

Analisis Umur Lampu Berdasarkan *Switching Cycles*

Maria Beatrix¹, Endah Setyaningsih^{2*}, Hadian Satria Utama³, Yohanes Calvinus⁴

^{1,2,3,4} Program Studi Teknik Elektro, Universitas Tarumanagara, Jakarta, Indonesia

Article Info

Article history:

Diterima 24 Sep 2023

Revisi 30 Sep 2023

Diterbitkan Okt, 2023

Keywords:

Umur Lampu

Switching Cycles

Tingkat pencahayaan (lux)

ABSTRAK

Pencahayaan untuk suatu ruangan dan lingkungan dapat berasal dari cahaya alami dan buatan. Terdapat banyak jenis lampu untuk mendapatkan pencahayaan yang berkualitas. Salah satu jenis lampu yaitu lampu LED yang sering digunakan oleh masyarakat. Alasan penggunaan lampu LED adalah hemat energi dan umur pakai yang lama. Umur lampu biasanya dinyatakan dalam jam dan untuk pengukuran yang saat ini sudah ada SNI nya adalah menggunakan metoda satuan jam. Namun saat ini ditemukan metoda untuk menyatakan umur lampu yaitu dengan *switching cycles*. Penelitian ini berupa pengukuran umur lampu dengan metoda ini. Metode penelitiannya berupa eksperimen yaitu mengukur umur lampu dengan berdasarkan *switching cycles*. Penelitian ini dilakukan selama 17 hari dalam setiap 1 percobaan. Terdapat 2 percobaan, percobaan pertama dengan waktu jeda 1 dan percobaan kedua dengan waktu jeda 4 detik. Waktu hidup lampu yang dipilih adalah 4, 9 dan 14 detik. Hasil penelitian menunjukkan jumlah *switching cycles* mencapai lebih dari 70.000 *switching cycles*, dalam keadaan nyala. Nilai ini melebihi dari angka yang ada di spesifikasi lampu yang dipakai sebagai lampu uji yaitu 50.000 *switching cycles*. Penelitian ini juga melihat tingkat pencahayaan (lux), selama uji 17 hari. Hasilnya tingkat pencahayaan tidak berkurang secara signifikan selama uji.

This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



Corresponding Author:

^{2*}Endah Setyaningsih

Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta Barat 11440, Indonesia

Email: endahs@ft.untar.ac.id

1. PENDAHULUAN

Pencahayaan merupakan penerangan secara alami atau buatan untuk menerangi lingkungannya. Terdapat tiga kriteria untuk mencapai sistem pencahayaan yang bermanfaat yaitu aturan pencahayaan, kualitas, dan kuantitas. Kriteria-kriteria tersebut harus dipenuhi dan disesuaikan dengan aktivitas pekerjaannya agar manusia dapat bekerja secara nyaman. Seandainya kriteria-kriteria tidak tersebut tidak terpenuhi, aktivitas manusia dapat terganggu [1]. Hal ini dapat dibuktikan dari salah satu penelitian yang dilakukan untuk meningkatkan fokus dan konsentrasi seseorang dengan menggunakan pengaturan pencahayaan dan stimulasi audio menunjukkan hasil yang positif.[2]. Pencahayaan berkualitas secara iluminansi, warna atau kesilauan yang memenuhi SNI memberi kenyamanan visual bagi orang yang menggunakan pencahayaan di ruangan itu [3]. Penggunaan cahaya buatan dan cahaya alami pun harus disesuaikan dengan lingkungan dan tujuan pencahayaan ruangan.

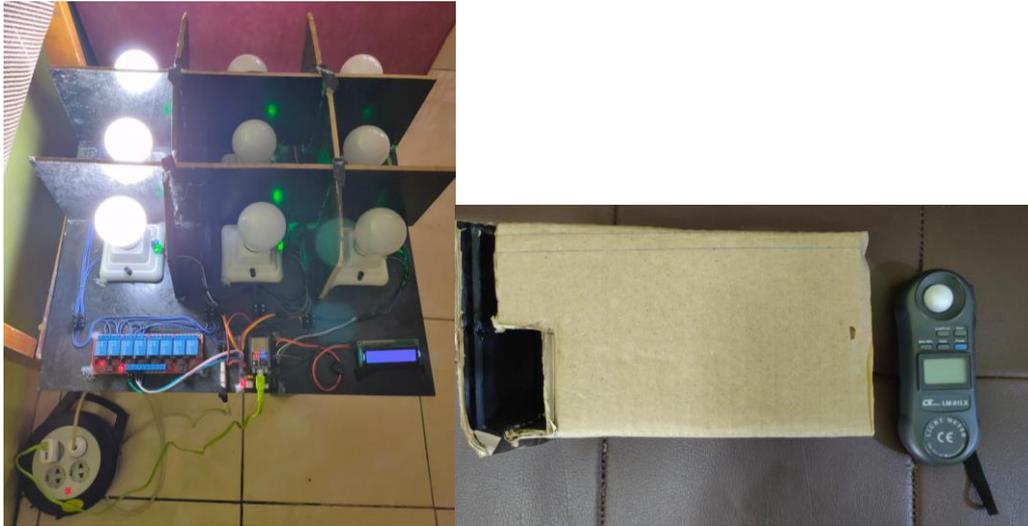
Salah satu contoh alat pencahayaan buatan yang paling populer digunakan masyarakat adalah lampu listrik. Beberapa jenis lampu yaitu fluorescent light, halogen, light-emitting diodes (LED), dan compact fluorescent lamps (CFL). Lampu fluorescent tabung adalah tabung terlapisi fosfor yang mengandung uap merkuri agar memunculkan cahaya putih. Lampu halogen adalah lampu pijar yang mengandung gas halogen. Dioda pemancar cahaya (LED) adalah alat yang menghasilkan cahaya bersumber pada elektron dalam bahan semikonduktor, sehingga disebut sebagai lampu LED. Lampu CFL adalah lampu yang dirancang untuk menggantikan bola lampu pijar, yaitu mempunyai kedudukan lampu (*fitting*) yang sama [4].

Lampu sangat dibutuhkan masyarakat untuk berbagai aktivitas. Hal ini terbukti dari pendapat Heryanto sebagai kepala P3TKEBTKE, bahwa produksi lampu LED di Indonesia meningkat secara signifikan dari 22 juta lampu saat 2012 menjadi 60 juta saat 2019. Pembagian lampu saat ini adalah lampu 52% LED, 41% CFL dan 7 (tujuh) % lampu pijar pada rumah tangga. Pada tahun 2030, permintaan lampu produksi lokal diproyeksikan akan meningkat sangat besar menjadi 165 juta lampu. Lampu terpopuler yang digunakan di perumahan Indonesia adalah LED sebesar 52%, 41% CFL dan 7 (tujuh)% lampu pijar [5].

LED membutuhkan berbagai komponen agar berfungsi dengan baik. Komponen-komponen tersebut adalah chip LED, lensa, driver module, dan heatsink. Chip LED dapat meningkatkan *thermal conductivity*. Lensa mengumpulkan cahaya dan mendistribusikan dari reflektor. *Driver module* sebagai pengendali arus membatasi arus agar sesuai dengan beban LED. *Heatsink* atau sirip pelepas panas melakukan pembuangan panas [6]. Salah satu kelebihan lampu LED adalah hemat energi dan umur pakai yang lama. Sebuah produk elektronik seperti lampu memiliki regulasi minimal jumlah umur lampu yang lama/tahan pakai agar ramah lingkungan [7]. Menurut KBBI, umur lampu adalah lama umur waktu hidup alat untuk menerangi. Umur LED secara umum dapat dijelaskan dengan tiga tahap berupa kegagalan awal, kegagalan spontan, dan dan periode aus. Periode pertama, periode kegagalan awal terjadi karena bahan yang cacat, penyimpangan dalam proses pembuatan atau penanganan dan pengoperasian yang salah oleh pelanggan. Periode kedua, periode kegagalan spontan terjadi karena kegagalan spontan dan acak. Periode terakhir, periode aus dihasilkan oleh degradasi alami bahan dan komponen yang mengarah pada pengurangan keluaran cahaya atau gagal menyala [7]. Sebuah test perlu dilakukan untuk mengetahui umur lampu. Pengukuran umur saat ini masih menggunakan satuan waktu (*hour*). Indonesia menggunakan standar SNI untuk mengukur kualitas produk. Umur lampu Cara mengukur umur lampu pada SNI ini adalah waktu operasional lampu dari menyala sampai mati dalam satuan jam. Umur lampu di *test di* labolatorium yang diambil saat lampu menyisihkan 50% dari total lampu yang di test dalam lab tersebut [8]. Selain SNI 6197, secara internasional sudah ada metode IES TM-21 berupa L70, L80, L90. L70 berarti waktu fluks cahaya menurun hingga 70% dari nilai awal. L80 berarti waktu fluks cahaya menurun hingga 80% dari nilai awal. L90 berarti waktu fluks cahaya menurun hingga 90% dari nilai awal [9]. Setelah mengukur umur lampu dengan waktu, munculah metode baru berdasarkan *switching cycle*. *Switching cycle* (siklus beralih) adalah siklus sakelar yang masa pakai lampu dinyatakan dalam jumlah sakelar ketika aktif atau nonaktif. Faktor ini menentukan apakah sebuah lampu cocok untuk aplikasi yang dibutuhkan. Contohnya pencahayaan di kamar mandi akan lebih sering dinyalakan atau dimatikan daripada pencahayaan di ruang keluarga, maka dari itu, sumber cahaya dengan siklus sakelar yang lebih tinggi akan lebih cocok [10]. Selain itu, tingkat pencahayaan atau lux dengan simbol lx yang berarti cahaya dalam bahasa Latin adalah satuan pencahayaan atau fluks cahaya per satuan luas dalam sistem Satuan Internasional (SI). Lux sama dengan satu lumen per meter persegi [11]. Dalam fotometri, tingkat cahaya (lux) digunakan sebagai ukuran intensitas karena cahaya mengenai suatu permukaan [12]. Metode *switching cycle* sebagai umur lampu juga sudah digunakan oleh lampu bermerek yang sudah digunakan oleh masyarakat. Penelitian ini ingin mengetahui apakah lampu akan mati jika angka yang ada di spesifikasi lampu yang dipakai sebagai lampu uji yaitu 50.000 switching cycles. Penelitian ini juga melihat tingkat pencahayaan (lux), selama uji 17 hari jika secara signifikan memiliki perubahan.

2. METODE

Variabel bebas yang digunakan adalah jumlah *switching cycle*. Pada penelitian ini, jumlah *switching cycle* yang digunakan adalah total berapa kali lampu menyala dan mati. Variabel terikat yang digunakan adalah umur lampu yang dapat diukur dengan tingkat pencahayaan (lux). Waktu pada penelitian pertama adalah dengan jeda waktu (yaitu lampu kondisi mati) selama 1 (satu) detik dan kondisi lampu menyala dengan waktu 4 (empat) detik, 9 (sembilan) detik dan 14 detik. Jadi total waktu *switching cycle* percobaan pertama menjadi 5 (lima) detik, 10 detik dan 15 detik, masing-masing disebut sebagai 1 (satu) set, 2 (dua) set dan 3 (tiga) set. Sedangkan percobaan kedua adalah dengan jeda waktu (yaitu lampu kondisi mati) selama 4 (empat) detik dan kondisi lampu menyala selama 8 (delapan) detik, 13 detik dan 18 detik. Jadi total lampu yang digunakan setiap percobaan adalah 9 (sembilan) buah, sehingga untuk dua percobaan total lampu adalah 18 buah. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen. Eksperimen ini menggunakan alat ukur yang dibuat sendiri. Alat ukur adalah alat ukur umur lampu dengan teknologi *switching cycle* yang terdiri dari 4 (empat) modul berupa modul pemroses, modul penampil informasi, modul internet dan modul *counter*. Alat ini dibuat karena alat-alat sebelumnya tidak memiliki fitur *switching cycles* dan hanya mengambil data waktu dengan satuan jam atau *hours*. Alat ini dibuat untuk mengambil data jumlah *switching cycle* untuk mengembangkan penelitian sebelumnya. Metode pengukuran jumlah *switching cycle* menggunakan modul *counter* yang tercatat secara otomatis. Sedangkan pengambilan data tingkat pencahayaan (lux) menggunakan lux meter yang diukur secara manual setiap hari. Metode pengukuran ini adalah bersifat primer, yaitu data diambil secara langsung dengan melakukan pengukuran *switching cycle*, menggunakan alat yang telah dibuat. Alat yang telah dibuat seperti terlihat pada Gambar 1.

Gambar 1. Alat Ukur umur lampu dengan teknologi *switching cycle*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengukuran Tingkat Pencahayaan (lux) dan *switching cycles*

Hasil Pengukuran *switching cycles* dapat dilihat pada Tabel 1. Berdasarkan tabel 1 tersebut menunjukkan bahwa semua lampu pada *jeda 1* (satu) dan 4 (empat) detik tidak ada yang mati meskipun sudah mencapai lebih dari 50000 *switching cycles*.

Tabel 1. tingkat pencahayaan (lux) dan *switching cycles*

Lampu	Percobaan 1 jeda 1 detik			Percobaan 2 jeda 4 detik		
	Jumlah <i>Switching Cycles</i>	Mean tingkat pencahayaan (lux)	Mean tingkat pencahayaan (lux) per set	Jumlah <i>Switching Cycles</i>	Mean tingkat pencahayaan (lux)	Mean tingkat pencahayaan (lux) per set
L1 (14 detik)		5973			6764	
L2 (14 detik)	95464	6337	6034	77279	6238	6319
L3 (14 detik)		5794			5956	
L4 (9 detik)		6169			6339	
L5 (9 detik)	126926	6954	6381	106538	6510	6369
L6 (9 detik)		6020			6260	
L7 (4 detik)		6376			7135	
L8 (4 detik)	253853	6819	6415	167685	6243	6527
L9 (4 detik)		6051			6204	

Hasil pengukuran tingkat pencahayaan (lux) dan *switching cycles* menunjukkan semakin besar waktu menyala maka semakin rendah tingkat pencahayaan (lux). Hal ini sesuai dengan penelitian Supriono, yaitu semakin banyak waktu menyala dapat merendahkan tingkat pencahayaan (lux) atau kecerahan cahaya [13]. Teori *lumen depreciation* menjelaskan bahwa tingkat pencahayaan menurun seiring waktu [14]. Tingkat pencahayaan LED menyusut karena kualitas elektronik dan kondisi pengoperasian. Hasil ini juga sesuai dengan penelitian Palaloi pada tahun 2015 yang menyalakan lampu selama ribuan jam dan mengalami penurunan kuat cahaya semakin lama lampu menyala [15].

Lumen depreciation dapat digunakan sebagai salah satu faktor umur lampu. LM 70 adalah jumlah waktu yang dibutuhkan cahaya untuk terdegradasi hingga 70% dari keluaran lumen awal. Satu tingkat pencahayaan (lux) setara dengan satu lumen per meter persegi. Pada tahun 2019 [16], Abdul dkk juga melakukan analisa penurunan tingkat penurunan iluminasi sistem penerangan terhadap lifetime lampu. Lampu dinyalakan selama

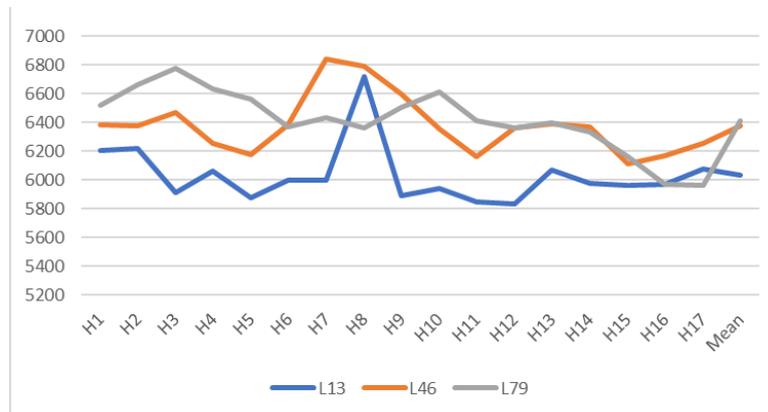
168 jam dan mengalami penurunan tingkat pencahayaan (lux) yang sangat signifikan dari hari pertama dinyalakan sampai akhir. Luminansi pada lampu LED juga baik karena menurun bertahap tidak berubah drastis seperti lampu *soft light*. Pengurangan iluminansi sebesar beberapa tingkat pencahayaan (lux) terjadi karena adanya masa pakai atau *lifetime* yang disesuaikan dengan jenis, daya dan aplikasi yang berbeda-beda. Hasil pengambilan data dan rangking tingkat pencahayaan dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. tingkat pencahayaan (lux) dan *switching cycles*

Jumlah Switching Cycles	Mean tingkat pencahayaan (lux) per set lampu	Rangking tertinggi tingkat pencahayaan (lux)
253852	6415	2
167685	6527	1
126926	6381	3
106538	6369	4
95464	6034	6
77279	6319	5

3.2. Hasil Pengukuran Tingkat Pencahayaan (lux)

Data telah diolah dari tiap sampel selama penelitian sesuai dengan metode statistik yang sesuai. Tingkat pencahayaan (lux) diukur pada setiap set lampu (yang terdiri dari tiga lampu), sehingga diperoleh nilai rata-rata dari tingkat pencahayaan 3 (tiga) lampu tersebut. Hasil data ini digunakan untuk pengolahan data dengan aplikasi SPSS 26. Gambar 2 menampilkan data rata-rata tingkat pencahayaan ke-3 set lampu dengan jeda 1 (satu) detik terhadap hari. Sedangkan Gambar 3 menampilkan data rata-rata tingkat pencahayaan (lux) ke tiga set lampu dengan waktu jeda 4 (empat) detik terhadap hari.



Gambar 2. Data rata-rata tingkat pencahayaan (lux) ke tiga set lampu dengan waktu jeda 1 detik terhadap hari pengukuran

Keterangan gambar:

L13 adalah 1 (satu) set lampu dengan waktu *switching cycle* 15 detik.

L46 adalah 1 (satu) set lampu dengan waktu *switching cycle* 10 detik.

L79 adalah 1 (satu) set lampu dengan waktu *switching cycle* 5 (lima) detik.

H1 sd H17 menunjukkan pengambilan data selama 17 hari



Gambar 3. Data rata-rata tingkat pencahayaan (lux) ke tiga set lampu dengan waktu jeda 4 detik terhadap hari pengukuran

Keterangan gambar:

L13 adalah 1 (satu) set lampu dengan waktu *switching cycle* 18 detik.

L46 adalah 1 (satu) set lampu dengan waktu *switching cycle* 13 detik.

L79 adalah 1 (satu) set lampu dengan waktu *switching cycle* 8 (delapan) detik.

H1 sd H17 menunjukkan pengambilan data selama 17 hari

Hipotesis statistik dalam penelitian ini dapat dinyatakan dengan hipotesis nol (H0) dan hipotesis alternative (H1). H0 menunjukkan tidak ada hubungan sedangkan h1 ada hubungan pada kedua variabel yang diteliti. Hipotesis statistik linear regresi dengan nilai H0 diterima jika P-value < alpha. Sebaliknya H1 diterima jika P-value > alpha.

Uji normalitas digunakan untuk mengetahui distribusi data yang telah diperoleh. Jumlah *switching cycle* dan tingkat pencahayaan (lux) merupakan data rasio. Rasio adalah data *continuous*. Uji normalitas dengan metode Shapiro Wilk dipilih karena jumlah data dibawah 30, data bersifat kuantitatif dan ber-*sample random*. Meskipun begitu, semakin besar n semakin kuat juga hasil tes normalitas [17]. Tes Shapiro Wilk adalah tes normalitas data yang dibuat oleh Samuel Shapiro dan Martin Wilk pada 1965. Rumus tes Shapiro Wilk adalah:

$$T_3 = \frac{1}{D} \left[\sum_{i=1}^k a_i (X_{n-i+1} - X_i) \right]^2$$

D = *Coeffisient test Shapiro Wilk*

X n-i+1 = Angka ke n - i + 1

X i = Angka i

Hasil tes normalitas variabel *switching cycle* dan tingkat pencahayaan adalah .215 dan .266 yang berada di atas 0.05 yang berarti keduanya berdistribusi normal. Hasil uji normalitas dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Uji Normalitas

	Shapiro Wilk		
	Statistic	df	Sig
Intentitas cahaya	.867	6	.215
Switching Cycle	.879	6	.266

Pengujian hipotesis menggunakan metode korelasi Pearson karena data dari variabel tingkat pencahayaan (lux) dan *switching cycles* berdistribusi normal, bersifat rasio dan parametrik. Koefisien korelasi *product-moment Pearson* mengukur kekuatan hubungan linier antara dua data [18]. Pearson Product Moment memiliki rumus:

$$r_{xy} = \frac{n\sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{\{n\sum X^2 - (\sum X)^2\}\{n\sum Y^2 - (\sum Y)^2\}}}$$

rx: koefisien korelasi r pearson

n: jumlah sampel

x: variabel bebas

y: variabel terikat

Hasil signifikansi dari korelasi Pearson adalah 0.306 yang lebih besar daripada 0.05, yang memiliki arti H0 diterima. Tidak ada korelasi yang signifikan antara variabel pertama dan kedua. Jumlah *switching cycle* dan tingkat pencahayaan (lux) tidak memiliki hubungan yang dapat dibuktikan secara statistik. Hasil uji hipotesis korelasi Pearson dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Uji Hipotesis Korelasi

		Switching Cycle	Intensitas Cahaya
Switching Cycle	Pearson Correlation	1	.506
	Sig (2-tailed)		.306
	N	6	6
Intensitas Cahaya	Pearson Correlation	.506	1
	Sig (2-tailed)	.306	
	N	6	6

4. Pembahasan

Uni Eropa (EU) meminta adanya informasi jumlah siklus peralihan atau *switching cycles* sebelum lampu mati [19]. Terdapat beberapa penelitian yang menjelaskan dampak *switching cycles* terhadap umur lampu. Penelitian Lamptech menjelaskan ada pengaruh *switching cycles* terhadap umur lampu. Setiap *switching cycles* menyebabkan erosi pada bahan emisi elektron yang dilapisi elektroda. Penelitian ini menggunakan ballast yang berdampak pada pengurangan umur lampu. Contoh lainnya ketika menggunakan tabung fluoresen dengan sistem deteksi gerakan yang menyala terlalu sering dapat mengakibatkan tabung menjadi aus lebih cepat [20]. Perbedaan penelitian Lamptech dan Narendran dengan penelitian ini adalah jenis lampu yang menyebabkan perbedaan hasil penelitian. Penelitian Lamptech dan Narendran menggunakan lampu pijar dan lampu fluorescent. Lampu pijar dan fluorescent menggunakan ballast yang membatasi aliran arus listrik sehingga sesuai dengan range daya yang dibutuhkan lampu untuk bekerja [21]. Sedangkan lampu LED tidak menggunakan ballast. Sebagai alternatif dari ballast, LED membutuhkan relay untuk mengatur aliran arus listrik pada lampu. Relay digunakan sebagai pengganti ballast pada penelitian ini karena disesuaikan dengan jenis lampu. Jumlah *switching cycles* tidak berpengaruh terhadap tingkat pencahayaan (lux) atau umur lampu karena bedanya jenis lampu dan komponen elektronik di dalamnya.

5. KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian adalah lampu akan tetap hidup meskipun sudah mencapai minimal *switching cycles* yang tertera pada box lampu. Lampu LED uji yang digunakan dalam penelitian ini memiliki nilai *switching cycles* sampai 50000 kali. Meskipun penelitian ini melakukan *switching cycles* sampai 253852 kali, tapi tidak ada satu pun lampu yang mati. Hasil iluminansi tidak berkurang secara signifikan selama uji yang terlihat pada jumlah *switching cycles* tidak berhubungan dengan tingkat pencahayaan (lux). Hasil ini didukung dari perhitungan statistik dengan menerima hipotesis H0. Kesimpulan ini dibuktikan dari tidak ada pola urutan pada jumlah *switching cycles* dengan mean tingkat pencahayaan (lux) per set lampu yang dapat dilihat di tabel.

Saran untuk peneliti selanjutnya yaitu alat untuk mengukur tingkat pencahayaan dapat menggunakan modul lux meter agar mempermudah pengambilan data secara otomatis. Saran lainnya adalah dengan membandingkan waktu yang lebih lama yaitu 1 (satu) menit. Penelitian berikutnya juga dapat mencoba mengatur arus listrik selain relay.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat, juga kepada Prodi Teknik Elektro Universitas Tarumanagara yang telah menyediakan sarana penelitian hingga selesai dan berjalan lancar.

REFERENSI

- [1] Fleta, Agrippina. (2023). ANALISIS PENCAHAYAAN ALAMI DAN BUATAN PADA RUANG KANTOR TERHADAP KENYAMANAN VISUAL PENGGUNA. *Jurnal Prata* Vol 3 (1): 33-42. Dikutip dari <https://www.google.com/url?q=https://jurnal.idbbali.ac.id/index.php/patra/article/download/182/126&sa=D&source=docs&ust=1691392751953122&usq=AOvVaw0CgUGRBvYNIQxlnDhi68UX>.
- [2] H. Candra, E. Setyaningsih, J. Pragantha and R. Chai, "Improving Focus and Concentration in the Classroom while Studying with Lighting Arrangement and Brainwave Stimulation," 2018 8th IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering (ICCSCE), Penang, Malaysia, 2018, pp. 186-189, doi: 10.1109/ICCSCE.2018.8685022.
- [3] Endah Setyaningsih, Yohanes Calvinus, Joni Fat, Fransisca Iriani Roesmaladewi. (2022). INTERVENSI ILUMINANSI DAN OTOMATISASI ON/OFF LAMPU RUANG KELAS UNTUK MENCAPAI KENYAMANAN VISUAL DAN HEMAT ENERGI. *Jurnal Muara Sains, Teknologi, Kedokteran, dan Ilmu Kesehatan* Vol. 6, No. 2, Oktober 2022: hlm 263 - 270.
- [4] Khan, N. & Abas, N., 2011. "Comparative study of energy saving light sources," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, vol. 15(1), pages 296-309, January.
- [5] Humas EBTK. (2021). Kementerian ESDM Dorong Industri Lampu LED Dalam Negeri. Dikutip pada 6 Agustus dari <https://ebtke.esdm.go.id/post/2021/06/22/2889/kementerian.esdm.dorong.industri.lampu.led.dalam.negeri>
- [6] Joni Welman Simatupang, Fajar Heru Santoso, Sasfitra Decky Afristanto, Ria Bramasto, Harun Baya Maheli. (2021). LAMPU LED SEBAGAI PILIHAN YANG LEBIH EFISIEN UNTUK LAMPU UTAMA SEPEDA MOTOR. *JURNAL KAJIAN TEKNIK ELEKTRO*. Vol 6(1). Dikutip dari <https://media.neliti.com/media/publications/466916-none-a6d7ae58.pdf>.
- [7] Barkhausen R, Durand A, Fick K. Review and Analysis of Ecodesign Directive Implementing Measures: Product Regulations Shifting from Energy Efficiency towards a Circular Economy. *Sustainability*. 2022; 14(16):10318. <https://doi.org/10.3390/su141610318>
- [8] Standar Nasional Indonesia. (2020). SNI 6197 2020 Konservasi Energi Pada Sistem Pencahayaan. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- [9] U.S. Department of Energy—Solid-State Lighting Technology Area. (2020). Lumen and Chromaticity Maintenance Behavior of Light-Emitting Diode (LED) Packages Based on LM-80 Data. Dikutip dari 28 Agustus 2023 dari https://www.energy.gov/sites/prod/files/2020/03/f73/rli_lm-80-white-leds_mar2020.pdf
- [10] Calex. (2023). What Are Switch Cycles. Dikutip 20 Juni 2023 dari <https://www.calex.eu/en/support/glossary/what-are-switch-cycles/>
- [11] International Bureau of Weights and Measures (2019-05-20), The International System of Units (SI) (PDF) (9th ed.), ISBN 978-92-822-2272-0, archived from the original on 2021-10-18
- [12] ISO/CIE 23539. (2023). CIE TC 2-93 Photometry — The CIE system of physical photometry. ISO/CIE. 2023. doi:10.25039/ISO.CIE.23539.2023.
- [13] Supriono. (2009). Memperpanjang Kecerahan Cahaya Lampu TL (fluorescent) Dengan Menggunakan Metode Penyalan Switching. *ELECTRICIAN Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*. Vol 3 (1): 21-30. Dikutip pada 24 Agustus dari <https://electrician.unila.ac.id/index.php/ojs/article/view/ele-200901-03-01-03/pdf>
- [14] A. Chakraborty, T. Chakraborty, R. Ganguly and M. Mitra, "Short-Term Test of the Lumen Depreciation of High-Power pcLEDs Under Tropical Condition," 2021 5th International Conference on Electronics, Materials Engineering & Nano-Technology (IEMENTech), Kolkata, India, 2021, pp. 1-5, doi: 10.1109/IEMENTech53263.2021.9614888.
- [15] Palaloi, Sudirman. (2015). PENGUJIAN DAN ANALISIS UMUR PAKAI LAMPU LIGHT EMITTING DIODE (LED) SWABALAST UNTUK PENCAHAYAAN UMUM. *Jurnal Energi dan Lingkungan (Enerlink)*. 11. 10.29122/elk.v1i1i.1586.
- [16] Abdul Azis, Hannah & Rimbawati, Rimbawati & P, Rifqi & Lubis, Fiasial. (2019). Analisa Penurunan Tingkat Penurunan Iluminasi Sistem Penerangan Terhadap Lifetime Lampu. *RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi) : Jurnal Teknik Elektro*. 1. 93-100. 10.30596/rele.v1i2.3015.
- [17] Khatun, N. (2021) Applications of Normality Test in Statistical Analysis. *Open Journal of Statistics*, 11, 113-122. <https://doi.org/10.4236/ojs.2021.111006>
- [18] Mustafa A. H. Hasan, Muhammad U. Khan, Deepti Mishra, "A Computationally Efficient Method for Hybrid EEG-fNIRS BCI Based on the Pearson Correlation", *BioMed Research International*, vol. 2020, Article ID 1838140, 13 pages, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/1838140>
- [19] European Parliament and of the Council. (2012). COMMISSION REGULATION (EU) No 1194/2012. Official Journal of the European Union. Dikutip pada 24 Agustus dari <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:342:0001:0022:en:PDF>
- [20] lamptech. (2011). Effect of Switching Frequency. Dikutip pada 24 Agustus 2023 pada <http://www.lamptech.co.uk/Documents/FL%20Switching.htm>
- [21] Yulianto, Herman. (2008). Studi komparasi ballast elektromagnetik terhadap ballast elektronik. Universitas Petra. Dikutip 2008 pada <https://dewey.petra.ac.id/repository/jiunkpe/jiunkpe/s1/elkt/2008/jiunkpe-ns-s1-2008-23402107-10008-ballast-chapter2.pdf>