

PERANCANGAN SISTEM SENSOR LAMPU LED DENGAN KENDALI INTENSITAS CAHAYA OTOMATIS MENGGUNAKAN FUZZY LOGIC CONTROLLER

DESIGN OF LED LAMP SENSOR SYSTEM WITH AUTOMATIC LIGHT INTENSITY CONTROL USING FUZZY LOGIC CONTROLLER

Ramadhan Nugraha¹, Muhammad Zakiyullah Romdlony², Iqbal Al Fayyedh³

^{1,3}Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

²Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

³Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹ramdhan@telkomuniversity.ac.id, ²zakiyullah@telkomuniversity.ac.id,

³alfayyedh@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Sistem pencahayaan mengambil bagian yang dominan dalam sebuah gedung. Namun, penggunaannya tidak efisien karena intensitas cahaya yang diberikan oleh lampu melebihi kebutuhannya dan sering kali lampu tetap menyala saat tidak dibutuhkan. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah membuat sebuah sistem pencahayaan yang dapat mengatur intensitas cahaya secara otomatis untuk menghemat penggunaan energi listrik.

Pada Tugas Akhir ini, dirancang suatu sistem pencahayaan yang dapat mengatur intensitas cahaya dengan menggunakan sensor yang mampu mendeteksi intensitas cahaya dan pergerakan. Metode kendali yang akan digunakan adalah Fuzzy Logic Controller. Sistem pencahayaan akan menyala saat terdapat aktivitas dalam ruangan, kemudian lampu akan menyesuaikan intensitas cahaya dalam ruangan tersebut. Dengan sistem ini, akan dicapai penghematan konsumsi energi listrik minimal sebesar 10%.

Hasil penelitian yang diperoleh dari kondisi intensitas cahaya awal ruangan 0lux, 50lux, 100lux, dan 150lux memiliki persentase error sebesar 0,3%. Lampu berada pada kondisi mati saat intensitas cahaya awal ruangan 174lux hingga 200lux. Pada intensitas cahaya awal ruangan 152lux hingga 172lux dibutuhkan set point yang lebih besar. Penghematan energi yang dapat dihasilkan oleh sistem adalah sebesar 0,1983kWh atau 50,7%.

Kata kunci : intensitas cahaya, penghematan energi, sistem kendali cerdas, pencahayaan adaptif

Abstract

The lighting system takes a dominant part in the building. However, its use is inefficient because the light provided by the lamp exceeds its needs and often the light stays on when it is not needed. It can be done by creating a lighting system that provide appropriate light for saving the use of energy.

In this Final Project, a lighting system is designed to control light intensity by using a device that is able to detect light intensity and movement. Fuzzy Logic Controller is the control method that is used by the system. The lighting system will turn on when there is activity in the room, then the lights will adjust the intensity in the room. With this system, minimum savings in electricity energy consumption will be achieved by 10%.

The research results obtained from the room's initial light intensity of 0lux, 50lux, 100lux, and 150lux have an error percentage of 0.3%. The lamp will be off at the room's initial light intensity of 174lux to 200lux. At the room's initial light intensity of 152lux to 172lux, a greater set point is needed. The energy savings that can be generated by the system is 0.1983kWh or 50.7%.

Keywords: light intensity, energy saving, smart control system, adaptive lighting

1. Pendahuluan

Energi listrik saat ini merupakan kebutuhan yang tidak dapat dipisahkan dari kehidupan. Menurut Laporan Statistik PLN Tahun 2017, jumlah energi listrik yang dijual meningkat sebesar 3,30% dari tahun sebelumnya dimana peningkatan terbesar berada pada kelompok industri yaitu

sebesar 6,01% [14]. Peningkatan ini tentunya berdampak kepada sumber daya listrik yang juga harus ditingkatkan dan menyebabkan bahan bakar fosil terus digerus sehingga menyebabkan pemanasan global [1]. Hal tersebut tidak sejalan dengan Instruksi Presiden tahun 2011 [7]. Oleh karena itu, harus dilakukan penghematan konsumsi daya listrik khususnya pada sistem pencahayaan. Sebab, sistem pencahayaan atau penerangan mengonsumsi kurang lebih 30% dari total energi pada suatu bangunan [11].

Pada penelitian sebelumnya, sistem pencahayaan diberi sensor cahaya yang disambungkan ke mikrokontroler sehingga intensitas cahaya pada ruangan dapat disesuaikan dengan standar intensitas cahaya berdasarkan waktu kerja [5]. Saat intensitas cahaya pada ruangan kurang dari intensitas cahaya yang sudah ditentukan, lampu akan menghasikan cahaya lebih terang, dan sebaliknya saat intensitas cahaya pada ruangan melebihi intensitas cahaya yang sudah ditentukan, lampu akan meredup sehingga intensitas cahaya ruangan akan tetap terjaga. Selain itu sistem ini juga dapat dikontrol melalui perangkat *smartphone* dengan menggunakan metode *Internet of Things (IoT)*. Namun, penelitian tersebut tidak dilengkapi dengan sistem yang dapat mendeteksi pergerakan. Lampu akan tetap menyala selama sistem aktif tanpa melihat apakah terdapat aktivitas atau tidak di dalam ruangan. Sistem ini akan lebih efektif jika memiliki sensor yang dapat mendeteksi pergerakan manusia, sehingga lampu akan mati saat tidak ada orang disekitar ruangan. Pada dua penelitian lain, sistem penelitian pertama dilengkapi dengan sensor intensitas cahaya dan sensor gerak [12] dan sedangkan penelitian kedua [10] menggunakan sensor ultrasonik. Lampu akan menyala saat terdapat pergerakan disekitar *coverage area* dan intensitasnya disesuaikan dengan kebutuhan.

Setiap ruangan pada suatu gedung memiliki standar intensitas cahaya yang berbeda-beda. Menurut [8], standar intensitas cahaya untuk ruangan kerja adalah sebesar 200lux, sedangkan pada ruang penyimpanan adalah sebesar 100lux. Sehingga dibutuhkan suatu sistem yang dapat mengendalikan intensitas cahaya pada ruangan.

Pada penelitian tugas akhir ini akan dirancang sebuah alat yang mampu mengendalikan intensitas cahaya dalam ruangan kerja. Selain dapat memenuhi standar keselamatan kerja, alat ini juga diharapkan dapat menghemat konsumsi daya listrik sebesar 10%.

2. Dasar Teori

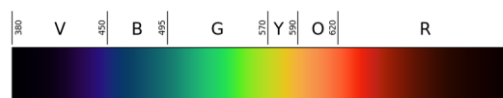
2.1. Penghematan Energi

Penghematan energi merupakan suatu tindakan mengurangi penggunaan energi. Yang dimaksud dengan menghemat energi adalah tidak menggunakan energi untuk suatu hal yang tidak berguna. Penghematan energi dapat dicapai dengan lain mematikan listrik ketika sudah tidak digunakan lagi [17].

Dengan melakukan penghematan energi, diharapkan dapat mengurangi beban dalam segi ekonomi serta sebagai upaya melestarikan sumber daya alam agar generasi mendatang tetap dapat menikmatinya.

2.2. Cahaya

Cahaya didefinisikan sebagai sebuah gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang berkisar antara 380 sampai 750nm [13]. Rentang panjang gelombang tersebut sering juga disebut cahaya tampak, yang merupakan porsi dari spektrum cahaya yang dapat dilihat oleh mata manusia dengan cahaya inframerah yang merupakan cahaya dengan panjang gelombang terbesar dan cahaya ultraviolet dengan panjang gelombang terkecil seperti yang dapat dilihat pada Gambar 1.



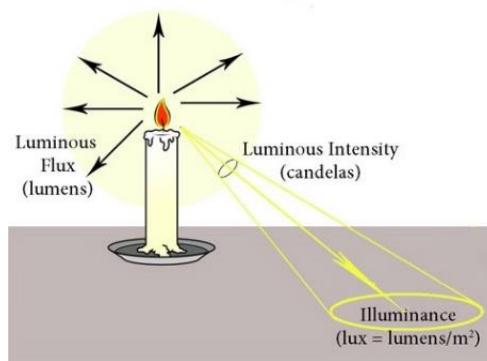
Gambar 1. Spektrum Cahaya

2.2.1. Pengukuran Kekuatan Cahaya

Kekuatan cahaya dapat dihitung dengan tiga cara yang masing-masing menghasilkan nilai dalam satuan lumen, candela, dan lux. Lumen adalah pengukuran kekuatan cahaya berdasarkan total dari jumlah cahaya yang dihasilkan oleh suatu sumber cahaya ke segala arah. Lumen disebut juga flux cahaya.

Candela intensitas cahaya merupakan kekuatan cahaya yang diukur per sudut ruang. Saat cahaya difokuskan ke suatu arah, kekuatan cahaya yang dihasilkan dalam 1 steradian sebaran cahaya tersebut adalah 1 candela. Sehingga dapat dikatakan bahwa 1 candela = 1 lumen/steradian.

Lux ukuran kekuatan cahaya yang diterima oleh sebuah permukaan atau disebut juga dengan iluminasi. Saat kekuatan cahaya sebesar 1 lumen jatuh pada permukaan dengan luas 1 meter persegi, kekuatan cahaya pada permukaan tersebut adalah 1lux. Sehingga dapat dikatakan bahwa 1lux = 1 lumen/m². Ilustrasi ketiga pengukuran tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Ilustrasi Pencahayaan (modifikasi dari [4])

2.2.2. Pengukuran Intensitas Pencahayaan Pada Ruang Kerja

Intensitas pencahayaan pada ruang kerja dibagi menjadi dua kategori, yaitu intensitas pencahayaan setempat dan intensitas pencahayaan umum. Menurut [2], intensitas pencahayaan setempat adalah intensitas pencahayaan untuk memberikan penerangan pada objek kerja, peralatan atau meja. Sedangkan intensitas pencahayaan umum adalah intensitas pencahayaan yang memberikan penerangan pada lingkungan kerja. Persyaratan yang harus dipenuhi untuk melakukan pengukuran antara lain pintu ruangan dalam keadaan sesuai dengan kondisi tempat pekerjaan dilakukan dan lampu ruangan dalam keadaan dinyalakan sesuai dengan kondisi pekerjaan.

2.2.3. Standar Intensitas Pencahayaan

Menurut [8], setiap ruangan pada sebuah gedung memiliki standar intensitas pencahayaan yang berbeda berdasarkan kegiatan yang dilakukan di dalamnya seperti yang dijelaskan pada Tabel 1. Suatu lingkungan kerja dikatakan memenuhi persyaratan tingkat pencahayaan apabila mempunyai perbedaan maksimal 10% dari nilai tingkat pencahayaan yang dipersyaratkan.

Tabel 1. Standar Intensitas Pencahayaan

No.	Jenis Area, Pekerjaan/Aktivitas	Lux	Keterangan
1.	Lorong: tidak ada pekerja	20	Tingkat pencahayaan pada permukaan lantai
2.	a. Pintu masuk b. Ruang istirahat	100	
3.	Area sirkulasi dan koridor	100	Jika terdapat kendaraan pada area ini maka tingkat pencahayaan minimal 150lux
4.	<i>Elevator, lift</i>	100	Tingkat pencahayaan depan lift minimal 200lux
5.	Ruang Penyimpanan	100	Jika ruangan digunakan bekerja terus menerus maka tingkat pencahayaan minimal 200lux
6.	Area bongkar muat	150	
7.	Tangga, <i>escalator</i> , <i>travolator</i>	150	Diperlukan kontras pada anak tangga
8.	Lorong: ada pekerja	150	Tingkat pencahayaan pada permukaan lantai
9.	a. Rak penyimpanan b. Ruang tunggu c. Ruang kerja umum, ruang <i>switch gear</i> d. Kantin	200	

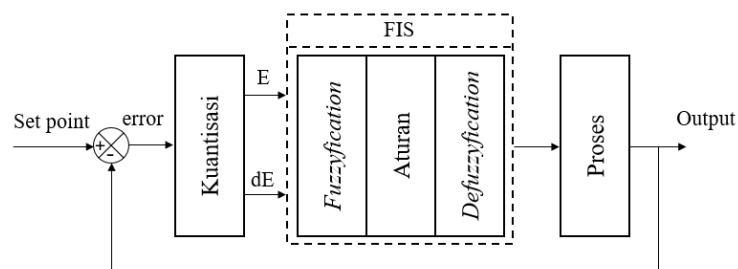
	e. <i>Pantry</i>		
10.	Ruang ganti, kamar mandi, toilet	200	Ketentuan ini berlaku pada masing-masing toilet dalam kondisi tertutup
11.	a. Ruang aktivitas fisik (olah raga) b. Area penanganan pengiriman kemasan	300	
12.	a. Ruang P3K b. Ruang untuk memberikan perawatan medis c. Ruang <i>switchboard</i>	500	

2.3. Logika Fuzzy

Logika *fuzzy* atau *fuzzy logic* merupakan sebuah metode pengambilan keputusan yang berdasar pada teori himpunan *fuzzy*. Teori himpunan *fuzzy* merupakan perluasan dari teori himpunan tegas yang ditemukan oleh Prof. Lotfi A. Zadeh pada tahun 1965 [15]. Teori himpunan *fuzzy* memungkinkan suatu himpunan merepresentasikan nilai sesuai dengan kecerdasan manusia seperti agak keras atau sedikit cepat. Berlawanan dengan himpunan tegas yang hanya merepresentasikan nilai *boolean* 1 dan 0, seperti panas-dingin, cepat-lambat, dan sebagainya. Dalam teori himpunan *fuzzy*, hal terpenting adalah fungsi keanggotaan (*membership function*) atau biasa disingkat MF. MF akan menentukan keberadaan elemen dari suatu himpunan *fuzzy*.

Pada tahun 1974, Ebrahim Mamdani mengaplikasikan teori *fuzzy* ini pada bidang kendali yang dikenal dengan Sistem Kendali *Fuzzy* atau FLC (*Fuzzy Logic Controller*) [4]. Sistem kendali *fuzzy* bekerja berdasarkan himpunan *fuzzy* dan operasi himpunan *fuzzy*. Himpunan *fuzzy* merepresentasikan nilai linguistik suatu variabel, misalkan variabel suhu dinyatakan dengan nilai linguistik panas, sejuk, dan dingin. Terdapat tiga proses yang akan dilakukan dalam pengambilan keputusan menggunakan sistem kendali *fuzzy* antara lain *fuzzyfication*, *inference*, dan *defuzzyfication* [6].

Struktur pengendalian logika *fuzzy* dapat dilihat pada Gambar II-3. Struktur tersebut memiliki dua sinyal yang akan diolah, yaitu sinyal kesalahan (E) dan sinyal perubahan kesalahan (dE). Sinyal E didapatkan melalui pengurangan nilai keluaran terhadap nilai *setpoint* (SP), sedangkan sinyal dE didapatkan melalui pengurangan sinyal E saat ini dengan nilai sinyal E sebelumnya. Kedua sinyal tersebut akan diolah oleh pengendali dan akan menghasilkan nilai keluaran tunggal.



Gambar 3. Struktur Logika Fuzzy (modifikasi dari [15])

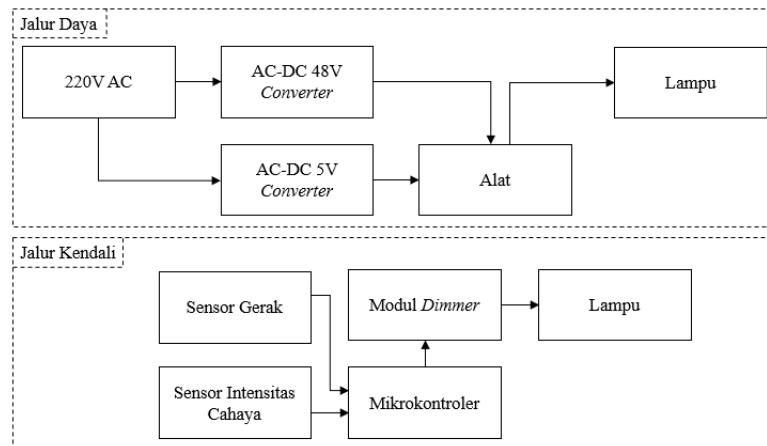
2.4. Smart Lighting

Smart lighting merupakan sebuah konsep pengendalian sistem pencahayaan yang mampu memenuhi kebutuhan serta kenyamanan penggunaannya [18]. Jika pada sistem pencahayaan konvensional pengguna harus memilih perangkat berdasarkan tingkat kecerahannya, *smart lighting* menawarkan sistem pencahayaan yang tingkat kecerahannya dapat disesuaikan baik menggunakan bantuan manusia atau pun secara otomatis. Ini juga berlaku pada sistem penghematan energi dimana sistem penerangan dapat secara otomatis mati pada saat cahaya di suatu lingkungan sudah tercukupi atau tidak ada aktivitas manusia di suatu lingkungan. *Smart lighting* menggunakan bantuan dari sensor-sensor yang dapat membaca kondisi suatu lingkungan yang kemudian akan diproses menggunakan algoritma tertentu untuk menghasilkan keluaran yang sesuai dengan kebutuhan.

3. Pembahasan

3.1. Diagram Blok

Sistem secara keseluruhan direpresentasikan dengan diagram blok yang dapat dilihat pada Gambar 4.

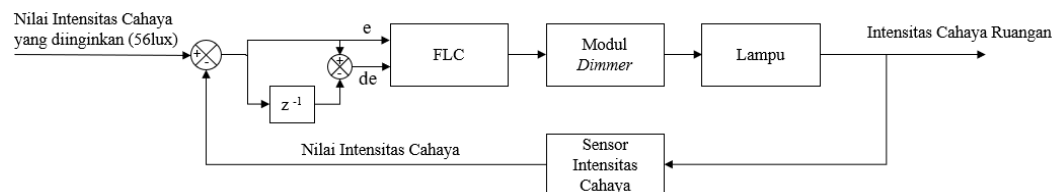


Gambar 4. Diagram Blok Sistem

Sistem menggunakan sumber listrik AC 220V. Tegangan AC 220V diturunkan menjadi 48V dan 5V secara terpisah dengan menggunakan 48V AC-DC Converter dan 5V AC-DC Converter. Tegangan DC 48V digunakan sebagai sumber tegangan lampu melalui modul *dimmer*, sedangkan tegangan DC 5V digunakan sebagai sumber tegangan mikrokontroler.

Mikrokontroler terhubung dengan dua perangkat masukan yaitu sensor intensitas cahaya dan sensor gerak. Sensor intensitas cahaya tersebut akan secara terus menerus memberikan nilai intensitas cahaya yang akan digunakan untuk menghitung nilai *error* pada mikrokontroler, sementara sensor gerak akan memberikan sinyal saat terdapat pergerakan sehingga lampu akan diaktifkan.

Sinyal masukan pada metode FLC berupa nilai *error* intensitas cahaya dan *delta error* intensitas cahaya. Nilai *error* merupakan ukuran seberapa besarnya perbedaan antara intensitas cahaya yang terbaca dengan intensitas cahaya pada *set point*. Sementara itu, *delta error* merupakan selisih antara *error* intensitas cahaya saat ini dengan *error* intensitas cahaya sebelumnya. Kedua nilai tersebut akan diproses oleh mikrokontroler menggunakan metode FLC. Keluaran dari FLC menjadi nilai PWM (*Pulse Width Modulation*) yang menjadi masukan pada modul *dimmer* untuk mengendalikan tegangan yang masuk ke lampu. Diagram blok pada Gambar 5 dapat merepresentasikan pengendalian intensitas cahaya lampu menggunakan metode FLC.

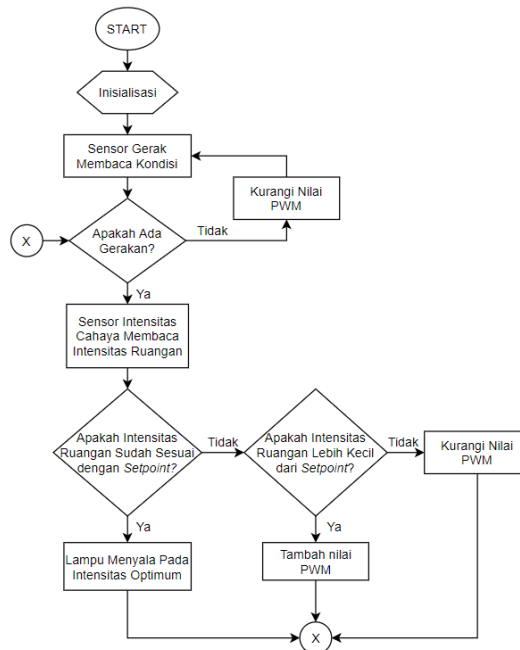


Gambar 5. Diagram Blok Pengendalian FLC

3.2. Flowchart

Alur kerja sistem dapat dilihat pada Gambar 6. Hal pertama yang akan dilakukan adalah membaca ada atau tidaknya aktivitas di ruangan melalui sensor gerak. Jika sensor mendeteksi ada aktivitas, maka sensor intensitas cahaya akan aktif dan mulai membaca nilai intensitas cahaya. Kemudian, nilai intensitas cahaya yang terbaca akan dibandingkan dengan nilai *set point* yang telah ditentukan. Jika intensitas cahaya yang terbaca kurang dari *set point*, mikrokontroler akan terus memberikan nilai keluaran positif sehingga intensitas cahaya lampu akan terus meningkat. Namun, jika intensitas cahaya yang terbaca lebih besar dari *set point*, mikrokontroler terus akan memberikan nilai keluaran negatif, sehingga intensitas cahaya lampu akan terus berkurang. Kedua kondisi

tersebut akan berhenti saat nilai *error* sama dengan nol. Pada saat nilai *error* sama dengan nol, mikrokontroler akan memberikan nilai keluaran nol.



Gambar 6. Diagram Alir Sistem

3.3. Penentuan Set Point

Penentuan *set point* diperlukan untuk mengetahui nilai intensitas cahaya yang cocok digunakan sebagai *set point* pada metode FLC yang setara dengan nilai 200lux (10% *error*) pada luxmeter. Pengujian ini dilakukan dengan cara membandingkan nilai intensitas cahaya di titik jatuh cahaya terhadap nilai intensitas cahaya yang terbaca oleh sensor intensitas cahaya yang berada di plafon.

Tabel 2. Data-data Pengujian Berdasarkan Intensitas Awal Ruangan

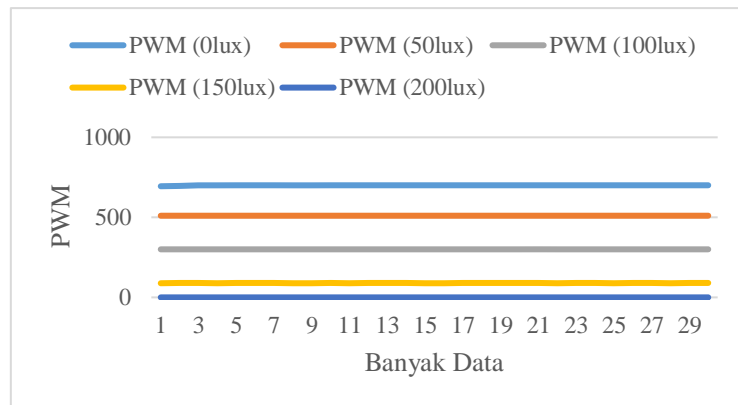
Intensitas Awal Ruangan (lux)	Intensitas luxmeter (lux)	Intensitas Sensor (lux)	Keterangan
0	180	46	Minimum
	206	53	Disarankan
	220	56	Maksimum
50	180	49	Minimum
	205	55	Disarankan
	218	59	Maksimum
100	180	53	Minimum
	205	59	Disarankan
	217	62	Maksimum
150	181	55	Minimum
	205	61	Disarankan
	217	65	Maksimum
200	-	-	Minimum
	200	64	Disarankan
	220	69	Maksimum

Dari data di atas, intensitas pada sensor yang memungkinkan untuk dijadikan *set point* adalah 56lux, karena nilai 56lux dapat memenuhi persyaratan intensitas cahaya. Namun, nilai 56lux pada kondisi intensitas awal ruangan 150lux sudah mendekati batas minimum. Oleh karena itu, akan dilakukan pengujian pada intensitas awal ruangan di antara 151lux hingga 200lux untuk melihat

apakah sistem masih mampu mengendalikan intensitas cahaya ruangan pada rentang tersebut. Pengujian tersebut akan dilakukan pada pengujian performa sistem.

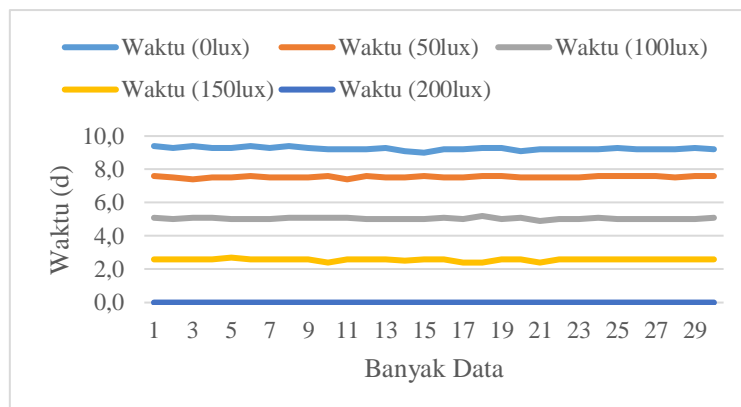
3.4. Hasil Pengujian Performa Keseluruhan Sistem

Pengujian dilakukan pada kondisi intensitas awal ruangan 0lux, 50lux, 100lux, 150lux, dan 200lux. Pada intensitas awal ruangan 0lux, 50lux, 100lux, dan 150lux persentase error sistem bernilai 0,3%.



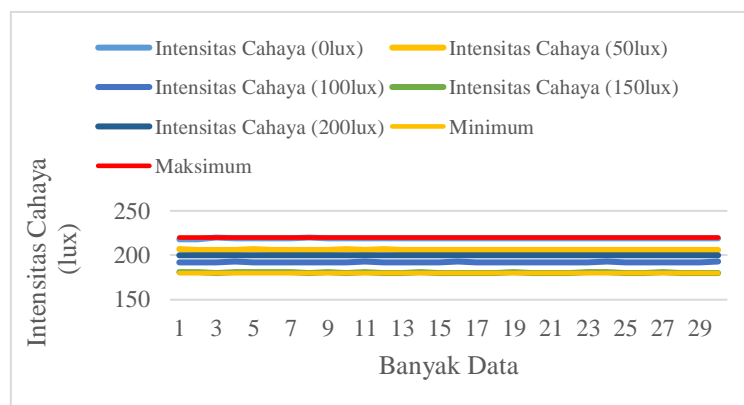
Gambar 7. Grafik PWM Keseluruhan Sistem

Dari grafik yang dapat dilihat pada Gambar 7, semakin besar intensitas cahaya awal ruangan, PWM yang dibutuhkan oleh sistem akan semakin kecil. Ini terjadi karena dengan intensitas awal ruangan yang cukup besar, sistem tidak perlu menyalakan lampu dengan intensitas yang besar tetapi hanya perlu memenuhi kekurangan intensitas cahaya pada ruangan.



Gambar 8. Grafik Waktu Keseluruhan Sistem

Dari grafik yang dapat dilihat pada Gambar 8, semakin besar intensitas cahaya awal ruangan, waktu yang dibutuhkan oleh sistem akan semakin kecil. Ini terjadi karena, dengan kondisi intensitas



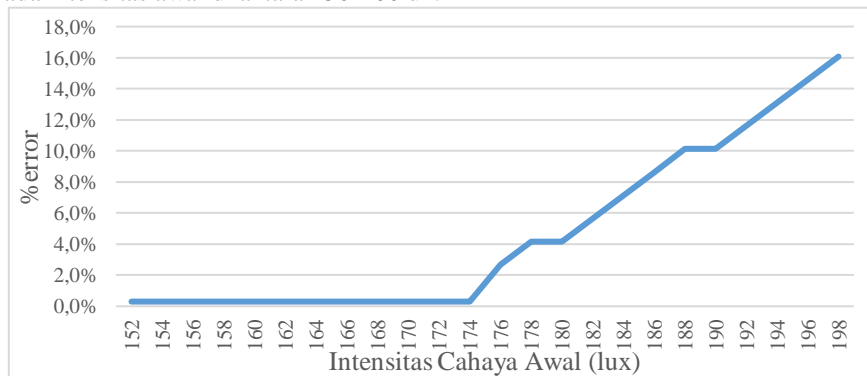
cahaya awal yang cukup besar, nilai PWM yang dibutuhkan lebih kecil, sehingga waktu yang dibutuhkan sistem untuk mencapai nilai tersebut juga lebih cepat.

Gambar 9. Grafik Intensitas Cahaya Keseluruhan Sistem

Dari grafik yang dapat dilihat pada Gambar 9, semakin besar intensitas cahaya awal ruangan, intensitas cahaya yang dihasilkan sistem akan semakin kecil. Ini terjadi karena semakin besar intensitas cahaya awal ruangan, nilai *set point* yang dibutuhkan pada sistem juga semakin membesar. Sehingga dengan menggunakan nilai *set point* yang telah ditentukan sebelumnya (56lux), intensitas cahaya yang dapat dihasilkan oleh sistem akan menurun. Namun ada pengecualian pada intensitas awal 200lux, karena pada intensitas awal tersebut lampu pada sistem dalam keadaan mati dan intensitas cahaya yang terbaca hanya berasal dari sumber cahaya lain.

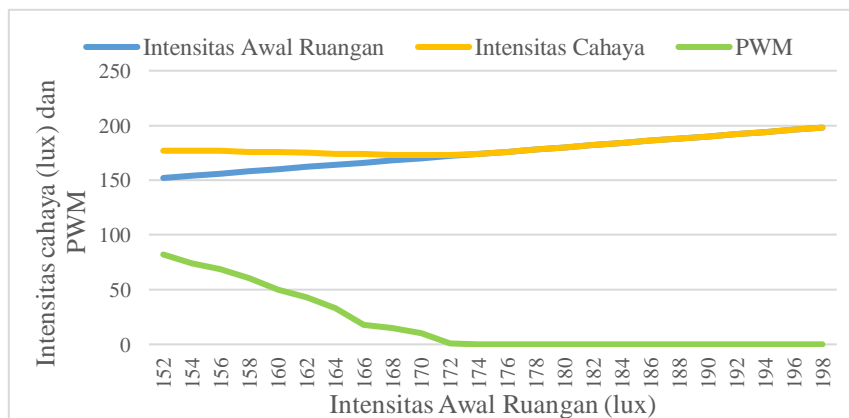
3.5. Hasil Pengujian Performa Sistem Pada Intensitas Awal Ruangan 152-198lux

Pengujian ini perlu dilakukan karena pada intensitas awal ruangan 150lux, nilai *set point* sudah mencapai batas minimum. Oleh karena itu perlu dilakukan pengujian untuk mengetahui performa sistem pada intensitas awal di antara 150-200lux.



Gambar 10. Grafik %error Performa Sistem (152-198lux)

Dari grafik yang dapat dilihat pada gambar 4.20, terlihat bahwa persentase error sistem membesar mulai dari intensitas cahaya awal 176lux hingga 198lux. Ini terjadi karena pada intensitas cahaya awal 176lux, lampu pada sistem sudah dalam keadaan mati. Sehingga, saat intensitas cahaya awal semakin membesar, sistem hanya membaca intensitas cahaya yang berasal dari sumber cahaya lain tanpa ada pengendalian.



Gambar 11. Grafik Performa Keseluruhan Sistem (152-198lux)

Gambar 11 menunjukkan grafik performa keseluruhan sistem yang berisi data intensitas cahaya, intensitas cahaya awal ruangan, dan nilai PWM. Terlihat bahwa performa sistem menurun pada intensitas awal ruangan 152lux hingga 198lux. Performa sistem menurun dimulai pada intensitas awal ruangan 152lux hingga 172lux. Pada intensitas awal 174lux, lampu pada sistem akan mati, sehingga intensitas yang terbaca hanyalah intensitas cahaya yang berasal dari sumber cahaya lain. Namun, pada intensitas awal 174lux, intensitas cahaya yang terbaca kembali meningkat dan mencapai syarat minimum intensitas cahaya pada kondisi intensitas awal ruangan 180lux.

3.6. Pengujian Penggunaan Daya Listrik

Tabel 3. Hasil Pengujian Konsumsi Daya Listrik

Nama Variasi	Konsumsi Daya (kWh)		error (kWh)	% error
	Durasi 300 menit	Durasi 7 hari		
Variasi 1	0,0494	0,0489	0,0005	1,02
Variasi 2	0,0260	0,0263	0,0003	1,14
Variasi 3	0,0274	0,0273	0,0001	0,37

Tabel 4 menunjukkan perbandingan konsumsi daya listrik per jam untuk 3 variasi. Dari data tersebut, didapatkan perbedaan hasil konsumsi daya listrik dengan persentase *error* sebesar 1,02% untuk variasi 1, 1,14% untuk variasi 2, dan 0,37% untuk variasi 3. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa pengujian konsumsi daya listrik dengan durasi 300 menit dan 7 hari memiliki *error* yang kecil, sehingga dapat digunakan untuk menghitung konsumsi daya listrik di ruang kerja dalam 1 hari kerja.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Konsumsi Pada Jam Kerja

Nama Variasi	Konsumsi Daya (kWh)		
	7 jam kerja	1 jam istirahat	Total
Variasi 1	0,3423	0,0489	0,3912
Variasi 2	0,1841	0,0263	0,2104
Variasi 3	0,1911	0,0018	0,1929

Tabel 4 menunjukkan hasil perhitungan konsumsi daya listrik dalam 1 hari kerja. Hasil yang diperoleh, variasi 1 mengonsumsi daya listrik sebesar 0,3912kWh, variasi 2 mengonsumsi daya listrik sebesar 0,2104kWh, dan variasi 3 mengonsumsi daya listrik sebesar 0,1929kWh. Dengan membandingkan konsumsi daya listrik pada variasi 2 dan variasi 3 terhadap variasi 1, variasi 2 dapat menghemat konsumsi daya listrik sebesar 0,1808kWh atau 46,22%, sedangkan variasi 3 dapat menghemat konsumsi daya listrik sebesar 0,1983kWh atau 50,7%.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis, kesimpulan pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut.

1. FLC yang dirancang pada sistem pencahayaan adaptif dapat bekerja dengan baik dalam mengendalikan intensitas cahaya. Rata-rata persentase *error* yang terjadi adalah sebesar 0,3% pada kondisi intensitas cahaya awal ruangan 0lux hingga 150lux. Sementara persentase *error* pada intensitas awal ruangan 200lux adalah 16,1%. Ini terjadi karena pada intensitas awal ruangan 200lux lampu sudah dalam keadaan mati sehingga intensitas cahaya yang terbaca hanya berasal dari sumber cahaya lain.
2. Sistem pencahayaan adaptif dapat mempertahankan intensitas cahaya dalam ruang kerja pada kondisi intensitas awal ruangan 0lux, 50lux, 100lux, 150lux, dan 200lux masing-masing 219lux, 206lux, 192lux, 180lux, dan 200lux.
3. Performa sistem kurang efektif pada intensitas awal ruangan 152lux hingga 172lux. Pada intensitas awal ruangan tersebut, dibutuhkan *set point* yang lebih besar dari *set point* yang sebelumnya.
4. Rata-rata waktu yang dibutuhkan sistem untuk mencapai intensitas cahaya optimum pada kondisi intensitas awal ruangan 0lux, 50lux, 100lux, 150lux, dan 200lux masing-masing 9,2 detik, 7,54 detik, 5,04 detik, 2,57 detik, dan 0 detik.
5. Rata-rata PWM yang diperlukan sistem untuk mencapai intensitas cahaya optimum pada kondisi intensitas cahaya awal ruangan 0lux, 50lux, 100lux, 150lux, dan 200lux masing-masing 699,62, 510,17, 300,20, 90,24, dan 0.

6. Jumlah konsumsi daya listrik yang dapat dihemat oleh sistem pencahayaan adaptif ini adalah sebesar 0,1983kWh atau 50,7% dibandingkan dengan pencahayaan tanpa menggunakan sistem adaptif.

Daftar Pustaka:

- [1] A. Natrawijaya, "Hemat Energi adalah Energi untuk Kehidupan Lebih Baik," 2018. <https://www.kompasiana.com/andrynatawijaya/5b5eeb52677ffb05905b4a4a/hemat-energi-adalah-energi-untuk-kehidupan-lebih-baik> (accessed Jun. 02, 2020).
- [2] Badan Standardisasi Nasional, "Pengukuran Intensitas Penerangan di Tempat Kerja", 2004.
- [3] "Candela Vs Lumen." <http://www.aquaticparasitologylab.org/candela-vs-lumen> (accessed Nov. 19, 2019).
- [4] D. A. R. Wati, *Sistem Kendali Cerdas Fuzzy Logic Controller (FLC), Jaringan Syaraf Tiruan (JST), Algoritma Genetik (AG), dan Algoritma Particle Swarm Optimization (PSO)*, 1st ed. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2011.
- [5] F. S. Putranta, Y. G. Bisono, and I. R. Munadi, "Perancangan Dan Analisa Smart Lighting Berbasis Wireless Sensor Network Untuk Meningkatkan Kenyamanan Aktivitas Di Dalam Rumah Analisis and Design Smart Lighting Based on Wireless Sensor Network To Improve Comfort of Activity At Home," vol. 4, no. 3, pp. 3430–3437, 2017.
- [6] G. Turesna, Z. Zulkarnain, and H. Hermawan, "Pengendali Intensitas Lampu Ruangan Berbasis Arduino UNO Menggunakan Metode Fuzzy Logic," *J. Otomasi Kontrol dan Instrumentasi*, vol. 7, no. 2, p. 73, 2017, doi: 10.5614/joki.2015.7.2.2.
- [7] "Instruksi Presiden Republik Indonesia Nomor 13 Tahun 2011 Tentang Penghematan Energi dan Air," 2011.
- [8] Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, "Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 70 Tahun 2016 Tentang Standar dan Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Industri," 2017.
- [9] "Light." https://en.wikipedia.org/wiki/Light#cite_note-1 (accessed Nov. 19, 2019).
- [10] M. F. W and Sutono, "Smart Lighting LED," *Pros. Semin. Nas. Komput. dan Inform. 2017*, vol. 2017, pp. 697–723, 2017.
- [11] N. Amin, "Optimasi Sistem Pencahayaan Dengan Memanfaatkan Cahaya Alami (Studi Kasus Lab. Elektronika Dan Mikroprosesor Untad)," *J. Ilm. Foristek*, vol. 1, no. 1, pp. 43–50, 2011.
- [12] R. L. Nurbed, R. Munadi, and R. Mayasari, "PROTOTYPE SMART STREET LIGHTING DI WIRELESS SENSOR NETWORK (Prototype Smart Street Lighting in Wireless Sensor Network)," pp. 1–9.
- [13] R. M. Fusaro, "Sunlight sensitivity.," *Minn. Med.*, vol. 51, no. 7, pp. 957–958, 1968, doi: 10.1111/j.1365-2133.1969.tb14005.x.
- [14] Sekretariat Perusahaan PT PLN (Persero), "Statistik PLN 2017," p. 104, 2018.
- [15] S. Kusumadewi and H. Purnomo, *Aplikasi Logika Fuzzy Untuk Pendukung Keputusan*, 2nd ed. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2010.
- [16] S. Kuswadi, *Kendali Cerdas, Teori dan Aplikasinya*, 1st ed. Yogyakarta: Andi, 2007.
- [17] Tim Komunikasi Kementerian ESDM and T. K. P. Kemkominfo, "Hemat Energi 'Potong 10%' Dorong Kesadaran Pemanfaatan Energi Bertanggung Jawab," 2017. https://kominfo.go.id/index.php/content/detail/9680/hemat-energi-potong-10-dorong-kesadaran-pemanfaatan-energi-bertanggung-jawab/0/artikel_gpr (accessed Nov. 16, 2019).
- [18] Y. C. Wang and W. T. Chen, "An automatic and adaptive light control system by integrating wireless sensors and brain-computer interface," *Proc. 2017 IEEE Int. Conf. Appl. Syst. Innov. Appl. Syst. Innov. Mod. Technol. ICASI 2017*, pp. 1399–1402, 2017, doi: 10.1109/ICASI.2017.7988169.