

PENGUJIAN DAN ANALISIS UMUR PAKAI LAMPU LIGHT EMITTING DIODE (LED) SWABALAST UNTUK PENCAHAYAAN UMUM

Testing and Analysis of Life Time for LED Lamp Ballasted for General Lighting

Sudirman Palaloi

Balai Besar Teknologi Energi (B2TE)
Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT)
Gedung 230 Kawasan Puspiptek Serpong-Tangerang 15314
Email: sudirman.palaloi@bppt.go.id

Diterima: 5 Februari 2015; Diperiksa: 16 Februari 2015; Revisi: 3 Maret 2015; Disetujui: 13 Maret 2015

Abstract

This study aims to determine the life time of LED lamp ballasted that is currently widely used for general lighting. The number of samples tested was 59 units with 2 to 13 watts from various brands. The standard test method refers to IEC 62 612: 2013 Standard. The initial luminous flux is measured as the first data point in determining the useful life lamp. LED lamp life time is determined by lighting on the lamp for 6000 hours and measured every 1000 hours. The measurement result is illustrated in graphic showing relation between normalised light output and operating hours. Lamp that have luminous flux decline until 10% after 6000 hours operation are classified as category A. For lamp decline up to 20% flux are category B, and decline up to 50% are category E. The test results show that about 25.4% lamp are category A, 40.7% are category B, whereas category C and D are respectively 24.7% and 6.8%. About 3.4% lamps are not included in above categories because their luminous flux below 50% of initial flux. Further analysis by implementing extrapolation approach shows average life time tested lamp is 20,500 hours.

Keywords: LED lamp, luminous flux, efficacy, life time

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui umur pakai lampu LED swabalast yang saat ini banyak digunakan untuk penerangan umum. Jumlah sampel yang diuji sebanyak 59 unit dengan daya 2 s.d 13 watt dari berbagai merek. Metode pengujian mengacu pada standar SNI IEC 62612:2013. Kuat cahaya awal diukur sebagai titik data pertama dalam menentukan umur pakai lampu. Umur pakai lampu LED ditentukan dengan cara menyalakan lampu selama 6000 jam dengan pengukuran kuat cahaya setiap 1000 jam. Hasil pengukuran kuat cahaya selama 6000 jam dibuat grafik hubungan antara kuat cahaya terhadap umur lampu. Lampu yang memiliki penurunan kuat cahaya maksimum 10% setelah menyala 6000 jam dimasukkan dalam kategori A. Penurunan kuat cahaya hingga 20% masuk kategori B, dan seterusnya lampu yang kuat cahayanya menurun hingga 50% dimasukkan dalam kategori E. Hasil pengujian menunjukkan bahwa ada sekitar 25,4% masuk ke dalam kategori A, sebanyak 40,7% masuk kategori B. Sedangkan kategori C dan D masing-masing sebanyak 24,7% dan 6,8%. Terdapat 3,4% lampu tidak masuk dalam kategori karena pada saat pengujian 6000 jam, prosentasi kuat cahaya di bawah 50%. Hasil ekstrapolasi secara statistik didapatkan umur pakai lampu tersebut rata-rata pada kisaran 20.500 jam.

Kata kunci: lampu LED, kuat cahaya, efikasi, umur pakai

1. PENDAHULUAN

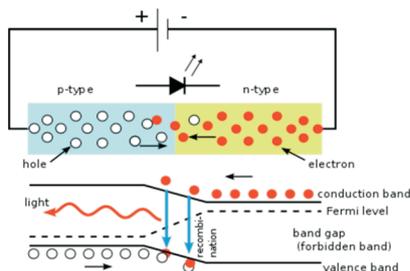
Sejak J. Holonyak dan S. Bevacqua menemukan dioda pemancar cahaya pertama (LED) pada tahun 1962, LED mengalami perkembangan yang luar biasa selama setengah abad terakhir dalam penggunaan untuk berbagai penerangan seperti lampu penerangan jalan, lampu layar datar, dan lampu penerangan. Lampu LED atau *Light Emitting Diode* (Puguh.*et.al.*, 2011) pada saat ini

sudah populer dan banyak digunakan walaupun teknologi ini masih tergolong baru. Bahkan bisa dikatakan lampu LED pada saat ini sudah mulai mendapat perhatian masyarakat dikarenakan memiliki banyak kelebihan dibandingkan dengan lampu jenis lainnya. Dengan keunggulan seperti hemat biaya listrik dan lebih ramah lingkungan serta waktu nyala lebih awet menjadi kelebihan lampu LED yang menyebabkan lampu ini mulai

banyak digunakan untuk penerangan umum (<http://eartheasy.com>).

Prinsip kerjanya LED hingga dapat menyala adalah ketika arus listrik dc mengalir melalui P/N *junction* pada material semikonduktor, aliran elektron bertemu *hole* dan terjadilah rekombinasi antara muatan positif (*hole*) dan negatif (elektron), dan pada saat itu dilepaskanlah energi cahaya ketika photon terbentuk. Warna dari cahaya yang terpancar bergantung pada level energi photon yang ditentukan dengan *energy gap* dari material semikonduktor.

Untuk menghasilkan luminasi cahaya yang terang dari sebuah LED, tentu diperlukan energi yang cukup besar. diperkirakan teknologi lampu LED dengan daya sekitar 100 Watt mampu menghasilkan cahaya 10.000 lumens.



Gambar 1. Mekanisme kerja lampu LED (Jiajie, *et. al.*, 2012 & Jiajie F., 2014)

Teknologi semikonduktor *power device* berperan sangat penting pada power LED dengan iluminasi tinggi. Secara teknologi LED memerlukan tegangan dc untuk menyalakannya, sehingga lampu berbasis LED jika ingin diimplementasikan langsung pada tegangan 220V di rumah-rumah, akan diperlukan trafo dan penyearah tegangan supaya mendapatkan tegangan dc yang sesuai. Dari segi pengontrolan iluminasi lampu berbasis LED juga lebih mudah dikendalikan, misalkan dengan PWM (*Pulse Widht Modulation*), pengaturan lebar pulsa, akan mempengaruhi terang redupnya lampu.

LED merupakan perangkat padat dan keras sehingga memiliki daya tahan yang cukup lama (Robert Lingard, *et. al.*, 2012). Selain itu LED hanya menggunakan konsumsi daya yang relatif rendah dan usia yang ribuan jam nyala. Bahkan menurut prediksi, dengan semakin murahnya biaya produksi lampu LED, di tahun 2015-2017 nanti lampu tradisional lainnya akan mulai ditinggalkan dan kebanyakan mulai beralih menggunakan lampu LED. Berbagai tipe lampu dari lampu LED bulb untuk kebutuhan rumah tangga, lampu sorot lampu sorot LED untuk kebutuhan komersil dan industri, lampu Penerangan Jalan Umum (PJU) LED, dan lainnya mulai diproduksi dan dikembangkan secara kontinyu melihat potensi pasar ini. Pada sektor rumah tangga lampu LED kini mulai digunakan sebagai lampu penerangan untuk pencahayaan umum. Tabel berikut ini menyajikan intensitas penerangan untuk

pencahayaan umum berdasarkan standar SNI.

Tabel 1. Tingkat pencahayaan di bangunan perkantoran (SNI 03-6196-2000)

No.	Area/Fungsi ruangan	Tingkat pencahayaan (lux)	Kelompok Renderasi warna
Dalam Ruangan			
1	Lobby / koridor	100	1
2	Ruang rapat	300	1 atau 2
3	Ruang kerja	350	1 atau 2
4	Ruang direktur	350	1 atau 2
5	Ruang tamu	250	1 atau 2
6	Ruang komputer	350	1 atau 2
7	Garasi	50	1 atau 2
8	Toilet	50	1 atau 2
8	Ruang gambar	500 - 750	1 atau 2
9	Ruang kantin	200 - 250	1
10	Ruang mesin	200	1
Luar Ruangan			
1	Road	20-Oct	1
2	Parking	20	1
3	Taman	20	1

Tingkat pencahayaan tersebut dapat dipenuhi dengan menggunakan lampu penerangan. Berikut ini diperlihatkan gambaran perbandingan daya dan *life time* antara lampu LED, *Compact Fluorescent Lamp* (CFL) dan lampu pijar.



Gambar 2. Perbandingan umur lampu

Secara umum beberapa kelebihan dari lampu LED adalah mempunyai umur penggunaan yang lebih lama dibanding lampu biasa. LED bisa mencapai keawetan hingga 30 ribu jam, efisiensi energi hingga 80 s.d 90 persen. Cahaya yang dihasilkan lampu LED tidak panas. LED tidak memproduksi sinar ultra violet (UV) dan energy panas. Tidak mengandung merkuri sehingga lebih ramah lingkungan dan dengan lensa optik yang sesuai, cahaya lampu LED dapat diarahkan sesuai keinginan. Namun demikian salah satu kekurangan dari lampu LED adalah walaupun umur pakai lampu lama, namun suhu lingkungan dapat mempengaruhi umur lampu LED (www.sylvania.com).

Penelitian tentang prediksi umur lampu sebelumnya telah dilakukan seperti yang dilakukan oleh (Jiajie Fan, *et. al.*, 2012) membandingkan distribusi *life time* lumen lampu LED dengan model statistik.

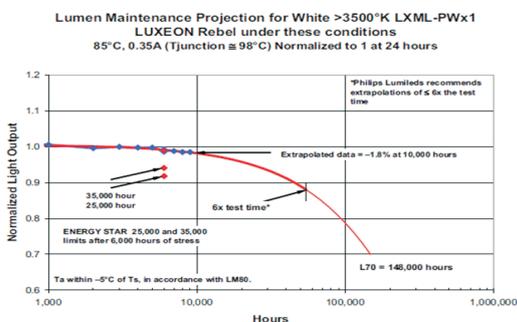
Untuk mengkaji lebih dalam tentang kelebihan lampu LED hubungannya dengan umur pakai, maka pada makalah ini penulis menyajikan hasil pengujian terhadap umur lampu LED sebanyak 59 unit dengan daya mulai dari 2 W hingga 13W dari berbagai merek yang ada dipasaran saat ini.

Pengujian kuat cahaya dilakukan setiap 1000 jam mulai dari 0 jam hingga 6000 jam penyalaan sesuai standar SNI IEC 62612:2013.

2. BAHAN DAN METODE

2.1. Umur Pakai Lampu

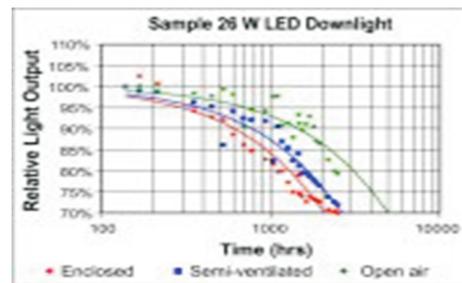
Penentuan umur lampu LED memerlukan waktu yang cukup lama apabila dilakukan secara alami. Hal ini disebabkan karena umur lampu LED ada yang bisa mencapai 30 tahun. Oleh karena itu dalam penentuan umur pakai lampu LED dilakukan dengan cara tertentu. Beberapa vendor dalam menentukan umur lampu mengacu pada Standar IEASNA LM-80-2008. LM-80-08 menentukan minimal 6.000 jam pengujian. Pemeliharaan lumen LED juga harus ekstrapolasi ke masa depan. Produsen panduan Energi Star mengatakan bahwa pengujian membutuhkan minimal 25 sampel (Kevin Dowling, *et.al.*, 2008). Kemudian *Philips Lumileds* melakukan pengujian yang jauh lebih besar dan durasi waktu yang lebih daripada yang ditentukan oleh LM-80-08 dan *Energy Star* (www.lumileds.com). Selain itu, *Philips Lumileds* menggunakan metode 'ekstrapolasi eksponensial', untuk menentukan kuat cahaya seperti yang digunakan oleh *Energy Star* yang dimulai setelah pengujian 6.000 jam. Sebaliknya, beberapa pemasok LED menggunakan model eksklusif untuk menentukan kinerja kuat cahaya lampu mereka. Gambar 3 menunjukkan contoh dari grafik pemeliharaan lumen yang dihasilkan sesuai dengan LM-80-08.



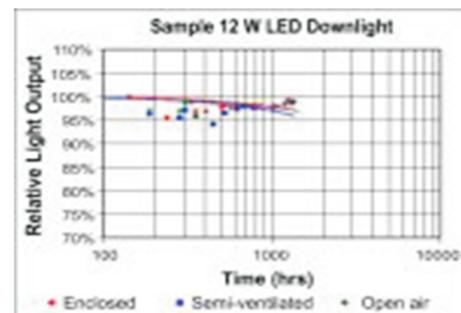
Gambar 3. Data Pemeliharaan Lumen Jangka Panjang (www.lumileds.com)

Setahun sebelumnya penelitian serupa dilakukan oleh (Narendran N dkk., 2007) terhadap 2 unit lampu LED 26 W dan 12 W, pada tiga lingkungan yang berbeda yaitu tertutup, semi ventilasi dan terbuka. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *life time* lampu LED *downlight* 26-watt pada kondisi terbuka kuat cahayanya cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan pengujian pada kondisi semi ventilasi dan tertutup. Namun demikian pola distribusi kuat cahaya cenderung turun saat waktu penyalannya makin lama (Gambar 4). Hasil perhitungan ekstrapolasi data menunjukkan bahwa *downlight* ini akan mencapai akhir hidupnya L_{70} , dalam 2.100 jam untuk aplikasi tertutup, 2.650

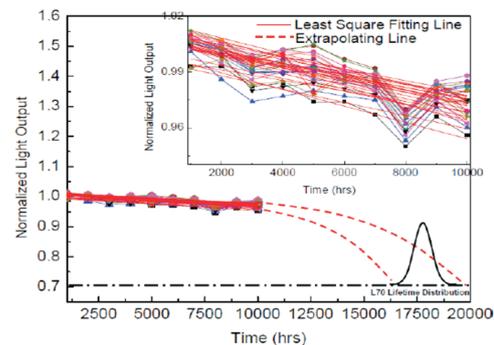
jam untuk aplikasi semi ventilasi, dan 5.000 jam jika di tempatkan di udara terbuka dengan banyak ventilasi.



Gambar 4. Hasil Pengujian Lampu 26 W LED *Downlight* pada 3 Kondisi (Narendran dkk, 2007)



Gambar 5. Hasil Pengujian Lampu 12W LED *Downlight* pada 3 Kondisi (Narendran dkk,2007)



Gambar 6. Model Degradasi Explorasi 1000 s.d 10000 jam (Jiajie, *et.al.*, 2012).

Sementara itu, hasil penelitian yang telah dilakukan oleh (Jiajie, *et.al.*, 2012) memperlihatkan adanya kecenderungan kuat cahaya sedikit menurun mencapai penyalaan 10.000 jam. Dengan cara ekstrapolasi, didapatkan bahwa kuat cahaya lampu menurun hingga L_{70} akan terjadi pada jam 16.000 s.d 20.000. (Gambar 6)

2.2 Pemeliharaan Lumen

Karena umur lampu LED swabalast sangat panjang, dan dianggap tidak praktis dalam memakan waktu untuk mengukur penuaan lumen aktual selama umur pakai lampu (L_{50} atau L_{70}), untuk alasan itu standar pengujian hanya menentukan umur pakai (L_{50} atau L_{70}) dari setiap lampu LED swabalast.

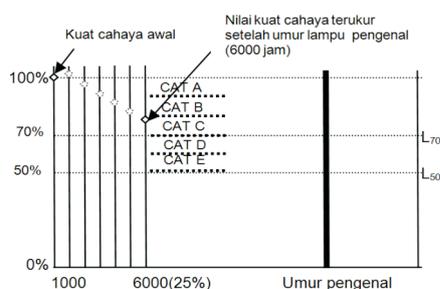
Standar SNI IEC 62612:2003 memilih untuk kategori pemeliharaan lumen atau jam nyala yang

mencakup penurunan lumen sampai 25% dari umur pakai pengenalnya dengan durasi 6.000 jam. Tergantung dari definisi umur pakai (L50 atau L70), ada 5 kategori untuk L50 dan 3 untuk L70. Setiap kategori mencakup penambahan 10% pemeliharaan lumen yang dibandingkan dengan lumen awal pada saat 0 jam nyala.

Tabel 2. Katergori Lampu berdasarkan penurunan kecerahan fluks

Penurunan kecerahan fluks pada 6000 jam (% dari nilai awan 0 jam)	Kategori
Penurun <i>fluks</i> yang terukur < 10% dari fluks pengenal	A
Penurun <i>fluks</i> yang terukur < 20% dari fluks pengenal	B
Penurun <i>fluks</i> yang terukur < 30% dari fluks pengenal	C
Penurun <i>fluks</i> yang terukur < 40% dari fluks pengenal	D
Penurun <i>fluks</i> yang terukur < 50% dari fluks pengenal	E

Secara grafik, pemeliharaan kuat cahaya (*lumen maintenance*) terhadap umur lampu yang terdapat dalam klausa 10.1 di dalam SNI IEC 62612: 2013 diperlihatkan pada Gambar 7.



Gambar 7. *Lumen Maintenance* terhadap Umur Lampu (SNI IEC/PAS 62612:2013)

Kuat cahaya awal diukur pada saat lampu dinyalakan pertama kali. Pengukuran pemeliharaan lumen dilakukan setiap 1000 jam, hingga 6000 jam atau sekitar 25% dari umur pakai lampu. Lampu LED swabalast dinyatakan lolos uji apabila nilai fluks yang terukur pada 25% umur pakai lampu pengenal (dengan durasi maksimum 6000 jam) tidak pernah lebih kecil dari maksimum pemeliharaan lumen yang berhubungan dengan umur pakai lampu pengenal (L50 atau L70) seperti yang didefinisikan oleh pabrik atau pemasok.

2.3 Metode Pengukuran Kuat Cahaya Lampu

Semua pengujian dilakukan di ruang bebas aliran udara pada suhu $25 \pm 1^\circ\text{C}$ dan kelembaban relatif maksimum 65%. Tegangan uji dilakukan pada tegangan pengenal 220V. Lampu tidak perlu dituakan. Kuat cahaya awal diukur setelah stabilisasi termal dari LED, yang waktunya adalah 15 menit.

Dalam pengujian ini, walaupun terfokus pada pengukuran kuat cahaya, namun dalam waktu yang bersamaan, dilakukan pula pengukuran daya yang dikonsumsi dan tingkat efisiensi lampu.

Nilai kuat cahaya awal didapatkan pada saat

lampu diuji sebelum dilakukan pemeliharaan lumen atau sebelum lampu dituakan. Pengukuran tidak boleh dilakukan sebelum waktu stabilisasi terlewati. Selanjutnya lampu dinyalakan selama 1000 jam. Kemudian dilakukan pengukuran kuat cahaya. Hal ini dilakukan hingga lampu mencapai pemeliharaan lumen atau jam nyala 6000 jam.

2.4. Jumlah Sampel

Pada penelitian ini terdiri dari 59 sampel uji Lampu LED dengan daya mulai 2W s.d 13W dari berbagai merek yang ada di pasaran.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

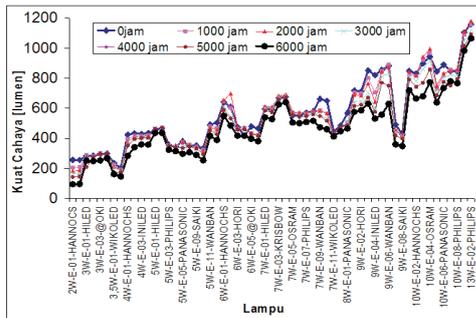
3.1. Kuat Cahaya

Kuat cahaya atau sering juga disebut fluks cahaya yang merupakan jumlah total cahaya yang dipancarkan oleh sumber cahaya, tanpa memperhatikan arah. Satuan intensitas cahaya adalah lumen (Robert Lingard 2012; Kelly Gordon 2008). Sedangkan menurut (WLO Fritz dan MTE Kahn, 2006) Fluks bercahaya (Φ) adalah energi cahaya / gelombang terpancar (diterima) oleh sumber (permukaan). Jadi intensitas cahaya adalah jumlah atau total keluaran cahaya yang dipancarkan oleh sumber cahaya ke segala arah yang diterima oleh suatu permukaan. (www.savepower.nsw.gov.au).

Kuat cahaya masing-masing lampu didapatkan setelah *lumen maintenance* atau lampu dinyalakan setelah 1000 jam, 2000 jam, 3000 jam, 4000 jam, 5000 jam dan 6000 jam. Hasil pengukuran kuat cahaya, daya dan efisiensi dibuatkan dalam bentuk grafik. Kuat cahaya yang dihasilkan oleh lampu tergantung dari daya lampu. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa kuat cahaya lampu yang diukur bervariasi mulai dari 250 lumen s.d 1150 lumen. Adanya variasi ini disebabkan oleh besar daya lampu. Semakin tinggi daya lampu maka kuat cahaya yang dihasilkan makin tinggi pula. Hasil pengukuran kuat cahaya setiap lampu berdasarkan daya diperlihatkan pada Gambar 8.

Dari Gambar 8 di atas terlihat bahwa kuat cahaya lampu dipengaruhi oleh daya lampu. Ada kecenderungan bahwa masing-masing lampu mempunyai kuat cahaya pada saat pengujian awal 0 jam lebih tinggi dibandingkan dengan setelah dinyalakan 6000 jam. Kemudian terus menurun hingga sesuai dengan jumlah nyala lampunya. Dari gambar di atas juga terlihat bahwa ada beberapa lampu yang wattnya lebih besar, namun lebih rendah kuat cahayanya pada jam nyala yang sama. Adanya kuat cahaya yang berbeda-beda ini dipengaruhi oleh watt lampu dan merk lampu. Pada umumnya konsumsi daya lampu cenderung turun apabila jam nyalahnya makin lama.

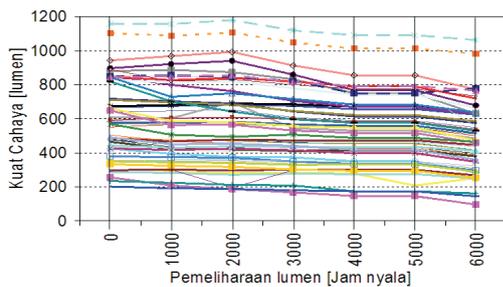
Sedangkan profil dan hasil pengukuran kuat cahaya lampu mulai 0 jam hingga 6000 jam diperlihatkan pada Gambar 9.



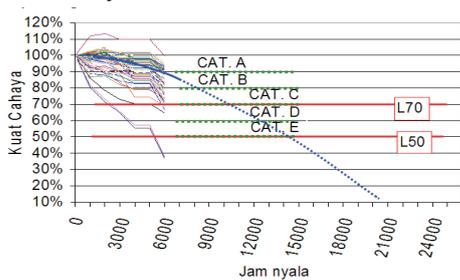
Gambar 8. Profil Kuat Cahaya Lampu vs Daya Lampu

Berdasarkan Gambar 9 terlihat bahwa hampir semua lampu yang diuji mengalami penurunan kuat cahayanya setelah dinyalakan. Kuat cahaya lampu setelah dinyalakan 6000 jam terhadap kuat cahaya awal menurun rata-rata sebesar 16,9%.

Prosentasi kuat cahaya lampu setelah penyalaan 1000 jam hingga 6000 jam terhadap kuat cahaya awal diperlihatkan pada Gambar 10. Presentasi kuat cahaya setiap setelah dinyalakan 6000 jam dimasukkan ke dalam masing-masing seperti Gambar 10.



Gambar 9. Profil Kuat Cahaya Lampu vs Waktu Nyala



Gambar 10. Prosentase Kuat Cahaya Lampu vs Jam Nyala

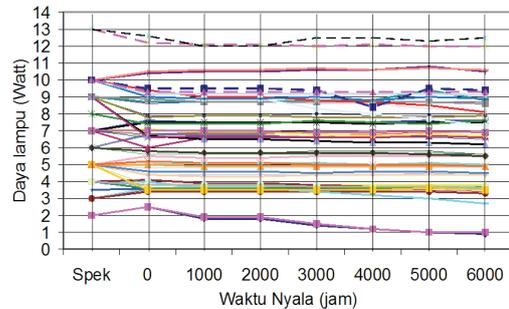
Berdasarkan Gambar 10 di atas terlihat bahwa ada sekitar 25,4% masuk ke dalam kategori A, sebanyak 40,7% masuk kategori B. Sedangkan kategori C dan D masing-masing sebanyak 24,7% dan 6,8%. Terdapat 3,4% lampu tidak masuk dalam kategori karena pada saat pengujian 6000 jam, prosentasi kuat cahaya di bawah 50%. Hasil pengujian juga menunjukkan bahwa sebanyak 89,8% masuk ke dalam L70, sedangkan masuk ke dalam L50 adalah 96,6%. Ini menunjukkan bahwa sebanyak 57 unit lampu

(96,6%) dari 59 unit lampu masih mampu mengeluarkan kuat cahaya di atas 50% dari kuat cahaya awal. Atau 89,8% lampu yang diuji masih mampu menghasilkan kuat cahaya di atas 70% setelah dinyalakan 6000 jam.

Dengan cara ekstrapolasi didapatkan bahwa lampu tersebut mempunyai *life time* rata-rata sekitar 20.500 jam.

3.2 Daya Lampu

Daya listrik diartikan sebagai besar energi listrik yang dihasilkan setiap detik. Daya listrik biasa juga didefinisikan sebagai laju hantaran energi listrik dalam rangkaian listrik. Satuan SI daya listrik adalah *watt* yang menyatakan banyaknya tenaga listrik yang mengalir per satuan waktu (joule/detik). Pada setiap alat listrik selalu tercantum besarnya daya listrik tersebut. Misalkan pada sebuah lampu LED tertulis 5W/220 V, artinya bila lampu tersebut dipasang pada tegangan listrik 220 V akan dihasilkan daya listrik sebesar 5 W. Hasil pengukuran daya lampu mulai saat penyalaan awal hingga 6000 jam diperlihatkan pada Gambar 11 berikut.



Gambar 11. Daya Lampu vs Waktu Nyala.

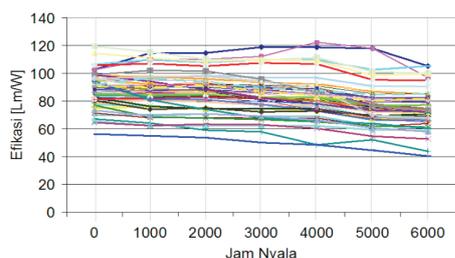
Berdasarkan gambar di atas, terlihat bahwa konsumsi daya lampu rata-rata lebih rendah 2,2% saat awal (0 jam) dinyalakan terhadap spesifikasinya. Grafik juga tersebut memperlihatkan bahwa pengukuran daya lampu setelah dinyalakan 6000 jam turun rata-rata 3,9% dari nilai daya saat pengukuran awal. Ini berarti bahwa lampu LED semakin lama dinyalakan maka konsumsi dayanya makin turun.

3.3. Efikasi

Tingkat efisiensi lampu dapat dilihat dari efikasinya. Efikasi didefinisikan total flux cahaya yang dipancarkan oleh sumber cahaya dibagi dengan watt lampu; dinyatakan dalam lumen per watt (lm / W) (Robert Lingard, 2012). Efikasi lampu diukur pada awal penyalaan, setiap penyalaan 1000 jam selama 6000 jam. Hasil pengujian efikasi lampu pada masing-masing jam nyala diperlihatkan pada Gambar 12.

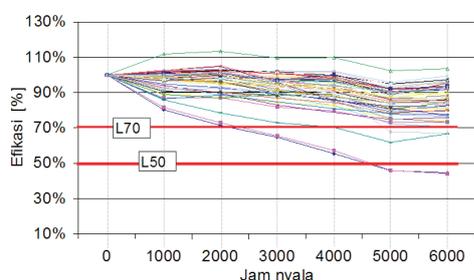
Berdasarkan Gambar 12 di atas terlihat bahwa efikasi lampu cenderung juga turun. Pengukuran efikasi rata-rata lampu setelah penyalaan 1000 jam hingga 6000 jam terhadap efikasi awal masing-masing adalah 2.9%, 3.8%, 6.5%, 9.0%, 16.4% dan 15.4%. Ini berarti bahwa lampu LED

yang diuji terjadi penurunan efikasi rata-rata sebesar 15,4 % setelah dinyalakan selama 6000 jam.



Gambar 12. Efikasi Lampu vs Jam Nyala

Untuk melihat performance penurunan tingkat efisiensi lampu LED yang diuji setelah dinyalakan selama 6000 jam, maka dibuat perbandingan efikasi setiap 1000 jam hingga 6000 jam terhadap nilai efikasi awal untuk masing-masing lampu. Hasil perhitungan diperlihatkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Prosentasi Efikasi Lampu vs Jam Nyala

Berdasarkan gambar di atas terlihat bahwa ada 91,5% masih mempunyai tingkat efikasi di atas 70% setelah lampu dinyalakan 6000 jam. Sebanyak 96,6% mempunyai efikasi di atas 50% dan 3,4% atau 2 unit lampu yang efikasinya berada di bawah 50%.

4. KESIMPULAN

Hasil pengujian lampu LED sebanyak 59 unit yang dipasarkan di Indonesia menunjukkan bahwa semua sampel yang diuji masih tetap dapat menyala dengan baik walaupun mengalami penurunan kuat cahayanya rata-rata sebesar 16,9% setelah dinyalakan 6000 jam cahaya awal. Terdapat sekitar 25,4% masih dapat mengeluarkan kuat cahayanya di atas 90% dari cahaya awal (kategori A), sebanyak 40,7% (kategori B), kategori C dan D masing-masing sebanyak 24,7% dan 6,8% dan 3,4% lampu tidak masuk dalam kategori karena pada saat pengujian 6000 jam, karena prosentasi kuat cahaya di bawah 50%. Hasil pengujian juga menunjukkan terdapat 57 unit lampu (96,6%) dari 59 unit lampu masih mampu mengeluarkan kuat cahaya di atas 50% dari kuat cahaya awal. Atau 89,8% lampu yang diuji masih mampu menghasilkan kuat cahaya di atas 70% setelah dinyalakan 6000 jam. Dengan cara ekstrapolasi didapatkan bahwa lampu tersebut mempunyai *life time* rata-rata sekitar

20.500 jam.

DAFTAR PUSTAKA

- E. F. Schubert, J. K. Kim (2005). *Solid-State Light Sources Getting Smart*. Science 308, 1274-1278, 2005. http://vision.uni-pannon.hu/LeCV/docs/2006_p04_Wenzl_Tailoring.pdf
- Robert Lingard (2012). *Energy Efficiency of White LEDs Pacific Northwest National Laboratory*. Energy Efficiency and Renewable energy, US Department of Energy, Juni 2012
- Narendran, N., Y. Gu, L. Jayasinghe, JP Freyssinier, and Y. Zhu. (2007). *Long-term performance of white LEDs and systems. Proceedings of the First International Conference on White LEDs and Solid State Lighting*. Tokyo, Japan, November 26 to 30, 2007, P174-P179.
- Kelly Gordon, (2008). *Comparing White Light LEDs to Conventional Light Sources Pacific Northwest National Laboratory*. Energy Efficiency and Renewable energy, US Department of Energy. Juni 2008
- WLO Fritz, MTE Kahn, (2006). *Energy efficient lighting and energy management. Journal of Energy in Southern Africa*. Vol 17 No 4 November 2006. Pp 33- 38.
- Jianjie Fan, (2014). *Model-Base Failure Diagnostics and Reliability Prognostics for High Power White Light-Emitting Diodes Lighting*. Pao Yue-kong Library. The Hongkong University Library. 2014
- Jianjie Fan, KC Yung, P Michael, (2012). *Life time Estimation of High Power White LED using Degradation Data Driven Method*. IEEE Transactions on Devices and Material Reliability, Vol. 12, Issue 2, pp. 470-477. Sept. 2012.
- Kevin Dowling, (2008). *Lumen Maintenance IESNA LM-80-2008*. Energy Star.
- Puguh A., (2011). *LED (Light Emitting dioda)*. <https://rasapas.wordpress.com/2011/03/04/8/>
- Basics of Light and Lighting " Philips "* Dapat diakses di http://www.lighting.philips.com/pwc_li/cn_zh/connect/tools_li/terature/assets/downloads/basics_of_light.pdf [diakses 11 April 2015]
- Eartheasy. Energy Efficiency Lighting*. http://eartheasy.com/live_energyeff_lighting.htm [diakses 25 Mei 2015]
- Energy efficient lighting (2012). *Technical Report. Office of Environment and Heritage*. Department of Premier and Cabinet Australia. www.savepower.nsw.gov.au
- Lighting the way to energy efficiency : *A Guide to Energy Efficient Lighting Solutions*. www.sylvania.com
- TCR., (2012). *Lighting the Clean Revolution : The Rise of LEDs what is means for Cities*. www.TheCleanRevolution.org June 2012
- BSN SNI IEC 62612:2013 *Lampu swabalast LED untuk pelayanan pencahayaan umum – Persyaratan Kinerja*.
- Philips Lumileds (2012). *Evaluating The Lifetime Behavior Of LED Systems The Path To A Sustainable Luminaire Business Model*. www.lumileds.com/uploads/167/WP15-pdf.
- BSN SNI 03-6196:2000. *Prosedur Audit Energi Pada Gedung*.