

ANALISIS TITIK IMPAS (*BREAK EVEN POINT*) PENGUNAAN LAMPU LED UNTUK PENERANGAN: STUDI KASUS GEDUNG TG UNIVERSITAS X DI SURABAYA

Junanik Idayani¹

junanik_es@staff.ubaya.ac.id

Endah Asmawati²

endah@staff.ubaya.ac.id

Marlina³

lina@staff.ubaya.ac.id

Abstrak

Energy management, one of energy conservation, is activities in organizing data collection, analyzing, planning, implementing, monitoring, and evaluating energy use. The increasingly limited supply of energy raises the demand to think about how to use the lights so that the breakeven point of the product used can be optimally utilized. The basic principle is the efficient and rational use of energy without reducing the use of energy that is really necessary, in other words the use of needs-based. The scope of this study is limited to the calculation of the breakeven point of the use of 3 brands of LED lamps used for lighting that support the conservation of electrical energy. In the calculation of the break-even point, it is necessary to study the most efficient lamp brand. Therefore, in this study the efficiency level will be calculated using three different brands of LED lights, namely brands A, B and C. The study was conducted by noting the use of electrical energy for lighting on a space in the TG building that was turned on for 8-9 hours every day. The measurement results state that LED B-brand lamps are economically more sparingly 55% each month compared to other brands, and operational cost advantage occurred in the 78th month while other brands occurred in the 91st month..

Keyword: energy conservation, break even analysis, LED light.

¹ Direktur Keuangan Universitas Surabaya, Surabaya.

² Dosen Teknik Informatika dan Pusat Studi Energi Terbarukan, Universitas Surabaya, Surabaya.

³ Dosen Fakultas Hukum dan Pusat Studi Energi Terbarukan, Universitas Surabaya, Surabaya.

Pendahuluan

Konservasi 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 pemanfaatannya [8]. Tujuan konservasi energi adalah untuk memelihara kelestarian sumber daya alam yang berupa sumber energi melalui kebijakan pemilihan teknologi dan pemanfaatan energi secara efisien dan rasional. Penghematan energi dapat dicapai dengan penggunaan energi secara efisien dimana manfaat yang sama diperoleh dengan menggunakan energi lebih sedikit. Penghematan energi dapat menyebabkan berkurangnya biaya, serta meningkatkan efisiensi dan keuntungan.

Di negara-negara yang telah menggunakan teknologi untuk pencahayaan yang efisien, jumlah energi yang digunakan di bangunan komersial ataupun industri menunjukkan adanya pengurangan [5], salah satu cara yang dilakukan adalah dengan mengganti lampu *ballast* menjadi *electronic ballast*. Terdapat beberapa upaya dalam konservasi energi diantaranya manajemen energi yaitu kegiatan dalam mengatur pengambilan data, menganalisa, merencanakan, mengimplementasi, mengawasi, dan mengevaluasi penggunaan energi di bangunan; konsumsi energi yaitu besarnya energi yang digunakan oleh bangunan gedung dalam periode waktu tertentu; konservasi energi bangunan yaitu usaha untuk mengurangi pemakaian energi dalam suatu sistem pada bangunan atau peralatan di dalam bangunan gedung dan industri; Peluang Hemat Energi (PHE/*Energi Conservation Opportunity*) merupakan cara yang mungkin bisa diperoleh dalam usaha mengurangi pemborosan energi.

Analisis Titik Impas (*Break Even Point*) dapat diartikan sebagai suatu titik

atau keadaan dimana perusahaan dalam operasinya tidak memperoleh keuntungan atau tidak menderita kerugian. Dalam hal ini keuntungan atau kerugian sama dengan nol. Analisis ini diperlukan untuk mengetahui hubungan antara volume produksi, volume penjualan, harga jual, biaya produksi, biaya lainnya dan laba atau rugi. Dengan titik impas ini akan membantu pihak pimpinan untuk perencanaan keuangan, penjualan dan produksi sehingga pimpinan dapat mengambil keputusan untuk meminimalkan kerugian, memaksimalkan keuntungan, dan melakukan prediksi keuntungan.

Penelitian yang dilakukan oleh Asmawati, dkk (2016) menghitung tingkat efisiensi dari menggunakan tiga jenis lampu yang berbeda, yaitu TL, LHE dan LED. Penelitian dilakukan dengan cara mencatat penggunaan energy listrik untuk penerangan pada sebuah ruang. Lampu di ruang tersebut dihidupkan selama 8-9 jam setiap hari. Data setiap jenis lampu dicatat selama dua minggu. Hasil pengukuran menyatakan bahwa lampu LED mempunyai tingkat efisiensi yang tinggi dibandingkan dua jenis lainnya dalam hal konsumsi energi listrik, dan secara ekonomi penggunaan lampu LED dapat menghemat biaya sebesar 47% per bulan dibanding lampu TL, dan 43% per bulan dibandingkan lampu LHE.

Berdasarkan penelitian sebelumnya lampu LED terbukti secara ekonomi tingkat efisiensinya tinggi oleh karenanya penelitian ini difokuskan analisa titik impas (*break even point*) pada penggunaan 3 merk atau type lampu LED untuk penerangan yang dilakukan di gedung TG Universitas X di Surabaya. Penggantian lampu LED yang dilakukan oleh universitas x diharapkan akan dapat optimal apabila menggunakan merk yang direkomendasikan dalam penelitian ini. Evaluasi penghematan energi termasuk perencanaan teknis dan berdasar perhitungan Break Event Point (BEP) diharapkan dapat diketahui.

Metodologi

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui efisiensi penggunaan lampu hemat energi. Beberapa tahapan yang dilakukan pada penelitian ini adalah:

1. Pencarian data sekunder

Salah satu langkah awal adalah mengumpulkan dan menyusun data historis penggunaan energi tahun sebelumnya.

2. Survei dan pengukuran langsung

Survei lapangan dilakukan dalam rangka mendapatkan data primer. Survei bertujuan untuk mengetahui kondisi terakhir di setiap ruangan yang disurvei.

Konsumsi energi listrik secara riil dihitung dengan memasang kWh meter di sebuah ruang penelitian. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan 3 merk lampu LED yaitu merk A, merk B, dan merk C.

3. Analisis Perhitungan Ekonomi

Berdasarkan data dari hasil survei dan

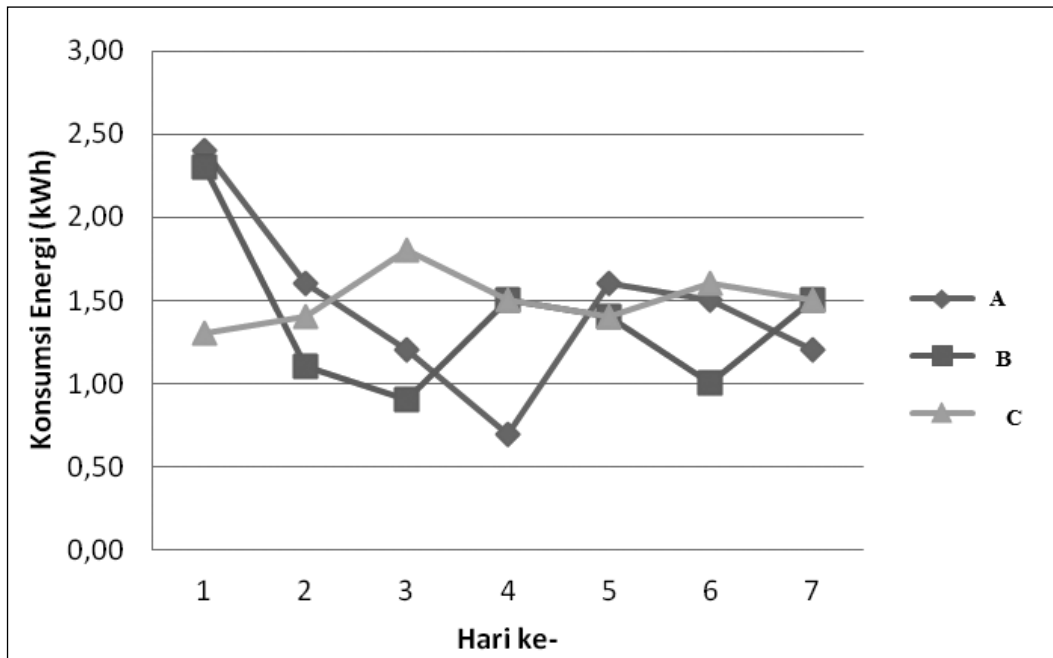
pengukuran riil penggunaan energi listrik akan dilakukan simulasi perhitungan analisa secara ekonomi dengan membandingkan ketiga merk lampu untuk mendapatkan merk lampu yang paling efisien.

Semua kemungkinan di atas dilakukan dengan menganggap bahwa konsumsi listrik untuk AC, computer dan peralatan elektronik lainnya tetap, dan digunakan seperti biasa.

Analisis secara ekonomi dilakukan dengan mengasumsikan bahwa kebiasaan orang-orang tidak berubah dalam menggunakan energi listrik. Pada analisa ini akan dihitung potensi penghematan apabila lampu diganti dengan merk lampu LED A, B, atau C. Kemudian masing-masing dihitung potensi penghematannya. Pada analisa ini akan diketahui titik impas dari penggantian lampu, serta perbandingan dari dua lampu pengganti.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Konsumsi Energi Listrik dari 3 Merk Lampu LED

| Merk Lampu LED | Tanggal pencatatan | Pagi | | Sore | | Konsumsi energi listrik | |
|----------------|--------------------|-------|----------|-------|----------|-------------------------|-----|
| | | Pukul | Tercatat | Pukul | Tercatat | Waktu | kWh |
| A 13 watt | 5 Februari 2016 | 8.30 | 214.3 | 16.30 | 215.5 | 8 jam | 1.2 |
| | 9 Februari 2016 | 8.40 | 215.5 | 16.30 | 216.2 | 7 jam 50' | 0.7 |
| | 10 Februari 2016 | 8.20 | 216.2 | 16.40 | 217.8 | 8 jam 20' | 1.6 |
| | 11 Februari 2016 | 8.40 | 217.8 | 16.30 | 219.3 | 7 jam 50' | 1.5 |
| | 12 Februari 2016 | 8.40 | 219.3 | 16.30 | 220.5 | 7 jam 50' | 1.2 |
| B 14 watt | 16 Februari 2016 | 8.30 | 222.8 | 16.30 | 225.1 | 8 jam | 2.3 |
| | 17 Februari 2016 | 8.35 | 225.1 | 16.30 | 226.2 | 7 jam 55' | 1.1 |
| | 18 Februari 2016 | 8.30 | 226.2 | 16.30 | 227.1 | 8 jam | 0.9 |
| | 19 Februari 2016 | 8.20 | 227.1 | 16.30 | 228.6 | 8 jam 10' | 1.5 |
| | 22 Februari 2016 | 8.30 | 228.6 | 16.30 | 230 | 8 jam | 1.4 |
| C 14 watt | 29 Februari 2016 | 8.30 | 235.3 | 16.30 | 236.6 | 8 jam | 1.3 |
| | 1 Maret 2016 | 8.40 | 236.6 | 16.40 | 238 | 8 jam | 1.4 |
| | 2 Maret 2016 | 8.40 | 238 | 16.30 | 239.8 | 7 jam 50' | 1.8 |
| | 3 Maret 2016 | 8.35 | 239.8 | 16.30 | 241.3 | 7 jam 55' | 1.5 |
| | 4 Maret 2016 | 8.30 | 241.3 | 16.30 | 242.7 | 8 jam | 1.4 |



Gambar 1. Konsumsi Energi Listrik dari 3 Merk Lampu LED

Hasil dan Pembahasan

Pengukuran konsumsi energi ini dilakukan di gedung TG dengan menggunakan 3 buah merk lampu LED yang berbeda. Pemilihan merk lampu tersebut berdasarkan merk lampu yang biasa digunakan di Universitas X dan merk lampu pembanding yang setar. Dari ketiga merk tersebut, ada 1 merk yang memiliki daya sedikit berbeda, karena tidak diproduksi daya yang sama dengan merk lain. Ketiga merk lampu LED tersebut adalah A 13 watt, B 14 watt, dan C 14 watt. Pengukuran dilakukan secara bergantian selama 1 minggu sampai 10 hari per merk lampu.

Sedangkan hasil Tingkat pencahayaan (Lux) dan IKE ketiga LED tersebut dapat dilihat pada Tabel 2 (IKE dan Tingkat pencahayaan (Lux) Ketiga LED).

Berdasarkan Gambar 1 konsumsi energi listrik yang relatif stabil adalah merk C dengan rata-rata konsumsi energi listriknya adalah 1,48 kWh perhari dan standar deviasi 0,148. Konsumsi energi listrik rata-rata merk A adalah 1,24 kWh perhari dengan standar deviasi 0,157, B 1,44 kWh perhari dengan standar deviasi 0,26. Apabila dilihat dari IKE, lampu merk A melampaui batas efisien sehingga dinyatakan sebagai lebih efisien. Namun dua merk lainnya masih dalam

Tabel 2. IKE dan Tingkat Pencahayaan (Lux) Ketiga LED

| Merk Lampu | Daya (Watt) | Tingkat pencahayaan (Lux) | IKE | Kesimpulan |
|------------|-------------|---------------------------|-------|--------------------|
| A | 13 | 286 | 9,08 | Lebih dari efisien |
| B | 14 | 277 | 10,55 | Efisien |
| C | 14 | 288 | 10,84 | Efisien |

tingkatan efisien. Tingkat pencahayaan (Lux) yang paling tinggi dipunyai merk C. Merk A menduduki rangking 2 dan terakhir merk B. Namun demikian ketiga merk ini masih berada pada interval pencahayaan standar untuk kelas.

Untuk menentukan merk mana yang paling efisien dalam penggunaannya, maka dilakukan analisis yang mengasumsikan bahwa 512 lampu akan diganti dengan lampu LED merk tertentu. Langkah pertama dihitung dahulu initial cost dari ketiga lampu, dan hasilnya dapat dilihat pada tabel 3 (Initial Cost Tiga Merk Lampu LED).

Pada Tabel 3 terlihat bahwa biaya investasi awal terbesar adalah Rp 70.144.000,00 yang dipergunakan untuk pembelian lampu LED merk B 14 watt. Sedangkan biaya terendah Rp 49.152.000 untuk pembelian lampu LED merk C 14 watt. Total konsumsi energi listrik per merk lampu per periode tertentu dapat

dilihat pada Tabel 4 (Konsumsi Energi Listrik Setiap Merk Lampu LED).

Perhitungan total biaya harian didapatkan dari total konsumsi energi listrik yang diperlukan (Tabel 4) dibagi dengan 1000 (kw) kemudian dikalikan kembali dengan harga listrik per Kwh, Rp 1.488,25. Total biaya harian untuk setiap jenis lampu dapat dilihat pada tabel 5 (Total Biaya Penggunaan Lampu LED). Biaya bulanan dan tahunan dihitung dengan mengasumsikan 1 bulan terdiri dari 25 hari dan 1 tahun terdiri dari 12 bulan.

Berdasarkan Tabel 5 terlihat bahwa jika semua lampu diganti dengan lampu LED merk B, maka biaya hariannya akan lebih murah dibandingkan menggunakan merk lain. Akibatnya, akumulasi dari itu biaya bulanan dan tahunan juga akan lebih hemat. Penghematan bulanan yang dapat dilakukan dengan mengganti lampu LED adalah 52,7% untuk merk A, 55% untuk B dan 51,3% untuk merk C.

Tabel 3. Initial Cost Tiga Merk Lampu LED

| No | Nama Item | Justifikasi | Jumlah | Harga satuan (Rp) | Sub Total biaya (Rp) | Total biaya (Rp) |
|----|--------------------|-------------|--------|-------------------|----------------------|------------------|
| 1. | LED 13 watt merk A | Lampu | 512 | 95.000 | 48.640.000 | 54.736.000 |
| | | Fitting | 512 | 8.000 | 4.096.000 | |
| 2. | LED 14 watt merk B | Lampu | 512 | 129.000 | 66.048.000 | 70.144.000 |
| | | Fitting | 512 | 8.000 | 4.096.000 | |
| 3. | LED 14 watt merk C | Lampu | 512 | 88.000 | 45.056.000 | 49.152.000 |
| | | Fitting | 512 | 8.000 | 4.096.000 | |

Tabel 4. Konsumsi Energi Listrik Setiap Merk Lampu LED

| Merk lampu | Daya (watt) | Konsumsi energi riil dlm 7 hari utk 8 lampu (watt) | Konsumsi energi riil per hari untuk 8 lampu (watt) | Konsumsi energi riil per hari per lampu (watt) | Konsumsi energi riil per hari untuk 512 lampu (watt) |
|------------|-------------|--|--|--|--|
| A | 14 | 10.200 | 1.457,14 | 182,14 | 93.257,14 |
| B | 13 | 9.700 | 1.385,71 | 173,21 | 88.685,71 |
| C | 13 | 10.500 | 1.500 | 187,5 | 96.000 |

Analisis Ekonomi

Perhitungan secara ekonomi memperhatikan semua biaya yang ada pada satu siklus hidup lampu. Biaya yang diperhitungkan meliputi biaya investasi dan total biaya operasi.

Perhitungan electricity consumption (EC)

$$EC_{merkA} = (93257,14)(25) = 2331428,5 \text{ watt} = 2331,4285 \text{ Kwh}$$

$$EC_{merkB} = (88685,71)(25) = 2217142,75 \text{ watt} = 2217,14275 \text{ Kwh}$$

$$EC_{merkC} = (96000)(25) = 2400000 \text{ watt} = 2400 \text{ Kwh}$$

Perhitungan Energy Saving (ES)

Energi saving atau penghematan energi didapatkan dari mengurangi total konsumsi energi dari lampu TL (*existing*) dengan konsumsi energi lampu pengganti. Penghematan energi yang bisa dilakukan setiap bulan dengan mengganti lampu TL menjadi lampu LED adalah:

$$ES_{merkA} = EC_{TL} - EC_{merkA}$$

$$= 4928 - 2331,4285$$

$$= 2596,5715 \text{ Kwh}$$

$$ES_{merkB} = EC_{TL} - EC_{merkB}$$

$$= 4928 - 2217,14275$$

$$= 2710,85725 \text{ Kwh}$$

$$ES_{merkC} = EC_{TL} - EC_{merkC}$$

$$= 4928 - 2400$$

$$= 2528 \text{ Kwh}$$

Perhitungan Bill Saving (BS)

Bill saving atau penghematan biaya akan diperoleh dengan cara mengalikan besarnya penghematan energi dengan harga tarif dasar listrik (TDL) per Kwh, dalam hal ini

adalah Rp 1.488,25. Besarnya penghematan biaya per bulan adalah

$$BS_{merkA} = ES_{merkA} * TDL$$

$$= (2596,5715)(1488,25)$$

$$= \text{Rp } 3.864.348$$

$$ES_{merkB} = ES_{merkB} * TDL$$

$$= (2710,85725) (1488,25)$$

$$= \text{Rp } 4.034.433$$

$$ES_{merkC} = ES_{merkC} * TDL$$

$$= (2528)(1488,25)$$

$$= \text{Rp } 3.762.296$$

Perhitungan Operating Cost (OC)

Operating cost atau biaya operasi digunakan untuk melihat total biaya per hari yang akan dikeluarkan jika dilakukan pergantian penggunaan lampu dari TL ke LHE/LED, dihitung dalam bulanan.

$$OC = EC * TDL$$

$$OC_{merkA} = (2331,4285)(1488,25) = 3.469.749$$

$$OC_{merkB} = (2217,14275)(1488,25) = 3.299.663$$

$$OC_{merkC} = (2400)(1488,25) = 3.571.800$$

Perhitungan Payback Period (PP)

Perhitungan ini dilakukan untuk mengetahui pada saat kapan lampu pengganti tidak memberikan keuntungan atau kerugian (titik impas) dibandingkan lampu sebelumnya. Payback period dihitung dengan mempertimbangkan biaya investasi awal, dan biaya operasi bulanan. Hasil perhitungan ketiga merk lampu dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 5. Total Biaya Penggunaan Lampu LED

| Merk lampu | Daya (watt) | Jumlah (buah) | Konsumsi energi listrik per hari (watt) | Biaya (Rp) | | |
|------------|-------------|---------------|---|------------|-----------|------------|
| | | | | Hari | Bulan | Tahun |
| A | 14 | 512 | 93.257,14 | 138.790 | 3.469.749 | 41.636982 |
| B | 13 | 512 | 88.685,71 | 131.987 | 3.299.663 | 39.595.952 |
| C | 13 | 512 | 96.000 | 142.872 | 3.571.800 | 42.861.600 |

Berdasarkan perhitungan pada Tabel 6 terlihat bahwa dengan mengganti lampu LED merk A atau C, biaya investasi awal dan operasi bulanan penghematan sejak di bulan pertama, apabila diganti dengan LED merk B, titik impas baru terjadi pada bulan ke-4.

Biaya operasi bulanan yang paling kecil dari ketiga lampu LED adalah dengan menggunakan lampu merk B, namun lampu ini mempunyai biaya investasi awal yang cukup besar. Apabila digunakan lampu merk B, jika dibandingkan dengan lampu C, surplus biaya operasional baru terjadi setelah pemakaian pada bulan ke-78. Sedang

jika dibandingkan dengan lampu merk A, dengan merk B surplus biaya operasional baru terjadi pada bulan ke-91. Mengingat usia lampu LED antara 10 sampai 15 tahun, secara ekonomis, jika usia lampu dianggap 10 tahun maka penggunaan lampu LED merk B akan menguntungkan secara finansial.

Simpulan

Dari hasil pengukuran langsung, perhitungan dan analisa yang dilakukan, diperoleh hasil sebagai berikut:

1. Lampu pengganti yang disarankan adalah lampu LED merk B.

Tabel 6. Perhitungan Titik Impas Tiga Merk Lampu LED

| Jenis pembiayaan | LED A | | LED B | | LED C | | |
|----------------------------|------------|--------------------|-------------|--------------------|--------------------|-----------|--------------------|
| | | Total | | Total | | Total | |
| Biaya investasi awal (Rp) | 54.736.000 | | 70.144.000 | | 49.152.000 | | |
| Biaya operasi bulanan (Rp) | 1 | 3.469.749 | 58.205.749 | 3.299.663 | 73.443.663 | 3.571.800 | 52.723.800 |
| | 2 | 3.469.749 | 61.675.498 | 3.299.663 | 76.743.326 | 3.571.800 | 56.295.600 |
| | 3 | 3.469.749 | 65.145.247 | 3.299.663 | 80.042.989 | 3.571.800 | 59.867.400 |
| | 4 | 3.469.749 | 68.614.996 | 3.299.663 | 83.342.652 | 3.571.800 | 63.439.200 |
| | 5 | 3.469.749 | 72.084.745 | 3.299.663 | 86.642.315 | 3.571.800 | 67.011.000 |
| | 6 | 3.469.749 | 75.554.494 | 3.299.663 | 89.941.978 | 3.571.800 | 70.582.800 |
| | 7 | 3.469.749 | 79.024.243 | 3.299.663 | 93.241.641 | 3.571.800 | 74.154.600 |
| | 8 | 3.469.749 | 82.493.992 | 3.299.663 | 96.541.304 | 3.571.800 | 77.726.400 |
| | 9 | 3.469.749 | 85.963.741 | 3.299.663 | 99.840.967 | 3.571.800 | 81.298.200 |
| | 10 | 3.469.749 | 89.433.490 | 3.299.663 | 103.140.630 | 3.571.800 | 84.870.000 |
| | . | | | | | | |
| | . | | | | | | |
| | 76 | 3.469.749 | 318.436.924 | 3.299.663 | 320.918.388 | 3.571.800 | 320.608.800 |
| | 77 | 3.469.749 | 321.906.673 | 3.299.663 | 324.218.051 | 3.571.800 | 324.180.600 |
| | 78 | 3.469.749 | 325.376.422 | 3.299.663 | 327.517.714 | 3.571.800 | 327.752.400 |
| | . | | | | | | |
| | . | | | | | | |
| | 89 | 3.469.749 | 363.543.661 | 3.299.663 | 363.814.007 | | |
| | 90 | 3.469.749 | 367.013.410 | 3.299.663 | 367.113.670 | | |
| 91 | 3.469.749 | 370.483.159 | 3.299.663 | 370.413.333 | | | |

2. Penghematan bulanan yang dapat dilakukan dengan mengganti lampu LED merk B adalah 55%, lebih besar dibandingkan prosentase merk lampu A dan C.
3. Secara ekonomis, usia lampu LED antara 10 sampai 15 tahun, diasumsikan rata rata usia lampu 10 tahun maka penggunaan lampu LED merk B akan menguntungkan secara finansial karena surplus biaya operasional baru terjadi setelah pemakaian pada bulan ke-78, sedangkan merk lainnya pada bulan ke-91.

Daftar Pustaka

- Asmawati, Endah and Marlina, and Idayani, Junanik. 2016. *Analisis Ekonomi Penggunaan Energi Listrik Untuk Penerangan*. In: Prosiding Seminar Nasional FMIPA-UT 2016: Peran Matematika, Sains, dan Teknologi dalam Mendukung Gaya Hidup Perkotaan (Urban Lifestyle) Yang Berkualitas, 22 September 2016, Balai Sidang Universitas Terbuka (UTCC).
- Bonnet, J. Devel, C. Faucher, P. Roturier, J. February 2002. Analysis of electricity and water end-uses in university campuses: case-study of the University of Bordeaux in the framework of the Ecocampus European Collaboration. *Journal of Cleaner Production*, Volume 10. Issue 1. Pages 13-24.
- BSN. 2000. SNI 03-6197-2000: *Konservasi Energi Sistem Pencahayaan pada Bangunan Gedung*.
- Hwang, R. Lin, T. Kuo, N. 2006. Field experiments on thermal comfort in campus classrooms in Taiwan. *Energi and Buildings*, Volume 38. Issue 1. January 2006. Pages 53-62.
- Mulyadi, Y. Rizki, A. Sumarto. 2013. Analisis Audit Energi untuk Pencapaian Efisiensi Penggunaan Energi di Gedung FPMIPA JICA Universitas Pendidikan Indonesia. *Jurnal Electrans*, Vol. 12. No.1. Maret 2013. 81-88.
- Stefano, J. D. September 2000. Energi efficiency and the environment: the potential for energi efficient lighting to save energi and reduce carbon dioxide emissions at Melbourne University Australia. *Energi*. Volume 25. Issue 9.
- Suwartha, N. Fitri Sari, R. 2013. Evaluating UI GreenMetric as a tool to support green universities development: assessment of the year 2011 ranking. *Journal of Cleaner Production*. Available online 13 March 2013.