

MAIL (*Modern Adaptable Intelligent Lamp*) Berbasis *Light Lux Parametric* Sebagai Solusi *Lighting Energy Management* pada Bangunan

Yusuf S. Wijoyo, Aditya W. P., Handika P., Irfan Joyokusumo, M. Hanif Ramadhan, M. Hasan Habib

Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

Jalan Grafika 2, Bulaksumur, Yogyakarta, Indonesia 55281

yusufsw@ugm.ac.id, adityawishnu01@gmail.com, handika.putra1994@gmail.com, irfanjoyokusumo1994@gmail.com, haniframadhan96@gmail.com, muhammad.hasan.h@gmail.com

Abstract—Nowadays the problems related to energy management is an issue that should be of particular concern. For the achievement of the national energy savings, several steps have been taken in energy management study. One of the sectors that serve as targets for energy management is lighting sector. Those in this condition we need to design a device that can perform energy management in the lighting sector. MAIL is designed to regulate output power and LED-SLL lighting levels. Based on the experiments that have been carried out, MAIL can save power by 88.02 % and able to adjust lighting levels with 4.76 % error. This design is expected to be a benchmark lighting sector - based energy management lighting levels

Keywords: MAIL, Light Lux Parametric, Energy Management

Abstrak—Dewasa ini permasalahan terkait manajemen energi merupakan masalah yang perlu menjadi perhatian khusus. Demi tercapainya penghematan energi nasional, beberapa langkah sudah ditempuh untuk melakukan studi manajemen energi. Salah satu aspek yang dijadikan sebagai sasaran manajemen energi adalah pencahayaan. Pada kondisi ini perlu didesain suatu alat yang dapat melakukan manajemen energi pada aspek pencahayaan. MAIL didesain agar dapat mengatur daya keluaran dan tingkat pencahayaan LED-SLL. Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan, MAIL dapat menghemat daya sebesar 88,02 % dan mampu mengatur tingkat pencahayaan dengan eror 4,76%. Diharapkan desain ini dapat menjadi suatu *benchmark* manajemen energi sektor pencahayaan berbasiskan parameter tingkat pencahayaan.

Kata kunci : MAIL, parameter tingkat pencahayaan, manajemen energi

NOMENKLATUR

ϕ_N	Tingkat pencahayaan alami [lux].
ϕ_A	Tingkat pencahayaan buatan atau tingkat pencahayaan LED-SLL [lux].
ϕ_R	Tingkat pencahayaan ruang [lux].
$\Delta P_{LED}, \overline{\Delta P}_{LED}$	Selisih daya lampu perhitungan. dan rata-rata pengukuran yang terkendali oleh MAIL terhadap adanya cahaya alami.

P'_{LED}

Daya lampu yang terkendali oleh MAIL saat terkena cahaya alami.

P_{LED}

Daya lampu yang terkendali oleh MAIL saat tidak terkena cahaya alami.

V'_{LED}, I'_{LED}

Tegangan dan arus terukur lampu saat terkena cahaya alami.

V_{LED}, I_{LED}

Tegangan dan arus terukur lampu saat tidak terkena cahaya alami.

LED-SLL

Light Emitting Diode-Superbright Lumped Lamp

I. PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan zaman dan teknologi, kini pemanfaatan energi mulai dioptimalisasikan demi mencapai tujuan penghematan energi dan ekonomi. Seiring hal tersebut, Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia mengeluarkan Kerangka Kebijakan dan Instrumen Regulasi Konservasi dan Efisiensi Energi yang memberikan gambaran bahwa penghematan energi perlu dilakukan. Adapun tujuan dari penghematan energi tersebut adalah mengurangi perilaku tidak efisien energi, mengurangi *energy demand – supply*, dan mengurangi emisi gas [1]. Dari beberapa aspek penghematan energi yang dilakukan, energi yang dibutuhkan untuk mengadakan pencahayaan buatan mengkonsumsi 37% kebutuhan energi total pada sektor *retail building* yang menempati urutan pertama konsumsi energi [2] dan menempati urutan kelima kebutuhan penting energi pada Industri [3]. Oleh karenanya, energi yang diperlukan untuk mengadakan pencahayaan buatan perlu dioptimalkan agar tujuan penghematan energi dapat tercapai.

Berdasarkan Revisi SNI 03-6197 disebutkan bahwa cahaya alami di siang hari harus dapat dimanfaatkan sebaik-baiknya sebagai alternatif cahaya tambahan untuk mengurangi penggunaan energi listrik pada bangunan

dengan mempertimbangkan aspek-aspek sistem terkait [4]. Kebijakan tersebut mulai diimplementasikan dengan langkah mendesain beberapa bangunan yang memanfaatkan sinar matahari dan kecerahan langit sebagai penerangan alami di siang dan sore hari. Sehingga, kebutuhan energi listrik pada waktu siang hari dapat ditekan yang akan berimbas pada penghematan energi dan ekonomi. Namun, disisi lain juga masih banyak bangunan yang belum mampu memanfaatkan potensi pemanfaatan cahaya alami tersebut. Oleh karenanya, diperlukan suatu sistem atau alat yang mampu memanfaatkan pencahayaan alami sekaligus mampu menekan konsumsi energi listrik yang bertujuan untuk menghemat energi dan biaya.

Setiap bangunan memiliki bentuk dan luas ruangan yang disesuaikan dengan kebutuhan penggunaannya. Salah satu kebutuhan yang digunakan adalah aspek pencahayaan. Kebutuhan pencahayaan ini didasarkan pada tingkat pencahayaan (lux) rata-rata, renderasi, dan temperatur yang direkomendasikan sesuai SNI tentang pencahayaan bangunan [4]. Setiap ruangan diperlukan suatu sumber cahaya buatan, terutama lampu, yang dapat memenuhi kriteria SNI tersebut. Beberapa jenis lampu yang mulai diterapkan adalah lampu TL yang dikatakan mampu untuk menghemat energi sebesar 80 % [2]. Namun, pada lampu TL yang efisiensinya lebih tinggi daripada lampu pijar tersebut, belum mampu untuk melakukan adaptasi apabila terdapat cahaya eksternal (alami maupun buatan) yang masuk ke dalam bidang pencahayaan pada ruangan. Apabila lampu tersebut tidak bisa beradaptasi dengan cahaya eksternal tersebut, maka kerugian elektrik akan muncul karena penggunaan lux berlebih pada lampu. Apabila hal tersebut terjadi hampir setiap hari, maka muncul penggunaan energi listrik berlebih yang berdampak pada biaya rekening listrik. Oleh karenanya, dibuatlah suatu model lampu modern dan dapat beradaptasi secara cerdas untuk menyesuaikan tingkat pencahayaan yang dipancarkan apabila terdapat rangsangan cahaya eksternal.

Secara garis besar, MAIL adalah desain suatu alat pengendali tingkat pencahayaan sebuah lampu atau susunan lampu yang dilengkapi beberapa fitur agar lampu tersebut dapat beradaptasi dari parameter lux cahaya. MAIL juga didesain agar lampu tersebut dapat meminimalkan konsumsi daya elektrik sebagai fungsi arus yang diserap sehingga mampu menghemat penggunaan energi listrik pada suatu ruangan. MAIL ini akan diposisikan di suatu bagian bidang kerja sedemikian hingga dapat merespon lux cahaya eksternal, baik saat ruangan tertembus cahaya matahari atau sengaja diberi perlakuan pemberian lux cahaya eksternal. Pengukuran efektivitas alat ini dilakukan dengan mengukur efisiensi daya listrik dari lampu terhadap lampu yang tidak

menggunakan MAIL. Kemudian, pengukuran kinerja dari alat ini adalah dengan mengukur besar lux yang diterima bidang kerja saat menggunakan MAIL dan tidak menggunakan.

Adapun keunggulan-keunggulan yang dimiliki oleh MAIL ini antara lain sebagai berikut:

- **Automatically High Responsiveness Light Adapting** membuat lampu akan memiliki besar lux yang menyesuaikan cahaya alami dari luar. Lampu akan meredup ketika ada banyak cahaya alami dari luar ke dalam ruangan bidang kerja dan akan bertambah terang ketika ada sedikit cahaya alami dari luar ke dalam ruangan bidang kerja. Dari hasil pengukuran, diperoleh eror pengukuran hanya sebesar 29,06 Lux (4,76%)
- **High Electric Power Saving Rate** yang akan menghemat penggunaan energi listrik untuk penerangan ruangan. Pada keadaan lampu tanpa dan ada cahaya alami dari luar ruangan, lampu yang menggunakan MAIL memiliki penghematan daya yang besar yaitu efisiensi sebesar 1,44 W (88,02 %). MAIL ini dapat menghemat penggunaan energi listrik untuk penerangan pada bangunan.
- **Fit and Safety Packaging** sehingga tampilannya lebih menarik dan aman saat digunakan.
- **Low Cost Production**, karena harga untuk memproduksi MAIL tergolong lebih murah dibandingkan dengan peralatan atau teknologi sejenis yang masih mengatur sinar lampu yang masih manual. Dengan MAIL ini, dapat diatur terang redupnya lampu secara otomatis jika terdapat cahaya alami dari luar ruangan.

Kemudian, batasan masalah yang digunakan adalah jenis lampu berupa dua buah susunan 38 LED Superbright yang menggunakan *downlight reflector* yang kemudian disebut dengan *LED-SLL*.

II. DASAR TEORI

A. Lumen dan Lux

Didefinisikan bahwa lumen adalah cahaya total yang dipancarkan oleh sebuah sumber, sedangkan lux adalah banyaknya cahaya yang dipancarkan per satuan bidang atau jumlah cahaya per meter kuadrat.

B. Tingkat Pencahayaan Minimal sesuai SNI

Berikut adalah tabel beberapa nilai tingkat pencahayaan (lux) minimal yang diterapkan pada suatu ruangan menurut SNI.

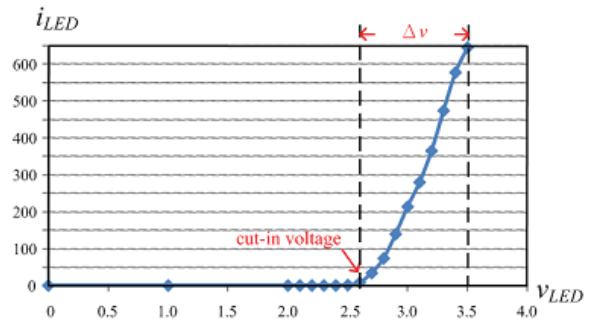
Tabel II.1. Tingkat Pencahayaan Ruang sesuai SNI

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

Tabel tersebut menjadi acuan bahwa setiap ruangan dengan fungsi tertentu harus memenuhi tingkat pencahayaan minimal sesuai standar. Pada kasus ini, MAIL berusaha mengendalikan tingkat kecerahan lampu supaya jumlah lux lampu dan lux cahaya luar dapat sesuai dengan lux minimal yang dibutuhkan.

C. Light Emitting Diode (LED)

Pada penelitian ini, LED difungsikan sebagai lampu yang dikendalikan oleh MAIL. Karakteristik LED ini ditandai dengan efisiensi tinggi, siklus hidup panjang, dan bebas polusi. LED diharapkan menjadi generasi baru sumber penerangan. Dengan peningkatan besar dalam kapasitas daya dan pengurangan biaya, LED putih kecerahan tinggi telah menjadi lebih dan lebih populer di banyak meningkatkan popularitas applications. Dengan sifat tingkat kecerahan yang tinggi pada LED telah menantang dunia elektronika untuk datang dengan solusi yang efisien dan hemat biaya pada desain rangkaian driver. Sampai saat ini, salah satu yang paling umum digunakan adalah LED putih dengan kecerahan tinggi yang dinilai pada 1 Watt cukup dikendalikan menggunakan arus 350 mA. Untuk memberikan cukup keluaran cahaya, lampu LED dapat dirangkai secara seri karena LED merupakan perangkat yang dapat dikendalikan dengan arus listrik. Untuk meningkatkan efisiensi secara keseluruhan pencahayaan LED dibutuhkan pula pengendali yang efisien. Konsep pengendali yang efisien dapat dijelaskan pada gambar berikut,



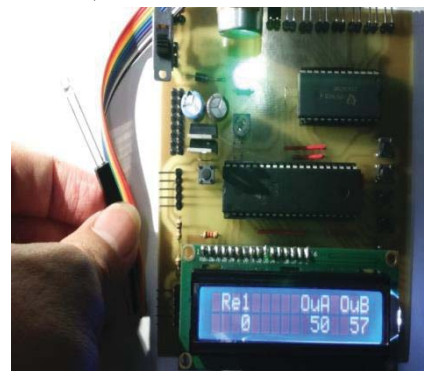
Gambar II-1. Karakteristik i-v pada LED

Secara teoritis, arus yang sangat kecil yang dibutuhkan LED saat forward voltage (tegangan maju) lebih rendah dari cut in voltage seperti pada Gambar 1. Di luar ambang batas itu, perubahan forward voltage sedikit saja dapat menyebabkan perubahan yang signifikan pada arus LED.

III. RANGKAIAN MAIL

A. Desain Rangkaian MAIL

Berdasarkan hasil percobaan kesesuaian desain rangkaian sesuai kebutuhan, berikut ini desain MAIL yang telah dibuat,



Gambar III-1. Desain Rangkaian MAIL

dan komponen penyusun desain rangkaian MAIL tersebut adalah sebagai berikut:

- DC Adaptor sebagai penyearah tegangan AC residensial (220V, 50 Hz) menjadi tegangan DC (110V,2A)
- 8-bit Programmable Microcontroller sebagai pengendali dan pengatur mekanisme kerja MAIL
- Fotodiode sebagai sensor tingkat pencahayaan ruangan baik saat terkena cahaya alami maupun tidak dan input bagi 8-bit Programmable Microcontroller.
- LED-SLL sebagai lampu yang dikendalikan oleh rangkaian MAIL.

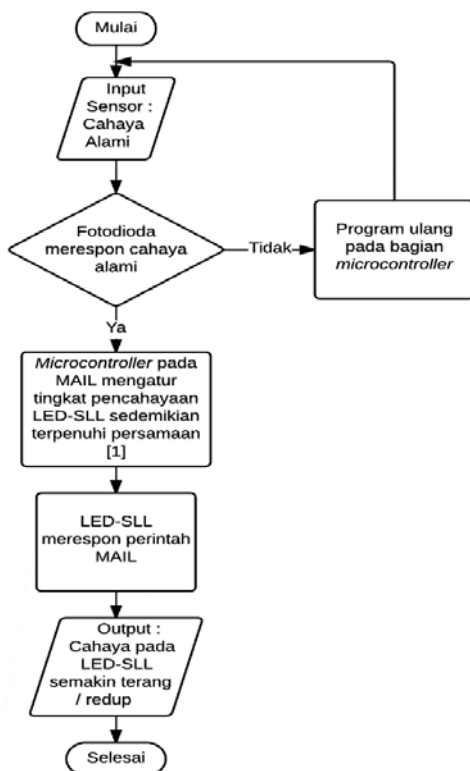
Kemudian, komponen-komponen tersebut disusun dan dikemas sedemikian hingga seperti gambar berikut,



Gambar III-2. Desain Kemasan MAIL

B. Flowchart Mekanisme Kerja Rangkaian MAIL

Berikut adalah flowchart tentang mekanisme kerja rangkaian MAIL,



Gambar III-3. Flowchart Mekanisme Kerja MAIL

saat rangkaian MAIL sudah disuplai tegangan DC dan sensor fotodiode sudah membaca adanya input tingkat pencahayaan alami sebesar ϕ_N , maka rangkaian MAIL akan mengatur LED-SLL agar menghasilkan tingkat pencahayaan buatan sebesar ϕ_A . Adapun jumlahan dari tingkat pencahayaan alami dan buatan tersebut ($\phi_N + \phi_A$) disetting sedemikian hingga sama dengan tingkat pencahayaan minimal yang dibutuhkan pada bidang kerja sesuai standar SNI yaitu ϕ_R .

Dengan demikian, tujuan dari penelitian ini adalah mendesain alat yang mampu mengatur tingkat

pencahayaan buatan sedemikian hingga terpenuhi persamaan $\phi_N + \phi_A = \phi_R = \text{konstan} \dots\dots\dots (1)$

IV. METODE PENGUKURAN UNJUK KERJA MAIL

Pada simulasi yang dilakukan, nilai ϕ_R telah ditetapkan sebagai kontrol sebesar 610 lux. Untuk mengetahui unjuk kerja dari rangkaian MAIL, maka dilakukan beberapa kali percobaan untuk mengetahui efektifitas daya dan eror pengaturan tingkat pencahayaan buatan yang dihasilkan. Berikut adalah metode yang digunakan untuk mengetahui unjuk kerja MAIL.

A. Pengukuran Daya Output LED-SLL terhadap Respon Keberadaan Cahaya Alami

Adapun pengukuran ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar daya yang bisa dihemat oleh LED Superbright Lumped Lamp saat menggunakan dan tidak menggunakan MAIL. Pengukuran dilakukan dengan menghitung persamaan penghematan daya,

$$\Delta P_{LED} = P_{LED} - P'_{LED} = V_{LED} \cdot I_{LED} - V'_{LED} \cdot I'_{LED} \dots\dots\dots (2)$$

Semakin besar nilai ΔP_{LED} maka tingkat penghematan yang dilakukan oleh MAIL semakin besar.

B. Pengukuran Error Pengaturan Tingkat Pencahayaan Buatan

Eror pengukuran yang dimaksud adalah selisih nilai lux yang seharusnya dengan lux yang dipancarkan oleh LED-SLL yang terkendali oleh MAIL pada bidang kerja

Adapun pengukuran ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar tingkat pencahayaan buatan yang dihasilkan agar selalu terpenuhi persamaan (1). Jika nilai ϕ_R relatif konstan pada nilai kontrol, maka pengaturan tingkat pencahayaan buatan oleh MAIL adalah baik dan erornya adalah kecil.

V. HASIL PENGUKURAN UNJUK KERJA MAIL

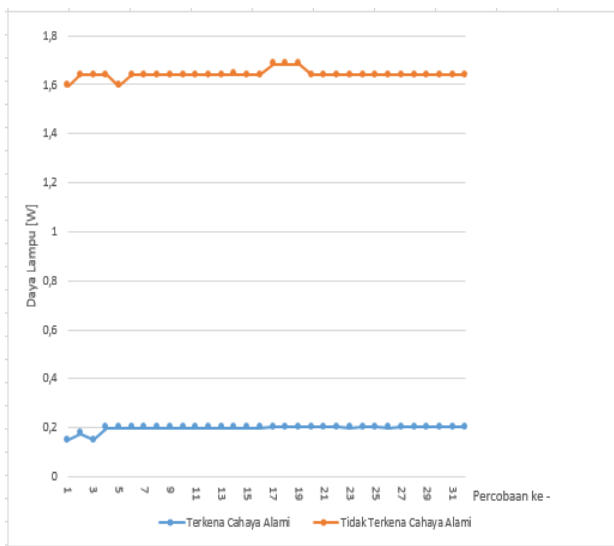
Simulasi dilakukan di sebuah ruang berukuran 1,2 m x 1,2 m x 1,2 m sebanyak 32 kali percobaan. Pada kondisi *rated* tegangan dan arus pada LED-SLL sebesar 4,43 V dan 0,37 A. Sehingga, daya pada kondisi *rated* didapatkan sebesar 1,64 W.

Sensor fotodiode diletakkan berdekatan dengan luxmeter diatas bidang kerja. Pada penelitian ini, bidang kerja yang dimaksud adalah bidang horizontal imajiner yang memiliki ketinggian 0,3 meter diatas lantai diseluruh ruangan. Model pemasangan sensor fotodiode mirip dengan pemasangan pada [7]. Kemudian, di ruang simulasi tersebut dibuat suatu jendela yang digunakan sebagai sumber cahaya alami. Percobaan pengukuran respon cahaya alami dan eror pengaturan dilakukan sekitar 0,3 meter dari jendela tersebut pada bidang kerja.



Gambar V-1. Desain Ruang Simulasi MAIL

A. Hasil Pengukuran Daya Output LED-SLL terhadap Respon Keberadaan Cahaya Alami



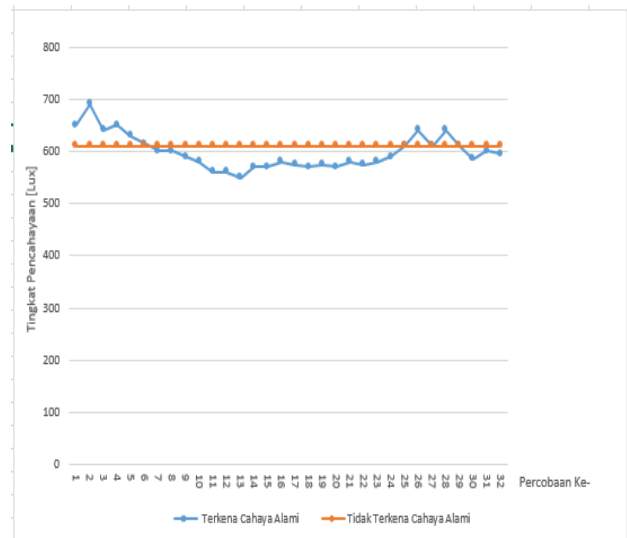
Gambar V-2. Grafik Daya Output LED-SLL terhadap Keberadaan Cahaya Alami

Dari grafik diatas, sumbu absis mewakili jumlah percobaan sedangkan sumbu ordinat mewakili daya output LED-SLL [watt]. Kemudian, garis merah mewakili daya output LED-SLL yang terkendali MAIL saat sensor fotodiode terkena cahaya alami, sedangkan garis biru mewakili daya output LED-SLL yang terkendali MAIL saat sensor fotodiode tidak terkena cahaya alami. Keduanya juga diberi rangsangan cahaya alami pada sensor fotodiodanya.

Didapatkan suatu hasil bahwa penggunaan MAIL dapat menghemat daya output rata – rata sebesar 1,44 W (88,02 %). Penurunan daya tersebut terjadi karena arus yang mengalir pada LED-SLL saat sensor fotodiode terangsang cahaya alami berkurang signifikan. Adanya cahaya alami yang terbaca oleh sensor, secara langsung membuat *microcontroller* memproses untuk mereduksi arus yang mengalir pada LED-SLL. Adapun pengurangan rata-rata arusnya sebesar 0,33 A dari kondisi rated. Kondisi ini mengakibatkan cahaya yang dikeluarkan oleh LED-SLL meredup.

Dengan demikian terlihat bahwa MAIL dapat merespon adanya cahaya alami yang masuk ke ruang simulasi. Respon tersebut ditunjukkan dengan meredupnya LED-SLL apabila sensor fotodiode terkena cahaya alami dan semakin terangnya LED-SLL apabila cahaya alami tidak lagi menyinari sensor fotodiode.

B. Hasil Pengukuran Error Tingkat Pencahayaan Buatan



Gambar V-3. Grafik Hasil Pengukuran Error Tingkat Pencahayaan Buatan

Dari grafik diatas, sumbu absis mewakili jumlah percobaan sedangkan sumbu ordinat mewakili tingkat pencahayaan [lux]. Kemudian, garis merah mewakili tingkat pencahayaan ruangan yang seharusnya terbaca oleh luxmeter saat sensor dan luxmeter terkena cahaya alami, sedangkan garis biru mewakili tingkat pencahayaan ruangan yang terbaca oleh luxmeter saat sensor dan luxmeter tidak terkena cahaya alami.

Diperoleh bahwa pengaturan tingkat pencahayaan oleh MAIL memiliki rata-rata error absolut sebesar 29,06 Lux (4,76%). Error tersebut memunculkan kondisi bahwa LED-SLL memiliki tingkat pencahayaan yang kurang atau berlebih sehingga persamaan (1) tidak terpenuhi. Error tersebut terjadi dipengaruhi oleh beberapa hal sebagai berikut,

1. Respon steady state sensor terhadap penerimaan cahaya alami
2. Sensitivitas fotodiode terhadap tingkat pencahayaan alami
3. Peletakan lokasi sensor pada bidang kerja

Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan, MAIL memiliki dua fungsi utama yaitu,

1. Mampu mengatur daya keluaran pada LED-SLL
2. Mampu mengendalikan tingkat pencahayaan LED-SLL terkait penerimaan cahaya alami pada sensor.

VI. KESIMPULAN

Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan, maka bisa didapatkan beberapa kesimpulan yaitu,

1. MAIL mampu menghemat rata-rata daya keluaran LED-SLL sebesar 1,44 W (88,02%) saat LED-SLL dioperasikan dengan memperhitungkan cahaya alami.
2. MAIL mampu mengendalikan tingkat pencahayaan yang dihasilkan oleh LED-SLL dengan eror sebesar 29,06 Lux (4,76%)

REFERENSI

- [1] Ayuni, Ir. Maryam. 2012. Kerangka Kebijakan Dan Instrumen Regulasi Konservasi Dan Efisiensi Energi. Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan Dan Konservasi Energi Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral: Jakarta.
- [2] Anonim. 2006. MIT / CBA Conference (Presentation).
- [3] Anonim. Management Energy in Industry (Presentation).
- [4] Panitia Teknis Energi Baru dan Terbarukan. 2010. Konservasi Energi pada Sistem Pencahayaan. Badan Standar Nasional: Jakarta
- [5] Indoenergi.com. 2014. Pengertian Efisiensi Energi. [online] Tersedia di: <http://www.indoenergi.com/2012/04/pengertian-efisiensi-energi.html> [Diakses: 16 Sept 2014]
- [6] Elektronika-dasar.web.id. 2014. Sensor Cahaya LDR (Light Dependent Resistor) [online] Tersedia di: <http://elektronika-dasar.web.id/teori-elektronika/pembagi-tegangan-voltagedivider/> [Diakses: 16 Sept 2014] G. Eason, B. Noble, and I. N. Sneddon, "On certain integrals of Lipschitz-Hankel type involving products of Bessel functions," *Phil. Trans. Roy. Soc. London*, vol. A247, pp. 529–551, April 1955.
- [7] Pradnya Pratama, Guntur. 2013. Perancangan Dimer Lampu secara Otomatis Berbasis Mikrokontroler Pada Penerangan Dalam Ruangan. Universitas Diponegoro (Transmisi 15 (4) 2013 187): Semarang