuat lampu sentral, mampu menghemat biaya penerangan sebesar Rp. 4.600,- dalam satu hari.

Kata kunci: *Solar Cell*-matahari, Lampu LED, Armatur Cahaya

1. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan sumber daya alam yang sangat dibutuhkan oleh manusia. Apalagi dengan berkembangnya zaman dan tuntutan modernisasi. Kebutuhan akan pasokan energi listrik guna mendukung kecanggihan alat-alat penunjang hidup bisa dirasakan manfaatnya.

Seiring dengan berjalannya waktu, pembangunan gedung-gedung bertingkat semakin berkembang. Hal ini mengakibatkan intensitas cahaya yang digunakan untuk menerangi ruangan melewati jendela rumah sudah tidak berfungsi sebagaimana mestinya. Oleh karena itu dibuatlah sebuah armatur cahaya dengan mengandalkan cahaya matahari sebagai sarana pencahayaan ruangan. Pencahayaan ruangan dengan menggunakan cahaya matahari akan lebih efisien dalam hal pengeluaran biaya bulanan untuk penerangan. Kita mampu menghemat pembayaran tagihan rekening listrik untuk penerangan setiap bulannya. Armatur cahaya matahari merupakan salah satu penerangan alternatif yang memanfaatkan cahaya matahari sebagai sumber cahayanya. Namun, terjadi beberapa kendala pada pengoperasian armatur

terutama saat malam hari. Pada malam hari, pemanfaatan cahaya matahari tidak dapat digunakan karena matahari tidak nampak. Oleh karena itu dibutuhkan cahaya lain untuk menggantikan sumber cahaya tersebut.

Berdasarkan hal-hal yang telah disebutkan di atas, bahwa pembuatan armatur hemat energi memiliki fungsi yang sangat terbatas, yaitu pengoperasiannya hanya dapat dilakukan pada siang hari dan itupun pada kondisi cuaca yang mendukung (cerah). Oleh karena itu, dibutuhkan sebuah sumber cahaya selain matahari sebagai pengoperasian di malam hari dan pada siang hari saat cuaca mendung.

Lampu merupakan sumber cahaya buatan manusia yang jika terjadi perubahan cuaca tidak akan pernah mempengaruhi jumlah intensitas cahaya yang dihasilkan. Dengan bantuan sebagai alat pengoperasiannya diharapkan bisa mengoperasikan armatur lampu yang dengan bantuan *reflector* sebagai pengrefleksi cahaya yang mendistribusikan cahaya dari *solar cell*. Berdasarkan analisa tersebut, penulis berinisiatif untuk membuat sebuah lampu sentral yang memberikan fungsi yang sama dengan cahaya matahari.

2. PEMBAHASAN

Cermin datar merupakan cermin yang permukaannya pantulnya berupa bidang datar. Cahaya yang jatuh atau mengenai cermin datar akan dipantulkan kembali dan memenuhi hukum pemantulan. Bila sebuah benda diletakkan di depan cermin datar, maka adanya pemantulan cahaya menyebabkan bayangan pada cermin datar, dan bayangan benda terletak berpotongan perpanjangan sinar-sinar pantulnya.



Gambar 1. Pemantulan Pada Cermin Datar
(<http://www.fisikamemangasyik.com>)

Sifat bayangan yang dihasilkan adalah: maya, tegak, sama besar. Dengan memanfaatkan sifat pemantulan pada cermin datar, digunakanlah cermin datar untuk memantulkan cahaya dari lampu sehingga menghasilkan pantulan yang tegak lurus. Setelah dilakukan beberapa kali pembelokan cahaya tersebut masuk ke dalam armatur cahaya dan menghasilkan cahaya untuk penerangan ruangan. Cahaya yang digunakan untuk sumber cahaya armatur merupakan sebuah lampu yang dioperasikan oleh rangkaian *hybrid* dari rangkaian *solar cell* dan *accu*.

Tinjauan Pustaka

Lampu sentral berfungsi sebagai sumber cahaya armatur pada malam hari. Lampu sentral dipasang setelah luas dari ruangan yang akan diterangi ditentukan terlebih dahulu dan menghitung daya lampu sentral yang dibutuhkan untuk menerangi sebuah ruangan dengan mempertimbangkan tingkat pencahayaan standar berdasarkan SNI.

Alat Pengoperasi Lampu Sentral.

Rangkaian *hybrid* dari *solar cell* dan *accu* salah satu alternatif pembangkit yang efisien. Selain ramah lingkungan, dengan menggunakan rangkaian ini biaya *maintenance* bisa dikatakan nol persen atau tidak memerlukan perawatan sama sekali. Hal tersebut menjadikan alternatif pembangkit paling cocok untuk mengoperasikan lampu sentral. Memakai beberapa cermin datar yang disusun membentuk sudut 45° mampu menghasilkan pantulan cahaya yang tegak lurus untuk menerangi armatur cahaya. Melalui tiga kali pantulan oleh cermin tersebut mampu

menghasilkan penerangan untuk armatur cahaya pada malam hari.

Beban Sistem Yang Akan Disuplai

Penentuan kebutuhan Pada sistem *hybrid* yang dirancang, *solar cell* mensuplai sebesar 30% dari energi keseluruhan. Besar energi beban yang akan disuplai oleh *solar cell* (E_A) adalah sebesar:

$$E_A = 30\% \times E_B \text{ (beban rumah tangga)} \quad (1)$$

Asumsi rugi-rugi (*losses*) pada sistem dianggap sebesar 15%, karena keseluruhan komponen sistem yang digunakan masih baru (Mark Hankins, 1991: 68). Total energi sistem (E_T) yang disyaratkan adalah sebesar:

$$\begin{aligned} E_T &= E_A + \text{rugi-rugi system} \\ &= E_A + (15\% \times E_A) \end{aligned} \quad (2)$$

Kapasitas Daya Modul Solar Cell

Kapasitas modul *solar cell* merupakan perhitungan dari beberapa faktor yaitu kebutuhan energi sistem yang disyaratkan, insolasi matahari sebesar 3,91 (sumber BMG, BPPT), dan faktor penyesuaian yaitu 1,1 (Liem Ek Bien, 2008: 43).

Kapasitas Daya Modul Surya =

$$\text{—————} \times \quad (3)$$

Perhitungan Kapasitas Accu

Satuan energi (dalam Wh) dikonversikan menjadi Ah yang sesuai dengan satuan kapasitas *accu* sebagai berikut:

$$Ah = \text{—} \quad (4)$$

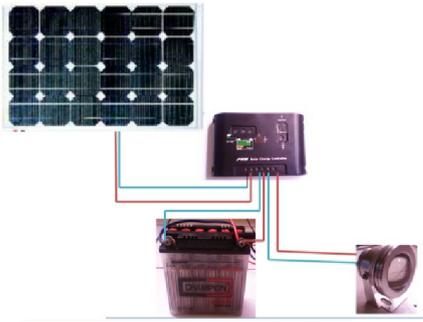
Hari otonomi yang ditentukan adalah satu hari, jadi *accu* hanya menyimpan energi dan menyalurkannya pada hari itu juga. Besarnya deep of discharge (DOD) pada *accu* adalah 80% (Mark Hankins, 1991: 68). Kapasitas *accu* yang dibutuhkan adalah:

$$C_b = \frac{\text{—}}{\text{—}} \quad (5)$$

Rangkaian Hybrid Solar Cell dan Accu

Pada siang hari *solar cell* mendapatkan energi dari cahaya matahari, rangkaian *charger controller* ini otomatis bekerja dan mengisi (*charge*) *accu* dan menjaga tegangan *accu* agar tetap stabil. Sedangkan lampu sentral akan beroperasi pada

malam hari dengan bantuan *accu* yang pada siang hari telah diisi atau di *charge*.



Gambar 2. Rancangan Pengoperasian Solar Cell Menuju ke Beban

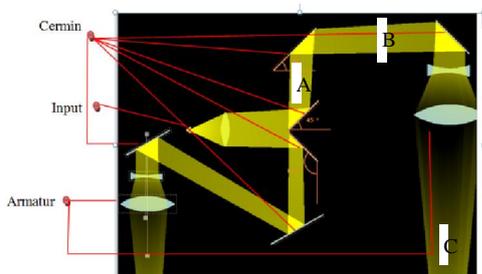
Penerangan Lampu Sentral

Armatur cahaya diterangi oleh lampu sentral yang kemudian digunakan untuk menerangi sebuah ruangan. Digunakannya *Glare Filter* untuk menyerap besarnya intensitas cahaya yang menghasilkan silau dan akan mengganggu kenyamanan mata kita. Dapat dilihat seperti pada Gambar 2.



Gambar 3. Hasil Pencahayaan Oleh Lampu Sentral Pada Armatur Cahaya

Proses Pemantulan Cahaya Oleh Lampu Sentral



Gambar 4. Pemantulan cahaya oleh beberapa cermin datar bersudut 45°

Keterangan :

- A = cahaya lampu sentral setelah pantulan pertama
- B = cahaya lampu sentral setelah pantulan kedua
- C = cahaya lampu sentral setelah pantulan ketiga dan keluar dari armatur.

Faktor Yang Mempengaruhi Tingkat Pencahayaan

1. Absorpsi

Setiap cahaya yang mengenai suatu permukaan, sebagian cahaya akan diserap oleh permukaan itu dan akan menghasilkan panas. Faktor absorpsi (*a*) merupakan bagian dari fluks cahaya yang diserap oleh suatu permukaan yaitu:

$$a = \text{-----} \quad (6)$$

2. Refleksi

Jumlah dari cahaya yang dipantulkan dipengaruhi oleh mengkilatnya suatu permukaan dan juga sifat dari bahan permukaan tersebut. Bagian fluks cahaya yang dipantulkan ditentukan oleh faktor refleksi (*r*) suatu permukaan :

$$r = \text{-----} \quad (7)$$

3. Transmisi

Sebagian besar dari cahaya dapat menembus bahan-bahan seperti jenis kaca seluloida. Bahan tersebut akan memantulkan atau menyerap sebagian dari cahaya yang mengenainya. Sebagian besar dari cahaya yang dipantulkan dapat menembus bagian fluks cahaya yang dapat ditentukan oleh faktor transmisi (*t*) suatu bahan:

$$t = \text{-----} \quad (8)$$

Untuk suatu permukaan berlaku :

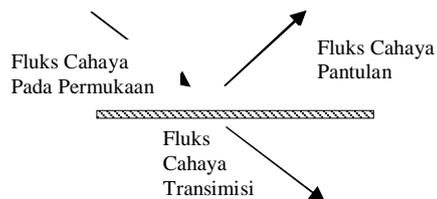
$$a + r + t = 1, \text{ bisa diartikan menjadi} \quad (9)$$

$$a = 1 - r - t$$

Dalam perhitungan yang Ideal, nilai dari Fluks luminus yang diharapkan adalah sebagai berikut:

$$F_{\text{permukaan}} = F_{\text{pantul}} + F_{\text{terus}} \quad (10)$$

$$F_{\text{serap}} = F_{\text{permukaan}} - (F_{\text{pantul}} + F_{\text{terus}}) \quad (11)$$



Gambar 5 Fluks Luminus pada zat kaca

Di bawah ini merupakan tabel dari pengukuran pemantulan dari cahaya yang dipantulkan pada cermin datar bersudut 45° menggunakan lux meter yang bisa dilihat pada Gambar 5 di atas.

Proses Konversi Energi

Berdasarkan pemantulan cahaya lampu sentral, terjadi proses konversi energi yang dihasilkan oleh penyerapan panas dalam cermin. Dengan perhitungan sebagai berikut:

Intensitas penerangan atau Tingkat pencahayaan atau iluminasi.

Iluminansi atau tingkat pencahayaan (*E*) dengan satuan lux merupakan fluks cahaya (*F*) yang datang pada bidang suatu permukaan per satuan luas (*A*, dalam m²).

$$E = \frac{F}{A} \text{ (lumen/m}^2 \text{ atau lux)} \tag{12}$$

Efikasi

Efikasi atau efisiensi luminus adalah rasio antara fluks cahaya (lumen) yang dihasilkan suatu sumber cahaya listrik. Efikasi memiliki satuan lumen/Watt.

$$\text{Efikasi} = \frac{\text{Lumen}}{\text{Watt}} \tag{13}$$

Mencari jumlah armatur atau untuk mendapatkan tingkat pencahayaan tertentu bisa digunakan untuk menghasilkan iluminasi standar pada ruangan. yang diperlukan dengan mencari nilai fluks dari pencahayaan yang diinginkan.

$$\text{Jumlah Armatur} = \frac{\text{Luas} \times \text{Intensitas}}{\text{Fluks}} \tag{14}$$

Di bawah ini merupakan data pemantulan dari lampu sentral sesuai Gambar 4.

Tabel 1 Iluminasi Pemantulan Lampu Sentral

| No | Jarak (m) | Luminasi (lux) | Keterangan |
|----|-----------|----------------|---------------------|
| 1 | 1 | 624 | Pantulan pertama |
| 2 | 3 | 113 | Pantulan kedua |
| 3 | 2,9 | 10 | Keluar dari armatur |

Sesuai dengan tabel pemantulan cahaya yang dihasilkan oleh lampu sentral setelah melalui tiga kali pemantulan dihasilkan iluminasi sebesar 624 lux pada pantulan pertama yang menghasilkan fluks sebesar 7.488 lumen (). Kemudian cahaya dipantulkan kembali sehingga didapatkan 113 lux yang memiliki nilai fluks sebesar 1.356 lumen () Supaya diketahui banyaknya absorpsi yang dilakukan oleh pemantulan tersebut maka sesuai dengan persamaan 8 didapatkan:

- $r = \frac{F_{\text{refleksi}}}{F_{\text{datang}}}$
- $r = \frac{113}{624} = 0,17$

Berarti hanya 17 % dari cahaya yang dipantulkan kembali. Setelah didapatkan nilai faktor *r* kemudian mencari nilai faktor *t*. Cahaya tidak bisa menembus cermin, maka faktor *t* = 0. Setelah dilakukan perhitungan, didapatkan besarnya faktor absorpsi dengan menggunakan persamaan

- $a + r + t = 1$
- $a = 1 - 0,17 - 0$

Didapatkan *a* = 0,83. Berarti 83 % dari cahaya datang kemudian dipantulkan kembali oleh cermin mengalami kerugian dan berubah menjadi energi panas. Untuk mengetahui besar erubahan suhu yang dialami oleh pemantulan dapat dilihat melalui tabel di bawah ini:

Tabel 2 Kalor jenis
(<http://e-dukasi.net>, 2010)

| Jenis Benda | Kalor Jenis (c) | |
|-----------------|-----------------|-----------|
| | J/Kg°C | Kkal/kgC° |
| Air | 4.180 | 1,00 |
| Alkohol (Ethyl) | 2.400 | 0,57 |
| Es | 2.100 | 0,50 |
| Kayu | 1.700 | 0,40 |
| Alumunium | 900 | 0,22 |
| Marmer | 860 | 0,20 |
| Kaca | 840 | 0,20 |
| Besi/Baja | 450 | 0,11 |
| Tembaga | 390 | 0,093 |
| Perak | 230 | 0,056 |
| Raksa | 140 | 0,034 |
| Timah Hitam | 130 | 0,031 |
| Emas | 126 | 0,031 |

Kalor jenis suatu zat merupakan banyaknya panas/kalor yang diperlukan oleh suatu zat bermassa 1Kg untuk menaikkan suhu 1°C, banyaknya kalor yang diperlukan untuk menaikkan atau menurunkan suhu suatu benda tergantung pada banyaknya kalor yang diserap atau dilepaskan (*Q*), perubahan suhu (*T*), kalor jenis (*c*), massa (*m*).

$$Q = m \times c \times T \text{ (Joule)} \tag{15}$$

Luas adalah besaran yang menyatakan ukuran dua dimensi suatu bagian permukaan yang merupakan perkalian dari besaran panjang dikalikan besaran lebar.

$$A = p \times l \text{ (meter}^2\text{)} \tag{16}$$

A : Luas ruangan (meter²)
 p : panjang ruangan (meter)
 l : lebar ruangan (meter)

dengan keterangan panjang ruangan yang diterangi 3 meter dan lebar ruangan yang diterangi 4 meter didapat nilai luas dengan menggunakan perhitungan 16.

- $A = p \times l$
 $= 3 \text{ m} \times 4 \text{ m}$
 $= 12 \text{ m}^2$

Dengan menggunakan persamaan yang telah dipaparkan di atas maka bisa didapat nilai-nilai untuk menghitung kebutuhan untuk merancang sebuah lampu sentral yaitu dengan menentukan besarnya Fluks Cahaya pada lampu LED yang memiliki efikasi sebesar 750 lumen/Watt.

1. Perhitungan pada titik 1 Gambar 2 :

Menentukan besarnya Fluks Cahaya yang diperoleh oleh lampu LED 10 Watt pada titik 1 dengan menggunakan persamaan 12.

- $E = \frac{F}{A}$ (lumen/m² atau lux)
 $E = 624 \text{ lux}$
 $A = 12 \text{ m}^2$

Kemudian didapatkan nilai Fluks Cahaya.

$$F = 624 \times 12 = 7.488 \text{ lumen}$$

Menentukan besarnya daya pada titik A, dengan menggunakan persamaan 13.

- Efikasi = $\frac{F}{P}$

Berdasarkan nilai efikasi yang dimiliki oleh lampu LED adalah 750 lumen/Watt, bisa dihitung besarnya daya yang dihasilkan, persamaan 13:

- Efikasi = 750 lumen/watt

$$P = \frac{F}{\text{Efikasi}}$$

$$P = \frac{7.488}{750} = 9,984 \text{ watt} \approx 10 \text{ Watt.}$$

Dengan asumsi $t = 1 \text{ s}$, dengan daya sebesar 10 Watt akan mendapatkan energi sebesar 10 watt.second yang setara dengan 10 joule. Untuk mengetahui besarnya perubahan suhu yang terjadi pada titik 2 yaitu dengan menggunakan persamaan 15.

- $Q = m \times c \times T$

$$Q = 10 \text{ Joule}$$

$$m = 0,4 \text{ Kg}$$

(berat cermin yang dipakai untuk instalasi cahaya/titik)

$$c = 840 \text{ j/kg}^\circ\text{C} \times 0,4 \text{ Kg}$$

(besarnya kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu pada 40% masa yang telah ditentukan pada tabel 1).

- $T = \frac{Q}{m \times c} = \frac{10}{0,4 \times 840} = 0,074^\circ \text{ K}$

Dengan menggunakan metoda perhitungan yang sama disetiap titiknya maka didapatkan nilai konversi energi pada tabel di bawah ini:

Tabel 3 Konversi Energi LED 10 Watt

| No | F (lumen) | Energi (watt.s) | Q (Joule) | T (Kelvin) | E (lux) |
|----|-----------|-----------------|-----------|------------|---------|
| A | 7.488 | 10 | 10 | 0,074° | 624 |
| B | 1.356 | 1,8 | 1,8 | 0,013° | 113 |
| C | 120 | 0,16 | 0,16 | 0,0019° | 10 |

Hasil dari pengukuran pada lampu sentral yang telah dilakukan beberapa kali pemantulan, lampu LED berdaya 10 Watt belum memenuhi standar penerangan yaitu 120 lux untuk penerangan sebuah ruangan sesuai tabel di bawah ini:

Tabel 4.2 Data Iluminasi Minimum Untuk Ruangan Tempat Tinggal
(SNI. No. 03-2396-2001)

| No | Fungsi ruangan | Iluminasi (lux) |
|----|----------------|-----------------|
| 1 | Ruang tamu | 120 ~ 250 |
| 2 | Ruang kerja | 120 ~ 250 |
| 3 | Kamar tidur | 120 ~ 250 |
| 4 | Kamar mandi | 250 |
| 5 | Dapur | 250 |
| 6 | Garasi | 60 |

Agar didapatkan iluminasi standar sebesar 120 lux sesuai dengan SNI setelah dilakukan beberap kali pemantulan, maka harus dihitung nilai kebutuhan daya sebuah lampu LED adalah dengan mencari nilai fluks yang dibutuhkan untuk menghasilkan iluminasi yang dibutuhkan, persamaan 12.

- $E = \frac{F}{A}$ (lumen/m² atau lux)

$$E = 120 \text{ lux}$$

$$A = 12 \text{ m}^2$$

Kemudian didapatkan nilai Fluks Cahaya.

$$F = 120 \times 12 = 1.440 \text{ lumen}$$

Berdasarkan nilai efikasi yang dimiliki oleh lampu LED adalah 750 lumen/Watt, bisa dihitung besarnya daya yang dihasilkan, persamaan 13:

- Efikasi = 750 lumen/watt

$$P = \frac{F}{\text{Efikasi}}$$

$$P = \frac{1.440}{750} = 1,92 \text{ Watt}$$

Jika kita lihat hasil perhitungan daya yang diperoleh dari iluminasi yang dihasilkan lampu LED (10 lux) setelah melakukan 3 kali pemantulan adalah 0,16 Watt pada tabel 3, sedangkan daya yang dihasilkan oleh iluminasi standar (120 lux) adalah 1,92 maka kita buat perbandingan antara daya yang dihasilkan oleh iluminasi standar (120 lux) dengan iluminasi yang dihasilkan lampu LED (10) lux yaitu 1:12.

Dengan asumsi $t = 1$ s, dengan daya sebesar 10 Watt akan mendapatkan energi sebesar 10 watt.second yang setara dengan 10 joule. Untuk mengetahui besarnya perubahan suhu yang terjadi pada titik 2 yaitu dengan menggunakan persamaan 15.

- $Q = m \times c \times T$
 $Q = 1,92$ Joule
 $m = 0,4$ Kg
 (berat cermin yang dipakai untuk instalasi cahaya/titik)
 $c = 840$ j/kg°C x 0,4Kg
 (besarnya kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu pada 40% masa yang telah ditentukan pada Tabel 1).

$$T = \frac{Q}{m \times c} = \frac{1,92}{0,4 \times 840} = 0,014^\circ \text{ K}$$

Berdasarkan perbandingan tersebut, kita bisa menghitung daya LED yang diperlukan sebelum adanya pemantulan oleh cermin dengan menggunakan persamaan 12. Untuk mengasumsikan nilai pemantulan yang akan terjadi berdasarkan perbandingan iluminasi standar dengan iluminasi LED. Asumsi dari iluminasi pantulan kedua dan ketiga (iluminasi standar) dapat dihitung berdasarkan pengukuran pada LED 10 Watt dengan mengalikan iluminasi terukur (pada LED 10 Watt) setiap pantulan dikali 12 (berdasarkan perbandingan iluminasi LED 10 watt dengan iluminasi standar).

Untuk melihat perhitungan tersebut dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 4. Konversi Energi Untuk Iluminasi Standar

| No | F (lumen) | Energi (watt.s) | Q (Joule) | T (Kelvin) | E (lux) |
|----|-----------|-----------------|-----------|------------|---------|
| A | 89.856 | 120 | 120 | 0,89 | 624 |
| B | 16.273 | 21,6 | 21,6 | 0,16° | 1.356 |
| C | 7.488 | 1,92 | 1,92 | 0,01° | 120 |

Cara lain untuk mendapatkan iluminansi standar sesuai dengan menambahkan armatur pada suatu ruangan sehingga didapatkan iluminasi standar sesuai SNI. Dengan menggunakan persamaan dan melihat dari hasil perhitungan di atas untuk mencari nilai fluks standar (yang diperlukan) dan nilai fluks armatur (nilai fluks dari lampu LED 10 Watt) sesuai persamaan 14.

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Armatur} &= \frac{E_{\text{standar}}}{E_{\text{armatur}}} \\ &= \frac{624}{52} \\ &= 12 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan dari membandingkan antara iluminasi LED hasil pengukuran dengan

iluminasi standar, dibutuhkan 120 Watt lampu untuk menerangi ruangan.

Iluminasi cahaya yang dihasilkan dari lampu sentral sebesar 10 lux diukur pada jarak 2,9 m dari armatur. Agar dapat menghasilkan iluminasi sebesar 120 lux (standard pencahayaan menurut SNI) bisa dengan menambahkan 12 armatur pada satu ruangan atau mengganti lampu LED 10 Watt yang menjadi *prototype* dengan lampu LED 120 Watt pada pemakaian lampu sentral. Untuk perbandingan iluminasi penerangan antara menggunakan lampu sentral dengan lampu hemat energi yaitu dengan membandingkan iluminasi lampu listrik hemat energi dengan daya 40 Watt yaitu sebesar 55 lux diukur pada jarak 2,9 m dari langit-lagit rumah.

Kapasitas Untuk Rangkaian Hybrid Dari Solar Cell dan Accu

Untuk pengoperasian lampu sentral, dibutuhkan *accu* dan *solar cell* yang digunakan untuk mengoperasikan lampu sentral. Di bawah ini adalah uraian perhitungan untuk rangkaian *hybrid* yang diperlukan untuk mengoperasikan beban lampu sentral sebesar 120 Watt yang akan dioperasikan selama 12 jam. Maka sesuai dengan persamaan 1.

$$\begin{aligned} E_A &= 30\% \times E_B \text{ (beban rumah tangga)} \\ &= 30\% \times 1.440 \\ &= 432 \text{ Wh} \end{aligned}$$

Setelah didapatkan besar energi beban yang akan disuplai oleh *solar cell*, maka dihitung total energi sistem (E_T) yang disyaratkan berdasarkan persamaan 2 yaitu:

$$\begin{aligned} E_T &= E_A + \text{rugi-rugi system} \\ &= E_A + (15\% \times E_A) \\ &= 432 + (64,8) \\ &= 496 \text{ Wh} \end{aligned}$$

Jadi energi yang disyaratkan adalah 496 Wh.

Untuk menghitung kapasitas modul *solar cell*, dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 3.

Kapasitas Daya Modul Solar Cell

$$\begin{aligned} &= \frac{E_T}{P_{\text{panel}}} \times \eta \\ &= \frac{496}{140} \times 1,1 \\ &= 139,89 \text{ 140 WP.} \end{aligned}$$

Menentukan kapasitas baterai yaitu dengan menghitung Ah terlebih dahulu kemudian menghitung kapasitas *accu* (C_b) yang diperlukan sesuai dengan persamaan 4 dan 5.

$$\begin{aligned} A_h &= \frac{E_T}{V} \\ &= \frac{496}{12} \\ &= 41,3 \text{ Ah} \\ C_b &= \frac{A_h}{D} \end{aligned}$$

$$= \frac{, \times}{,}$$

$$= 51,6 \text{ Ah} \quad 60 \text{ Ah}$$

Biaya Komponen Pengoperasi Lampu Sentral

1. Kebutuhan *Solar cell* 140 watt.
Jika dihitung berdasarkan perbandingan harga *solar cell* 20 watt = RP.500.000,-
Maka harga 180 watt solar cell seharga:

$$\frac{180}{20} = \frac{Rp. 500.000,-}{x}$$

$$x = \frac{180 \times Rp. 500.000,-}{20}$$

$$= Rp. 3.500.000,-$$

2. Kebutuhan akan *Accu* 60 Ah.
Jika dihitung berdasarkan perbandingan harga *Accu* sebesar 60 Ah = Rp. 400.000,-
3. Harga *Solar Charger Controller* = Rp. 250. 000,-
4. Kebutuhan Lampu LED sebesar 120 Watt.
Jika dihitung berdasarkan perbandingan harga lampu LED sebesar 10 Watt adalah Rp. 180.000,

Maka harga LED sebesar 120 Watt adalah seharga:

$$\frac{120}{10} = \frac{Rp. 180.000,-}{x}$$

$$x = \frac{120 \times Rp. 180.000,-}{10}$$

$$= Rp. 2.160.000,-$$

Keuntungan dari segi penghematan

Berdasarkan referensi dari TDL (Tarif Dasar Listrik) 2010 untuk tarif Rumah Tangga R1-TR, kita mampu menghitung perbandingan biaya pemakaian lampu listrik hemat energi dengan penerangan menggunakan armature cahaya yang diberikan cahaya oleh lampu sentral. Data yang diambil merupakan hasil dari pendataan di rumah peulis yang berlokasi di Kampung Mariuk RT 03 RW 02, Desa cidadap Kecamatan Simpenan, Kabupaten Sukabumi adalah:

Daya terpasang: 1.300 kVA
 Jumlah beban: 40 Watt x 10 ruangan = 400 Watt = 0,4 kWh
 Jam nyala : 12 jam/ hari x 30 hari = 360 jam/bulan
 Jam nyala dalam 1 bulan :
 12jam/hari x 30 hari= 360 jam

Tabel 2 data pemakaian Listrik

| DATA PELANGGAN | |
|----------------|----------|
| Tarif | R1-TR |
| Daya | 1.300 VA |
| Pemakaian kWh | 4,8 |
| Jam nyala | 12 jam |

TDL = Jumlah Beban x Jam Nyala x Rp.790

$$= 0,4 \times 360 \times Rp. 790,-$$

$$= Rp. 113.760,-/ bulan$$

Pajak penerangan 3 % kWh pemakaian x pemakaian kWh x Rp 790,-

$$= 0,03 \times 4,8 \times Rp.790,-$$

$$= 0,144 \times Rp.790,-/ hari$$

Pajak 30 hari = Rp 79,632 x 30

$$= Rp. 113,76,-$$

Pembayaran tagihan perbulan

$$= \text{TDL} + \text{pajak (3\% dari besar kWh pakai)}$$

$$= Rp. 113.760,- + Rp 3.412,8,-$$

$$= Rp. 117.172,8,-$$

Pembayaran tagihan listrik dalam setahun

$$= Rp. 117.172,8,- \times 12$$

$$= Rp. 2.126.073,6,-$$

Pembayaran tagihan listrik untuk penerangan dalam 10 tahun

$$= \text{pembayaran dalam 1 tahun} \times 10$$

$$= Rp. 21.260.736,-$$

Dari hasil perhitungan di atas diperoleh biaya yang harus dibayar dalam jangka waktu satu tahun terhitung sebesar Rp. 2.126.073,-/tahunnya. Biaya pemasangan Instalasi listrik per titik AKLI bandung saat ini Rp.150.000/titik. Jadi, biaya untuk pemasangan instalasi listrik adalah Rp.150.000,- dikalikan 10 titik lampu. Maka diperoleh biaya pemasangan instalasi listrik sebesar Rp.1.500.000,-

Apabila kita bandingkan dengan penggunaan armatur cahaya dengan menggunakan lampu sentral sebagai sumber cahayanya, kita mampu melakukan penghematan biaya yang terhitung hanya biaya dari setiap komponen adalah sebagai berikut :

| | |
|------------------------------------|-----------------|
| 1. <i>Solar cell</i> | Rp. 3.500.000,- |
| 2. <i>accu</i> | Rp. 400.000,- |
| 3. <i>solar charger controller</i> | Rp. 250.000,- |
| 4. lampu sentral | Rp. 2.160.000,- |
| Total | Rp. 6.310.000,- |

Hasil dari perhitungan biaya yang diperlukan untuk membuat lampu sentral dengan memper-timbangkan standarisasi pencahayaan berdasarkan perbandingan setelah dilakukan percobaan dengan menggunakan *prototype* lampu sentral sebuah LED 10 Watt, diperlukan estimasi biaya sebesar Rp. 6.310.000,- untuk memperoleh penerangan menggunakan lampu sentral dengan LED 120 Watt. Kemudian dibandingkan dengan penerangan oleh lampu listrik hemat energi yang dikalikan 10 tahun pemakaian (setengah dari *life time solar cell*) menghasilkan biaya sebesar Rp. 21.260.730,- untuk penerangan menggunakan listrik dari PLN.

Tabel 5 Perbandingan Penerangan Menggunakan Lampu Sentral dengan Lampu Listrik Hemat Energi

| Biaya yang harus dibayar | Lampu listrik (10 titik) | Lampu Sentral |
|--------------------------|----------------------------|-----------------|
| Pemasangan | Rp.1.500.000,- | Rp. 6.310.000,- |
| Pembayaran / bulan | Rp. 117.172,8,- | - |
| Pembayaran / tahun | 2.126.073,6,- | - |
| Pembayaran / 10 tahun | 21.260.736,- | - |
| Selisih | Rp. 16.450.736,-/ 10 tahun | |
| Penghematan | Rp. 4.569,-/ hari | Rp. 4.600,- |

Kesimpulan

1. Hasil perhitungan dan percobaan untuk memperoleh iluminasi sebesar 120 lux (SNI 03-6197-2000) dapat diperoleh dengan menambahkan 12 titik armatur pada suatu ruangan atau dengan mengganti lampu sentral yang berdaya 10 Watt dengan lampu LED 120 Watt.
2. Penghematan biaya penerangan yang diperoleh pada penggunaan lampu sentral dibandingkan dengan lampu listrik hemat energi adalah sebesar Rp. 16.450.736,-/10 tahun atau sebesar Rp. 4.600,-/hari.

3. SUMBER PENDANAAN

Sumber pendanaan yang didapat secara mandiri.

4. DAFTAR PUSTAKA

1. Ananto, Bayu, -“*Simulasi Perambatan Cahaya Pada Serat Optik*”. Laporan Proyek Akhir, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, UNDIP.
2. Ek Bien, Liem, Ishak Kasim, Wahyu Wibowo.2008,“*Perancangan Sistem Hybrid Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dengan Jala-jala Listrik PLN Untuk Rumah Perkotaan*”.Fakultas Teknologi Industri. Universitas Trisakti.

3. <http://agungyoke.blog.mercubuana.ac.id/2011/02/01/solar-panel/>. Diunduh pada tanggal 5 maret 2012, pukul 21.37 WIB.
4. <http://armaturlampu.com/>. Diunduh pada tanggal 29 januari 2012, pukul 06.21 WIB
5. <http://astudioarchitect.com/2011/11/mengenal-jenis-jenis-lampu-pijar.html>. Diunduh pada tanggal 29 januari 2012, pukul 21.37 WIB.
6. <http://www.panelsurya.com/>.Diunduh pada tanggal 5 maret 2012, pukul 11.10 WIB
7. <http://www.fisikamemangasyik.com/>.Diunduh pada tanggal 3 february 2012, pukul 20.30 WIB
8. Minto, Danny Santoso.-” *Strategi Aplikasi Sel Surya (Photovoltaic Cells) Pada Perumahan Dan Bangunan Komersial*”. Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Jurusan Arsitektur, Universitas Kristen Petra. Surabaya.
9. Pratiwi, Esa Suryaningtias. 2009,“*Analisis Efikasi Lampu untuk Penghematan Energi*”,Laporan Proyek akhir, Jurusan Teknik Fisika, FTI, ITS.
10. Purnomo, Wahyu.-“*Pengisian Baterai Otomatis Menggunakan Solar Cell*”. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Gunadarma.
11. Satriawanmirza. 2007. “*Fisika Dasar Untuk Mahasiswa UGM Jogjakakarta*”, Jakarta : Erlangga.
12. SNI. No. 03-6197-2000 : “*Konservasi Energi Pada Sistem Pencahayaan*”, Badan Standar Nasional.
13. SNI. No. 03-2396-2001: “*Tata Perancangan Sistem Pencahayaan Alami Pada Bangunan Gedung*”, Badan Standar Nasional.