

RANCANG BANGUN MODEL SISTEM KONTROL TATA CAHAYA
LAMPU LED PADA RUANGAN LABORATORIUM BERBASIS
MIKROKONTROLER

SKRIPSI

diajukan untuk memenuhi sebagian syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains
Program Studi Fisika Kelompok Bidang Kajian Fisika Instrumentasi



oleh

Ihza Maessa Cahyadi

NIM 1900252

PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS PENDIDIKAN MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA
2024

RANCANG BANGUN MODEL SISTEM KONTROL TATA CAHAYA LAMPU LED PADA RUANGAN LABORATORIUM BERBASIS MIKROKONTROLER

Oleh
Ihza Maessa Cahyadi

Diajukan untuk memenuhi sebagian syarat dalam memperoleh gelar Sarjana Sains
Program Studi Fisika
Konsentrasi Fisika Instrumentasi
FPMIPA UPI

© Ihza Maessa Cahyadi
Universitas Pendidikan Indonesia
Januari 2024

Hak cipta dilindungi Undang-Undang
Skripsi ini tidak boleh diperbanyak seluruhnya atau sebagian, dengan dicetak
ulang, difotokopi atau cara lainnya tanpa izin penulis.

HALAMAN PENGESAHAN

IHZA MAESSA CAHYADI

**RANCANG BANGUN MODEL SISTEM KONTROL TATA CAHAYA
LAMPU LED PADA RUANGAN LABORATORIUM BERBASIS
MIKROKONTROLER**

Disetujui dan disahkan oleh pembimbing:

Pembimbing I



Dr. Ahmad Aminudin, M.Si.

NIP. 197211122008121001

Pembimbing II



Nanang Dwi Ardi, S.Si., M.T.

NIP. 198012122005011002

Ketua Program Studi Fisika



Prof. Endi Suhendi M.Si

NIP. 197905012008121001

**PERNYATAAN TENTANG KEASLIAN SKRIPSI DAN BEBAS
PLAGIARISME**

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi/tesis/disertasi dengan judul "Rancang Bangun Model Sistem Kontrol Tata Cahaya Lampu Led Pada Ruangan Laboratorium Berbasis Mikrokontroler" ini beserta seluruh isinya adalah benar-benar karya saya sendiri. Saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika ilmu yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Atas pernyataan ini, saya siap menanggung risiko/sanksi apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran etika keilmuan atau ada klaim dari pihak lain terhadap keaslian karya saya ini.

Bandung, Januari 2024

Ihza Maessa Cahyadi

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada kehadiran Allah SWT, berkat rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Rancang Bangun Model Sistem Kontrol Tata Cahaya Lampu LED pada Ruangan Laboratorium Berbasis Mikrokontroler”. Penulisan skripsi ini dimaksudkan untuk memenuhi sebagian syarat untuk memperoleh gelas Sarjana Sains Program Studi Fisika Kelompok Bidang Kajian Fisika Instrumentasi.

Berkat partisipasi dukungan dan arahan dari berbagai pihak skripsi ini dapat tersusun. Maka dari itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dan mendukung penulis dalam penulisan skripsi ini.

Penulis menyadari dalam proposal skripsi ini terdapat banyak kelemahan dan jauh dari kata sempurna karena keterbatasan ilmu yang dimiliki oleh penulis. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran dari berbagai pihak untuk perbaikan dan penyempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini bermanfaat khususnya bagi penulis dan juga bermanfaat bagi para pembaca.

Bandung, Januari 2024

Penulis

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada kehadiran Allah SWT, berkat rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Berkat partisipasi dukungan dan arahan dari berbagai pihak skripsi ini diselesaikan dengan tuntas. Pada kesempatan ini, penulis menyampaikan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT karena atas rahmat dan karunia-Nya penulis dapat melaksanakan segala proses perkuliahan dengan baik dan tuntas.
2. Orang tua yang telah mengasuh, mendidik, dan memberikan dukungan kepada penulis.
3. Dr. Ahmad Aminudin, M.Si. selaku Pembimbing I dan Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan arahan, dukungan, wejangan dan menjadi orang tua kedua dalam perkuliahan.
4. Nanang Dwi Ardi, S.Si., M.T. selaku Pembimbing 2 yang telah memberikan arahan dan masukan dalam penulisan skripsi serta konseling mengenai kehidupan perkuliahan.
5. Taufik Syah Mauludin yang telah menjadi ketua kelas Fisika 2019 dan selalu dapat diandalkan dan selalu membantu mengenai perkuliahan.
6. Proyek Duniawi, yaitu: Taufik Syah Mauludin, Thifal Nurrifqi Ariel Kurniawan, Mochamad Subarkah Ramadhani, dan Abdul Azis yang selalu berbagi cerita dan keluh kesah selama perkuliahan.
7. Teman-teman KBK Instrumentasi, yaitu: Praditya, Erni Nuraeni, Adel Nurulswarna, dan Fanny Maulida yang telah membantu dan menemani proses perkuliahan KBK Instrumentasi serta selalu mengingatkan tentang skripsi.
8. Warga Kantor, yaitu: Seraf Adonai Rafanaelli Patai, Muhammad Fillah Abdul Kudus, dan Robi Dwi Putra Satria yang menjadi tempat berkumpul dikala perkuliahan.
9. Arsa Ananta, yaitu teman-teman Fisika 2019 yang telah menjadi bagian dari pengalaman dan pelajaran kehidupan yang sangat berharga.
10. Akademik Rangers 20, yaitu: Rahma Mutia, Hani Melyani, Raisa Najma Sakina, Taufik Syah Mauludin, Yuni Rahmawati, Putri Ekarani, dan

Zulfa Fathi Arinalhaq yang telah membantu dan memberikan pengalaman berharga selama berorganisasi.

11. Hasan Sabili Rasyid, Naufal Al-Hakim, Ali Alfardhan, dan M. Furqon Iskandar Fatah sebagai senior yang berjuang bersama adiknya selama menjalani perkuliahan.
12. Optik Rasyid, yaitu: Muhammad Daffa Pratama, Thariq Hafizhuddin, Rizal Arif, Muhammad Faisal Akram, Yeremias Budi Irawan, dan Fahri Al-Rasid serta Muhammad Rajasa Mahaputra Bra Raharyo yang telah menemani penulis melewati suka dan duka sejak masa SMA.
13. Semua orang yang telah membantu dan mendukung penulis.

**RANCANG BANGUN MODEL SISTEM KONTROL TATA CAHAYA
LAMPU LED PADA RUANGAN LABORATORIUM BERBASIS
MIKROKONTROLER**

Ihza Maessa Cahyadi

Dr. Ahmad Aminudin, M.Si.

Nanang Dwi Ardi, S.Si., M.T.

ABSTRAK

Pada ruangan yang besar dan memiliki standar pencahayaan yang khusus seperti ruang laboratorium, diketahui bahwa pencahayaan ruangan dapat mengkonsumsi energi dalam jumlah yang signifikan. Untuk mengurangi konsumsi energi dari pencahayaan ruangan, dibutuhkan sebuah model sistem kontrol yang mampu mengontrol lampu agar bekerja lebih efisien. Penelitian ini merancang sistem kontrol berdasarkan konsep sensing posisi manusia dan tata letak lampu yang dibuat berdasarkan karakteristik dari lampu model yang digunakan yaitu Lampu LED Krissbow E14 3 W 6500 K dengan basis mikrokontroler Arduino Mega 2560. Model ruangan juga dibangun berdasarkan Laboratorium Elektronika Gedung A Fakultas Pendidikan Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Pendidikan Indonesia dengan skala satu banding sepuluh untuk mendukung model sistem kontrol. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model sistem kontrol yang dibangun memerlukan jumlah lampu sebanyak tiga puluh buah lampu dengan konfigurasi lampu tertentu. Model sistem kontrol berjalan berdasarkan konsep menyalakan kombinasi lampu yang sesuai dengan masukan dari sensor posisi dapat berfungsi dengan baik. Selain itu, model sistem kontrol yang dibangun memiliki efektifitas pencahayaan sistem kontrol dan efisiensi penggunaan energi yang baik. Pencahayaan sistem kontrol dapat memenuhi standar *illuminance* pada bidang kerja dengan menggunakan energi yang relatif lebih sedikit.

Kata Kunci: Sistem Kontrol, Tata Letak Lampu, Lampu LED, Arduino Mega 2560, Sensor posisi

DESIGN AND DEVELOPMENT OF A LIGHTING CONTROL SYSTEM MODEL FOR LED LAMPS IN A LABORATORY ROOM BASED ON MICROCONTROLLER

Ihza Maessa Cahyadi

Dr. Ahmad Aminudin, M.Si.

Nanang Dwi Ardi, S.Si., M.T.

ABSTRACT

In a large room with specific lighting standards such as a laboratory, it is known that room lighting can consume a significant amount of energy. To reduce energy consumption from room lighting, a control system model is required to efficiently manage the lights. This research designs a control system based on the concept of human position sensing and the layout of lights created based on the characteristics of the model lights used, namely the Krissbow E14 3W 6500K LED Lamp with an Arduino Mega 2560 microcontroller base. The room model is also constructed based on the Electronics Laboratory of Building A, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Universitas Pendidikan Indonesia, with a one-to-ten scale to support the control system model. The research results show that the built control system model requires thirty lights with a specific configuration. The control system operates based on the concept of turning on a combination of lights that correspond to the input from the position sensor and functions effectively. Additionally, the built control system model demonstrates good lighting effectiveness and energy usage efficiency. The lighting control system can meet illuminance standards in the working area using relatively less energy.

Keywords: Control Sytem, Lamp Layout, LED Lamp, Arduino Mega 2560, Position Sensor

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	i
PERNYATAAN TENTANG KEASLIAN SKRIPSI DAN BEBAS PLAGIARISME.....	ii
KATA PENGANTAR	iii
UCAPAN TERIMA KASIH.....	iv
ABSTRAK	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Penelitian	1
1.2 Rumusan Masalah Penelitian	4
1.3 Batasan Masalah Penelitian.....	4
1.4 Tujuan Penelitian	5
1.5 Manfaat Penelitian	5
1.6 Struktur Organisasi Skripsi	5
BAB II KAJIAN PUSTAKA	6
2.1 Cahaya dan Energi	6
2.1.1 Cahaya.....	6
2.1.2 Energi	7
2.2 Fotometri.....	9
2.2.1 <i>Luminous Intensity (I_v)</i>	10
2.2.2 <i>Luminous Flux (Luminous Power) (Φ_v)</i>	11

2.2.3 Illuminance (E_v)	11
2.2.4 Luminance (L_v)	12
2.3 Pencahayaan Ruangan.....	12
2.3.1 Tingkat Pencahayaan Ruangan	13
2.3.1.1 Perhitungan Pencahayaan Ruangan	13
2.3.1.2 Tingkat Pencahayaan Minimum yang Direkomendasikan	18
2.3.1.3 Sistem Pencahayaan	19
2.3.2 Kebutuhan Daya.....	19
2.3.3 Distribusi Luminance	20
2.3.4 Kualitas Warna Cahaya.....	21
2.3.5 Silau	23
2.4 Lampu LED.....	23
2.5 Sistem Kontrol	24
2.6 Model Sistem Kontrol Tata Cahaya Laboratorium.....	25
BAB III METODE PENELITIAN.....	28
3.1 Desain Penelitian.....	28
3.2 Instrumen Penelitian.....	28
3.3 Prosedur Penelitian.....	30
3.3.1 Studi Literatur	31
3.3.2 Uji Dan Karakterisasi Sensor Posisi Dan Lampu	35
3.3.2.1 Uji Dan Karakterisasi Sensor Posisi	36
3.3.2.2 Karakterisasi Lampu	37
3.3.3 Perancangan Tata Letak Lampu.....	39
3.3.4 Perancangan Sistem Kontrol	40
3.3.5 Pembuatan Model Fisik.....	41
3.3.6 Pengumpulan Data	41

3.4 Analisis Data	42
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	43
4.1 Karakterisasi Lampu	43
4.1.1 Data Karakteristik Lampu	43
4.1.2 <i>Fitting</i> Grafik	46
4.1.3 Perbandingan Antara Lampu Model Dan Lampu Pemandang	48
4.1.4 Analisis Komparasi	49
4.1.5 Beam Angle Dan Field Angle	51
4.2 Analisis Tata Letak Lampu	53
4.2.1 Pembuatan Sketsa Tata Letak Lampu	53
4.2.2 Uji Efektifitas Sketsa Tata Letak Lampu	57
4.2.3 Kombinasi Lampu	60
4.3 Sistem Kontrol Tata Cahaya Lampu LED	62
4.3.1 Rangkaian Listrik Dari Sistem Kontrol.....	62
4.3.2 Program	64
4.4 Model Fisik dari Sistem Kontrol.....	68
4.5 Uji Sensor Posisi	70
4.6 Efektifitas Dan Efisiensi Dari Sistem Kontrol.....	71
BAB V SIMPULAN, IMPLIKASI, DAN REKOMENDASI.....	74
5.1 Simpulan	74
5.2 Implikasi.....	74
5.3 Rekomendasi	75
DAFTAR PUSTAKA	76
LAMPIRAN.....	79
Lampiran 1. Data Dan Grafik Karakterisasi Lampu pada tinggi 0,27 m	79
Lampiran 2. Data <i>Fitting</i> Grafik.....	81

Lampiran 3. Tabel Analisis Komparasi	83
Lampiran 4. Koordinat Meja Dan Lampu.....	85
Lampiran 5. Contoh Analisis Tata Letak Lampu.....	86
Lampiran 6. Kombinasi Lampu	87
Lampiran 7. Foto.....	88
Lampiran 8. Data Efektifitas dan Efisiensi Sistem kontrol.....	90

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tampak warna terhadap temperatur warna (Badan Standardisasi Nasional, 2001)	22
Tabel 2.2 Kelompok renderasi warna (Badan Standardisasi Nasional, 2001).....	22
Tabel 3.1 Alat dan bahan Sistem Kontrol & Lampu.....	28
Tabel 4.1 Data batas antara <i>beam angle</i> dan <i>field angle</i>	52
Tabel 4.2 Efektifitas dari pencahayaan sistem kontrol	72
Tabel 4.3 Efisiensi energi dari kombinasi lampu sistem kontrol.....	73

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Spektrum Gelombang Elektromagnetik (Young & Freedman, 2015)	6
Gambar 2.2 Segmen kawat dengan panjang Δl dan luas penampang A	8
Gambar 2.3 Penglihatan <i>photopic</i> dan <i>scotopic</i> (Kalloniatis & Luu, 2007)	10
Gambar 2.4 <i>Illuminance</i> yang datang dari semua arah di dalam setengah bola (Badan Standardisasi Nasional, 2001)	11
Gambar 2.5 Sumber cahaya yang memancarkan cahayanya ke segala arah.....	13
Gambar 2.6 Sumber cahaya yang memancarkan cahayanya dengan berbagai sudut ruang, (a) dengan sudut ruang 2π , (b) dengan sudut ruang $> 2\pi$, (c) dengan sudut ruang $< 2\pi$	14
Gambar 2.7 Sebuah lampu dengan tinggi h terhadap lantai	15
Gambar 2.8 Kurva fungsi (normal) Gauss dengan nilai $a = 1$, $b = 0$, dan $2c^2 = 1$	16
Gambar 2.9 Lampu P dan Lampu Q disusun dengan jarak antar lampu d	17
Gambar 2.10 Sebuah lampu dengan tinggi h pada sebuah lantai dengan koordinat x dan y	17
Gambar 2.11 <i>Beam angle</i> dan <i>field angle</i>	18
Gambar 2.12 Grafik <i>luminance</i> langit-langit terhadap <i>luminance</i> armatur (Badan Standardisasi Nasional, 2001).....	20
Gambar 2.13 Skala luminansi untuk pencahayaan interior (Badan Standardisasi Nasional, 2001)	21
Gambar 2.14 Diagram blok sistem kontrol penelitian sebelumnya	25
Gambar 2.15 Laboratorium Elektronika Gedung FPMIPA A Universitas Pendidikan Indonesia dengan skala 1:10	26
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	30
Gambar 3.2 Lampu Krissbow $E14\ 3\ W$ (kiri) dan Lampu Krissbow $E27\ 7\ W$ (kanan).....	31

Gambar 3.3 <i>Push button</i> dengan karet silikon dan kepala tombol plastik (Gaspar dkk., 2019)	32
Gambar 3.4 Sensor posisi yang digunakan pada penelitian, (a) kontak lapisan tegangan, (b) lapisan busa berlubang, (c) kontak lapisan input, dan (d) lapisan karpet isolator.....	33
Gambar 3.5 Contoh gambar dari Arduino Mega 2560	33
Gambar 3.6 Contoh relay dengan kondisi <i>normally open</i> (NO) dan <i>normally closed</i> (NC)	34
Gambar 3.7 Contoh konstruksi dari bagian lapisan tegangan kontak.....	35
Gambar 3.8 <i>set-up</i> dari karaktersasi lampu sederhana yang digunakan dalam penelitian ini.....	36
Gambar 3.9 Sketsa pada sumbu x dan sumbu y (a), sketsa pada sumbu z dan sumbu x atau sumbu y (a), dan (c) sketsa pada bidang tiga dimensi	38
Gambar 3.10 Diagram blok dari penelitian.....	39
Gambar 3.11 Algoritma sistem kontrol penelitian ini.....	39
Gambar 4.1 Grafik sebaran cahaya lampu model	41
Gambar 4.2 Grafik sebaran cahaya lampu pembanding	42
Gambar 4.3 Grafik <i>illuminance</i> terhadap tinggi lampu	42
Gambar 4.4 Grafik sebaran cahaya lampu model pada skala satu banding sepuluh	43
Gambar 4.5 Grafik sebaran cahaya dua buah lampu model dengan $h = 2,7 \text{ meter}$	43
Gambar 4.6 Grafik sebaran cahaya dua buah lampu model dengan $h = 0,27 \text{ meter}$	44
Gambar 4.7 Fitting fungsi normal Gauss pada sebaran cahaya lampu model pada $h = 0,27 \text{ meter}$	45
Gambar 4.8 Fitting fungsi normal Gauss khusus pada sebaran cahaya lampu model pada $h = 0,27 \text{ meter}$	46

Gambar 4.9 Sebaran cahaya dari dua buah lampu model identik	48
Gambar 4.10 Grafik komparasi antara pengambilan data sebaran cahaya dua lampu dengan perhitungan sebaran cahaya lampu pada skala asli	48
Gambar 4.11 Grafik komparasi antara pengambilan data sebaran cahaya dua lampu dengan perhitungan sebaran cahaya lampu pada skala model	49
Gambar 4.12 Sudut yang dibentuk oleh h dengan titik perubahan x	50
Gambar 4.13 Sketsa model satu banding sepuluh ruangan laboratorium elektronika.....	52
Gambar 4.14 Proyeksi sebaran cahaya lampu pada bidang kerja	53
Gambar 4.15 Sketsa pertama tata letak lampu	53
Gambar 4.16 Sketsa kedua tata letak lampu	54
Gambar 4.17 Sketsa ketiga tata letak lampu	55
Gambar 4.18 Sketsa model dengan membagi meja menjadi sembilan bagian	55
Gambar 4.19 Proyeksi titik A1 dengan lampu 1, proyeksi pada sumbu x,y, dan z (atas) proyeksi pada sumbu x dan y (bawah).....	56
Gambar 4.20 Sketsa model dengan pembagian input sensor posisi sesuai dengan letak meja	57
Gambar 4.21 Sketsa model dengan pengelompokan input sensor posisi	58
Gambar 4.22 Rangkaian listrik dari sistem kontrol	60
Gambar 4.23 Konstruksi kontak sensor posisi pada bagian lapisan tegangan kontak (hitam) dan lapisan input (merah)	60
Gambar 4.24 Algoritma dari pemrograman sistem kontrol.....	62
Gambar 4.25 Hasil dari pembangunan model.....	67

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Dan Grafik Karakterisasi Lampu pada tinggi 0,27 m	76
Lampiran 2. Data Fitting Grafik.....	78
Lampiran 3. Tabel Analisis Komparasi	80
Lampiran 4. Koordinat Meja Dan Lampu.....	82
Lampiran 5. Contoh Analisis Tata Letak Lampu.....	83
Lampiran 6. Kombinasi Lampu	84
Lampiran 7. Foto.....	85
Lampiran 8. Data Efektifitas dan Efisiensi Sistem kontrol.....	86

DAFTAR PUSTAKA

- Abdalaal, R. M., & Ho, C. N. M. (2018). Characterization of commercial LED lamps for power quality studies. *2017 IEEE Electrical Power and Energy Conference, EPEC 2017, 2017-Octob*, 1–6.
<https://doi.org/10.1109/EPEC.2017.8286200>
- Adriano, R. (2019). *The Mapping of Lighting Intensity from the Light Distribution on LED and CFL Lamps*. 6, 429–434.
<https://doi.org/10.1109/ICITISEE48480.2019.9004004>
- Ashdown, I. (1994). Photometry and Radiometry. In *Radiosity - A Programmer's Perspective*. Wiley.
- Badan Standardisasi Nasional. (2001). *Tata cara perancangan sistem pencahayaan buatan pada bangunan gedung*. (hal. 1–32).
- Bai, Y. W., & Ku, Y. Te. (2008). Automatic room light intensity detection and control using a microprocessor and light sensors. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 54(3), 1173–1176.
<https://doi.org/10.1109/TCE.2008.4637603>
- Casals, M., Gangoellis, M., Forcada, N., Macarulla, M., & Giretti, A. (2014). A breakdown of energy consumption in an underground station. *Energy and Buildings*, 78, 89–97. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.04.020>
- Diffey, B. L. (2011). An overview analysis of the time people spend outdoors. *British Journal of Dermatology*, 164(4), 848–854.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2133.2010.10165.x>
- Gaspar, J., Fontul, M., Henriques, E., & Silva, A. (2019). Push button design requirements and relations to button architecture elements. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 70(May 2018), 92–106.
<https://doi.org/10.1016/j.ergon.2019.01.001>
- Goodwin, G. C., Graebe, S. F., & Salgado, M. E. (2007). Control System Design. *IEEE Control Systems*, 27(1), 77–79.
<https://doi.org/10.1109/MCS.2007.284513>
- Ilimbetov, R. Y., Federation, R., Gallyamova, T. R., Federation, R., Shirobokova, T. A., & Federation, R. (2020). *Modeling LED Lighting System for*

Horizontal. 6, 500–504.

- Kalloniatis, M., & Luu, C. (2007). *Principles of Vision*. National Library of Medicine. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK11513/>
- Kozminski, K., Lewis, S., & Mathew, P. (2006). Best practice guide: Efficient electric lighting in laboratories. *Laboratories for the 21st century*, 1–10. http://www.i2sl.org/documents/toolkit/bp_lighting_508.pdf
- Kumar, A., Kuppusamy, V. K., Holuszko, M., Song, S., & Loschiavo, A. (2019). LED lamps waste in Canada: Generation and characterization. *Resources, Conservation and Recycling*, 146(April), 329–336. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.04.006>
- Lewin, I., Ph, D., Farrell, J. O., & Iii, J. E. W. (1997). *ADVANCED TECHNIQUES IN LAMP CHARACTERIZATION 2 . Near-field Photometry Approach*. 3140, 148–157. <https://doi.org/https://doi.org/10.1117/12.284091>
- Loe, D. L. (2009). Energy efficiency in lighting - Considerations and possibilities. *Lighting Research and Technology*, 41(3), 209–218. <https://doi.org/10.1177/1477153509338884>
- Loiselle, R., Butler, J., Brady, G., Walton, M., & Henze, N. (2015). LED Lighting for Oil and Gas Facilities. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 51(2), 1369–1374. <https://doi.org/10.1109/TIA.2014.2365357>
- Matta, S., & Mahmud, S. M. (2010). An intelligent light control system for power saving. *IECON Proceedings (Industrial Electronics Conference)*, 3316–3321. <https://doi.org/10.1109/IECON.2010.5675331>
- Mellander, C., Lobo, J., Stolarick, K., & Matheson, Z. (2015). Night-time light data: A good proxy measure for economic activity? *PLoS ONE*, 10(10), 1–18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0139779>
- Ogata, K. (2010). *Modern Control Engineering*. Pearson.
- Palmer, J. M. (2001). Radiometry and Photometry: Unit and Conversions. In M. Bass, J. M. Enoch, & W. L. Wolfe (Ed.), *HANDBOOK OF OPTICS Volume III Classical Optics, Vision Optics, X-Ray Optics*. McGRAW-HILL.
- Park, H., Burke, J., & Srivastava, M. B. (2007). Design and implementation of a wireless sensor network for intelligent light control. *IPSN 2007: Proceedings*

- of the Sixth International Symposium on Information Processing in Sensor Networks*, 370–379. <https://doi.org/10.1145/1236360.1236407>
- Pinto, R. A., Cosetin, M. R., Silva, M. F., Denardin, G. W., Fraytag, J., Campos, A., & Prado, R. N. (2009). *Compact Emergency Lamp Using Power LEDs*. 3494–3499.
- Pracki, P. (2018). Impact of Direct Lighting Luminaires' Luminous Intensity Distribution on Lighting Quality in Interiors. *7th Lighting Conference of the Visegrad Countries, LUMEN V4 2018 - Proceedings*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/LUMENV.2018.8521023>
- Tipler, P. A. (1998). *Fisika Untuk Teknik dan Sains, Jilid 2 Edisi Ketiga*. Erlangga.
- Virnandani, L. M., Imammuddin, A. M., & Junus, M. (2022). Energy Efficiency Use of Amount of Light in a Room Based on Number of People Using IoT and Image Processing. *Jartel*, 12(3), 138–144. <https://doi.org/10.33795/jartel.v12i3.337>
- Young, H. D., & Freedman, R. A. (2015). *University Physics (14th Edition)*. Pearson.