

PENGEMBANGAN KONTROL PENCAHAYAAN TERPUSAT DENGAN LOGIKA FUZZY UNTUK MENUNJANG KEBUTUHAN EFISIENSI ENERGI RUMAH PINTAR

CENTRAL LIGHTING CONTROL DEVELOPMENT BASED ON FUZZY LOGIC FOR SUPPORTING ENERGY EFFICIENCY SMART HOME

Dewa Buana Muharmadin¹, Reza Fauzi Iskandar, S.Pd., M.T.², Dr. Eng. Asep Suhendi, S.Si., M.Si.³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

dewabuanam@gmail.com¹, rezafauzii@gmail.com², as.suhendi@gmail.com³

Abstrak

Era globalisasi menjadi alasan utama pengembangan Rumah Pintar yang sangat pesat. Permintaan akan rumah yang nyaman menjadi prioritas utama, selain nyaman dibutuhkan pula rumah yang efisien dalam penggunaan energi. Terkadang kita lupa mematikan lampu hal ini salah satu penyebab konsumsi energi yang terbuang percuma. Karena itu Rumah Pintar muncul sebagai solusi untuk masalah efisiensi tersebut. Pada perancangan Rumah Pintar dilakukan pengukuran dua parameter data yaitu pembacaan tingkat cahaya menggunakan *Light Dependent Resistor (LDR)* dan pembacaan tingkat daya menggunakan watt meter. Tingkat pencahayaan ruangan akan dikontrol menggunakan kontrol logika fuzzy di set poin 120 lux dan watt meter sebagai alat penunjang dalam pembacaan efisiensi energi dan tingkat pencahayaan yang dihasilkan. Pada rancangan ini sensor cahaya diletakkan di bidang kerja atau 0.75 meter dari lantai di empat titik ruangan. wattmeter diletakkan di dekat sumber tegangan sebagai pengukur daya lampu. Dan kontrol aktuasi serta pengolahan data dilakukan oleh koordinator atau otak sistem ini. Untuk memudahkan mobilitas komunikasi data digunakan zigbee nirkabel sebagai perantara. Pada percobaan dilakukan karakterisasi tiap sensor cahaya. Dilakukan pengukuran daya tiap waktu dari sistem saat tidak menggunakan kontrol logika fuzzy dan saat menggunakan kontrol logika fuzzy. Dari percobaan yang dilakukan saat menggunakan kontrol logika fuzzy dihasilkan efisiensi sebesar 7.75% dibandingkan ketika tidak menggunakan kontrol logika fuzzy dan dihasilkan efisiensi sebesar 15.56% dibandingkan ketika kondisi lampu menyala penuh.

Kata Kunci: Rumah Pintar, kontrol logika fuzzy, pencahayaan, efisiensi.

Abstract

The era of globalization became the main reason in the development of Smart Home. Demand for comfortable homes is a top priority, besides being convenient, home is also an efficient use of energy. Sometimes we forget to turn off the light this is one cause of energy consumption is wasted. Smart Home therefore emerged as a solution to the efficiency problem. In the design of Smart Home, the measurement of two data parameters is the reading of the light level using *Light Dependent Resistor (LDR)* and also the wattmeter which in turn the room lighting level will be controlled using the fuzzy control at 120 lux and watt meter set points as supporting tools in reading energy efficiency and the level of illumination produced. In this design the light sensor is placed in the work plane or 0.75 meters from the floor at the four-point room. The wattmeter is placed near a voltage source as a lamp power meter. And actuation control and data processing is done by coordinator or brain of this system. To facilitate data communication mobility is used wireless zigbee as an intermediary. In the experiments conducted characterization of each light sensor, the measurement of data transfer delay using a wireless zigbee which shows that the system does not process data in real-time but has a delay of 868 ms. Performed power measurements every time from the system when not using fuzzy controls and while using fuzzy controls. From the experiments performed while using the fuzzy control it generated an efficiency of 7.75% compared to when not using the fuzzy control and generated an efficiency of 15.56% compared to when room at full lights.

Keywords: Smart Home, fuzzy control, illumination, efficiency.

1. Pendahuluan

Era globalisasi menjadi alasan utama pengembangan Rumah pintar yang sangat pesat. Saat ini segala sesuatu harus serba cepat, instan dan mudah. Permintaan akan rumah yang nyaman menjadi prioritas utama, selain nyaman dibutuhkan pula rumah yang efisien dalam penggunaan energi. Terkadang kita lupa mematikan lampu hal ini salah satu penyebab konsumsi energi terbuang percuma. Karena itu Rumah pintar muncul sebagai solusi untuk masalah efisiensi tersebut.

Topik besar proyek ini merupakan pengontrolan lampu di ruang tamu. Ruang tamu dipilih karena banyak aktivitas yang terjadi di sana dan merupakan tempat yang cocok untuk penempatan banyak lampu dalam satu ruangan. Ruang tamu yang digunakan merupakan contoh atau prototipe untuk mewakili ruang tamu sebenarnya.

Sistem Rumah Pintar yang akan dibuat ialah dengan pembacaan data parameter menggunakan dua macam sensor yaitu : sensor intensitas cahaya dan pembacaan data daya lampu sebagai parameter penunjang dalam pengukuran efisiensi energi. Tiap macam sensor akan dilengkapi satu data akuisisi dengan informasi yang akan disampaikan ke kontrol menggunakan jaringan zigbee nirkabel. Penggunaan koneksi nirkabel bertujuan untuk memudahkan dalam mobilitas penggunaannya [1]. Zigbee memiliki kelebihan berupa daya yang kecil, harga yang relatif murah, dan merupakan standar *wireless mesh networking*. *Wireless mesh networking* merupakan topologi di mana setiap titik tidak hanya menerima atau mengirim data satu titik saja, namun dapat difungsikan sebagai relay untuk titik yang lain. Hal itu yang membuat zigbee adaptif terhadap perubahan topologi jaringan [2].

Pada penelitian sebelumnya dilakukan kontrol ruangan dengan parameter acuan berupa sensor *Light Dependent Resistor* (LDR) dengan menggunakan aktuasi manual yang dikontrol menggunakan aplikasi dan terhubung melalui *bluetooth*. Dari penelitian tersebut diperoleh bahwa hasil pencahayaan yang dihasilkan masih belum sesuai dengan standar penerangan dan respon yang cepat membuat sistem masih belum stabil [3]. Dari saran penelitian sebelumnya, untuk menambah kontrol agar membuat sistem lebih stabil dan sesuai dengan standar penerangan dan titik lux yang diinginkan maka dalam pengolahan data di kontrol pusat menggunakan logika fuzzy. Dipertimbangkan tiga jenis kontrol yang digunakan yaitu: kontrol konvensional, kontrol berdasarkan sistem pakar (*expert sistem*) dan kontrol berdasarkan logika fuzzy. Kontrol logika fuzzy dipilih karena konsep kontrol logika fuzzy yang sederhana di mana konsep tersebut mempunyai kemampuan penalaran yang mirip dengan kemampuan penalaran manusia yang dapat mewakili masalah-masalah yang sulit di definisikan dengan model matematis. Kontrol logika fuzzy yang fleksibel dapat membangun dan mengaplikasikan sistem pakar dan dapat bekerja sama dengan teknik konvensional [4].

Kontrol logika fuzzy terpusat menjadi fokus untuk menunjang kebutuhan efisiensi energi Rumah pintar menggunakan koneksi *nirkabel* untuk menghubungkan sensor dan aktuator, serta membuat skema protokol komunikasi nirkabel berupa Zigbee. Kontrol pusat yang dibuat menggunakan logika fuzzy sebagai kontrol untuk memproses tiga masukan sebagai variabel yang menentukan keluaran dari sistem yaitu intensitas cahaya, aktuasi lampu dan set poin. Dari sistem pengontrol lampu otomatis dilakukan pengukuran energi yang digunakan menggunakan pembacaan data daya lampu yang disimpan di perekam data energi, serta dilakukan pengukuran efisiensi penggunaan energi.

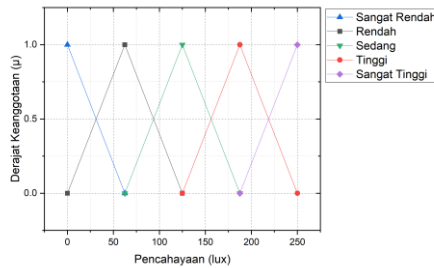
2. Dasar Teori

2.1. Fuzzy Sistem

Seiring kita masuk ke era informasi, pentingnya pengetahuan manusia dan teori untuk merumuskan secara sistematis dan membuat sistem rekayasa bersamaan dengan informasi lain seperti model matematis dan pengukuran sensorik [5]. Kontrol logika fuzzy menyajikan cara yang mudah sebagai komunikasi antara bahasa manusia dan komputer yang memudahkan dalam merumuskan dan membuat sistem tersebut, hal ini yang mendasari dalam menggunakan kontrol logika fuzzy.

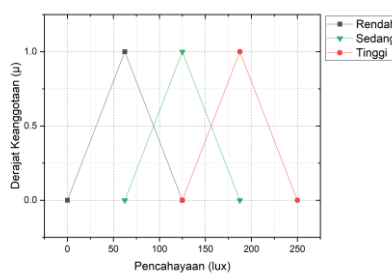
2.2. Fuzzifikasi

Variabel masukan untuk pembacaan empat sensor berupa rata-rata intensitas pencahayaan pada ruangan simulasi dengan fungsi keanggotaan (*membership function*) yang terdiri dari lima keanggotaan yaitu : sangat tinggi (ST), tinggi (T), sedang (S), rendah (R), dan sangat rendah (SR) ditunjukkan pada Gambar 2.. Gambar 3.9 merupakan masukan dari terbaca empat sensor cahaya yang nantinya dirata-rata.



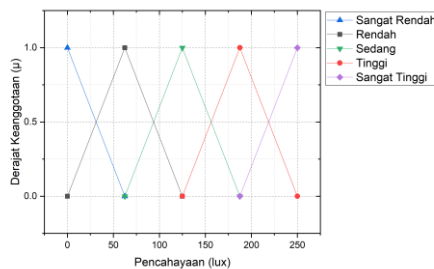
Gambar 2.1 Fungsi keanggotaan masukan lux

Variabel masukan untuk pembacaan hasil aktuasi dengan fungsi keanggotaan (*membership function*) yang terdiri dari tiga keanggotaan yaitu : tinggi (T), sedang (S), rendah (R) ditunjukkan pada Gambar 2.. Gambar 3.10 merupakan masukan berupa aktuasi lampu dalam satuan lux.



Gambar 2.2 Fungsi keanggotaan aktuasi lampu

Variabel masukan untuk set poin dengan fungsi keanggotaan (*membership function*) yang terdiri dari lima keanggotaan yaitu : sangat tinggi (ST), tinggi (T), sedang (S), rendah (R), dan sangat rendah (SR) ditunjukkan pada Gambar 2..



Gambar 2.3 Fungsi keanggotaan set poin.

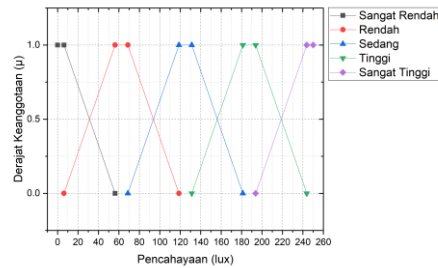
2.3. Fungsi Implikasi

Aturan dasar berupa implikasi-implikasi *fuzzy* yang memiliki dan menyatakan relasi antar variabel masukan dan keluaran. Pada metode Mamdani fungsi implikasi menggunakan nilai minimum.

$$\alpha_{ij} = \min(\mu_i[x], \mu_j[y])$$

Jika $\mu_i[x]$ dan $\mu_j[y]$ merupakan variabel masukan maka α_{ij} adalah jumlah aturan ditentukan oleh banyaknya nilai linguistik untuk tiap variabel masukan [6].

Variabel keluaran dari sistem ini yaitu berupa nyala lampu dengan satuan lux yang memiliki enam keanggotaan yaitu : sangat tinggi (ST), tinggi (T), sedang (S), rendah (R), dan sangat rendah (SR) ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Fungsi keanggotaan keluaran aktuasi lampu

2.4. Komposisi Aturan

Inferensi diperoleh dari kumpulan dan korelasi antara aturan. Ada 3 metode yang digunakan dalam melakukan inferensi sistem *fuzzy*, yaitu : metode maksimum, additive(sum) dan metode probabilistik. Pada alat ini digunakan metode maksimum dimana himpunan *fuzzy* diperoleh dengan cara melakukan penjumlahan terhadap semua output daerah *fuzzy*.

2.5. Defuzzifikasi

Defuzzifikasi merupakan proses penegasan suatu himpunan *fuzzy* yang diperoleh dari komposisi aturan. Output yang ditampilkan adalah bilangan real. Metode defuzzifikasi pada aturan Mamdani. Penelitian ini menggunakan metode defuzzifikasi yaitu metode *Centroid* dengan rumus:

$$Z = \frac{\int_z z \mu_z dz}{\int_z \mu_z dz} \text{ (untuk variabel kontinu)} \quad (1)$$

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n z \mu_z(z_i)}{\sum_{i=1}^n \mu_z(z_i)} \text{ (untuk variabel diskrit)} \quad (2)$$

2.6. Zigbee

Untuk membuat komunikasi berjalan di suatu penyampaian informasi dibutuhkan protokol. Komputer memerlukan bahasa agar bisa berkomunikasi satu dengan lainnya, Bahasa ini juga dapat disebut sebagai protokol. Zigbee Alliance mengembangkan IEEE 802.15.4 yaitu Zigbee [7].

Jaringan Zigbee harus memiliki setidaknya satu alat koordinator dan minimal satu perangkat yang difungsikan sebagai router atau perangkat akhir (*end device*). Koordinator berfungsi untuk membangun suatu jaringan, mengirimkan *flag*, mengatur node dan menyimpan informasi titik jaringan. Memori yang cukup besar diperlukan di koordinator untuk menangani konfigurasi jaringan. Router berfungsi sebagai penerus data dari router dan *end device*. *End device* hanya bisa mengirim data dan bergabung di jaringan, pada perangkat ini terdapat fungsi sleep untuk menghemat energi. Pengalamatan pada zigbee dapat menggunakan pengalamatan Personal Area Network (PAN) untuk jaringan pribadi dengan jarak yang pengalamatan 16 bit [7].

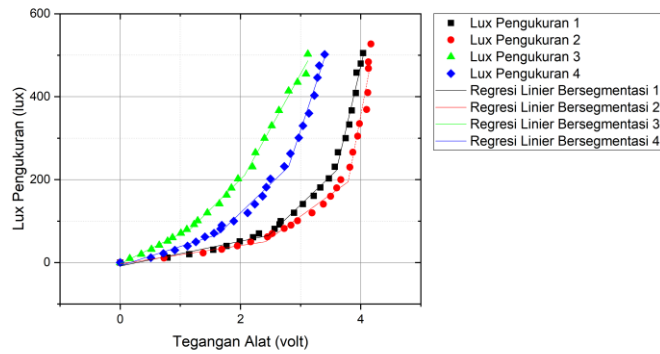
Alat yang digunakan yaitu xbee yang fungsinya akan diatur oleh perangkat lunak X-CTU sebagai koordinator, router, ataupun *end device* [7].

3. Pembahasan

3.1. Karakterisasi Nilai Sensor LDR (Light Dependent Resistor)

Karakterisasi nilai sensor cahaya LDR (Light Dependent Resistor) menjadi penentu akurasi dari alat ini. Karakterisasi dilakukan menggunakan alat ukur lux Lutron LM-8000A. LDR merupakan komponen yang memiliki resistansi yang berubah terhadap intensitas cahaya. Variasi resistansi dengan mengubah intensitas cahaya [10].

Berikut hasil karakterisasi sensor LDR :



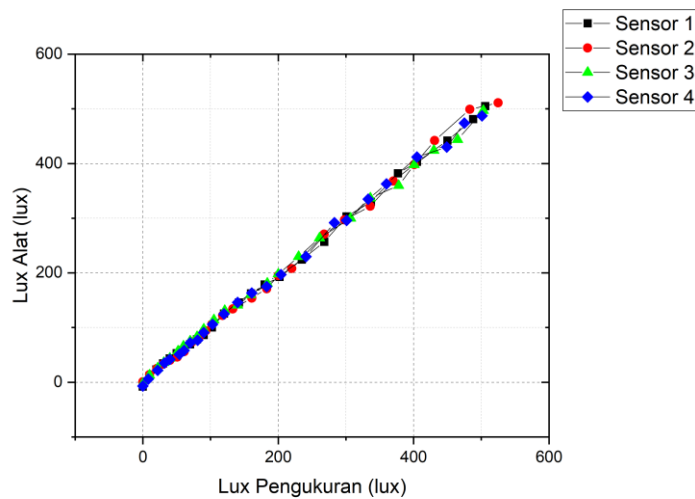
Gambar 3.1 Karakterisasi sensor LDR

Hasil karakterisasi dengan pendekatan linier menggunakan segmentasi dari Gambar 3. dengan penentuan titik segmentasi menggunakan aplikasi Origin Lab adalah sebagai berikut :

Tabel 3.1 Hasil karakterisasi dengan pendekatan eksponensial.

Sensor	Titik Segmentasi	Persamaan Linier	Ketelitian
Sensor 1	$x \leq (2.469 \text{ v})$	$y = (-8.395)+29.920*x$	99.418%
	$(2.469 \text{ v}) < x \leq (3.593 \text{ v})$	$y = (-277.934)+139.052*x$	
	$x > (3.593 \text{ v})$	$y = (-1998.91)+618.024*x$	
Sensor 2	$x \leq (2.415 \text{ v})$	$y = -3.32414+22.215*x$	98.127%
	$(2.415 \text{ v}) < x \leq (3.790 \text{ v})$	$y = -203.557+105.109*x$	
	$x > (3.790 \text{ v})$	$y = -2685.320+759.909*x$	
Sensor 3	$x \leq (1.178 \text{ v})$	$y = -2.920 + 72.029*x$	99.675%
	$(1.178 \text{ v}) < x \leq (2.067 \text{ v})$	$y = -88.224+144.426*x$	
	$x > (2.067 \text{ v})$	$y = -331.763+262.239*x$	
Sensor 4	$x \leq (1.625 \text{ v})$	$y = -7.735+46.580*x$	99.39%
	$(1.625 \text{ v}) < x \leq (2.799 \text{ v})$	$y = -157*765+138.894*x$	
	$x > (2.799 \text{ v})$	$y = -998.367+439.164*x$	

Dari data di atas diperoleh persamaan karakterisasi untuk tiap sensor yang berguna untuk perhitungan lux tiap sensor.



Gambar 3.2 Nilai lux alat penelitian terhadap lux meter.

Tabel 3.2 Nilai kemiringan dan galat nilai lux alat penelitian terhadap lux meter.

Sensor	Nilai Kemiringan	Galat
Sensor 1	0.999	0.1%
Sensor 2	0.997	0.3%
Sensor 3	0.998	0.2%
Sensor 4	0.998	0.2%

Gambar 3. merupakan perbandingan nilai lux alat penelitian terhadap lux meter di mana nilai kemiringan yang di tampilkan di Tabel 3. mendekati 1 dan sensor dapat dikatakan linier.

3.2. Intensitas Cahaya untuk Tiap Kondisi Aktuasi

Sebagai aktuator, lampu juga dilakukan pengukuran untuk mengetahui lux yang dihasilkan tiap lampu dengan tujuan menyesuaikan nilai aktuasi kontrol logika fuzzy. Berikut hasil pengukuran lux dari tiap nyala lampu :

Tabel 3.2 Intensitas Cahaya untuk Tiap Kondisi Aktuasi

Kemungkinan Aktuasi	Jumlah Lampu			
	1 unit	2 unit	3 unit	4 unit
Kemungkinan 1	25.31 lux	50.01 lux	91.41 lux	121.49 lux
Kemungkinan 2	28.18 lux	52.94 lux	88.33 lux	-
Kemungkinan 3	25.71 lux	51.17 lux	92.25 lux	-
Kemungkinan 4	23.71 lux	55.45 lux	92.86 lux	-
Kemungkinan 5	-	51.19 lux	-	-
Kemungkinan 6	-	53.8 lux	-	-

Tabel 3.3 Kondisi Lampu yang Menyala di Tiap Kemungkinan Aktuasi

Kemungkinan Aktuasi	Intensitas Lampu			
	1 unit	2 unit	3 unit	4 unit
Kemungkinan 1	Lampu 1	Lampu 1 dan 2	Lampu 1,2 dan 3	Semua Lampu
Kemungkinan 2	Lampu 2	Lampu 1 dan 3	Lampu 1,2 dan 4	-
Kemungkinan 3	Lampu 3	Lampu 1 dan 4	Lampu 1,3 dan 4	-
Kemungkinan 4	Lampu 4	Lampu 2 dan 3	Lampu 2,3 dan 4	-
Kemungkinan 5	-	Lampu 2 dan 4	-	-
Kemungkinan 6	-	Lampu 3 dan 4	-	-

Tabel 3.2 menunjukkan lux yang terbaca pada tiap kemungkinan nyala lampu di tiap kuantitas lampu dan Tabel 3.3 menunjukkan lampu mana saja yang menyala di tiap kemungkinan tersebut. Contoh pada banyak lampu 2 memiliki 6 kemungkinan skenario sisi lampu yang menyala, pada kemungkinan 1 nilai lux terbaca sebesar 50.01 lux dengan kondisi lampu 1 dan 2 yang menyala.

3.3. Karakterisasi Waktu Komunikasi Data Zigbee

Dalam sistem ini pengolahan data tidak sama dengan waktu sesungguhnya dikarenakan adanya waktu tunda pengiriman dan penerimaan data tiap titik, waktu tunda pemrosesan data, dan waktu tunda tambahan pencuplikan data. Berikut data waktu tunda dari pemrosesan data ,pengiriman dan penerimaan data tiap titik dan waktu tunda keseluruhan data:

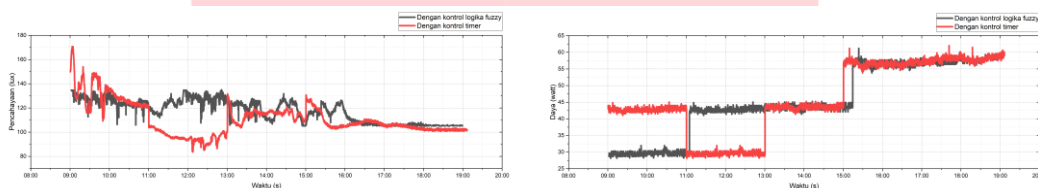
Tabel 3.4 Data waktu tunda sistem.

Bagian Sistem	Proses Data	Transfer Data	Waktu tunda Sistem
Koordinator	329ms	40ms	5s
Akuisisi sensor cahaya	20ms	21ms	0s
Akuisisi sensor daya	425m	33ms	0s

Tabel di atas menunjukkan waktu yang dibutuhkan diproses data pada koordinator yang berupa proses perhitungan fuzzy dan perintah aktuasi sebesar 329 ms. Pada proses data di akuisisi data sensor cahaya dan akuisisi sensor daya dengan waktu proses sebesar 20 ms dan 425 ms. Untuk transfer data yang ditunjukkan tabel 4.3 pada koordinator menunjukkan waktu yang dibutuhkan untuk mengirim dan menerima data perintah aktuasi sebesar 40 ms. Untuk akuisisi sensor cahaya menunjukkan waktu yang dibutuhkan untuk mengirim dan menerima data sensor cahaya yang sebesar 40 ms. Untuk akuisisi sensor cahaya menunjukkan waktu yang dibutuhkan untuk mengirim dan menerima data sensor daya yang sebesar 33 ms. Untuk waktu tunda 5 detik dikoordinator ditambahkan agar pencuplikan data dilakukan tiap 5 detik.

3.4. Menghitung Nilai Efisiensi Energi

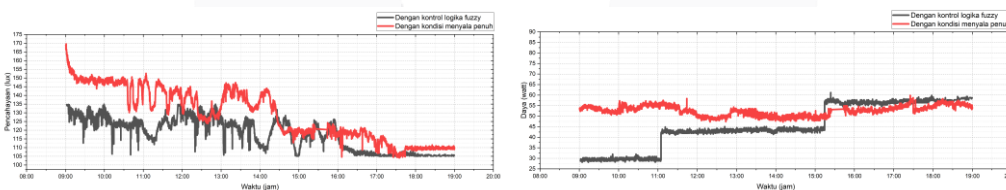
Berikut data perbandingan energi saat sistem menggunakan dan tidak menggunakan kontrol fuzzy.



Gambar 3.3 Hasil pengukuran daya dan lux di set poin 120 lux.

Dari gambar diatas diketahui bahwa ketika menggunakan kontrol fuzzy pada set poin 120 lux galat yang tidak memenuhi dari sistem sebesar ±14.97 lux dan hasil daya terukur rata-rata selama 10 jam yaitu 43.04 watt/h dan daya total sebesar 430.46 watt/h. Sedangkan ketika tidak menggunakan kontrol fuzzy hasil galat yang tidak memenuhi set poin dari sistem sebesar 36.42 lux dan daya terukur rata-rata selama 10 jam yaitu 46.66 watt/h dan daya total sebesar 466.64 watt/h.

Efisiensi daya ketika menggunakan kontrol fuzzy yaitu 7.75 % lebih baik dibandingkan saat tidak menggunakan kontrol fuzzy.



Gambar 3.4 Hasil pengukuran lux dan daya di set poin 120 lux dan saat lampu menyala penuh.

Dari Gambar 3.4 diketahui bahwa ketika menggunakan kontrol fuzzy pada set poin 120 hasil daya terukur rata-rata selama 10 jam yaitu 43.04 watt/h dan daya total sebesar 430.46 watt/h. Sedangkan ketika kondisi lampu menyala penuh daya terukur rata-rata selama 10 jam yaitu 50.98 watt/h dan daya total sebesar 509.82 watt/h.

Efisiensi daya ketika menggunakan kontrol fuzzy yaitu 15.56 % lebih baik dibandingkan saat kondisi lampu menyala penuh.

3.5. Tingkat Akurasi

Dari hasil pengukuran error maksimal dari data yang diambil sebesar 15 lux dengan kemampuan kontrol maksimum di 120 ± 15 lux.

$$\begin{aligned}
 \text{Persentase Error} &= \frac{\text{Absolute Error}}{\text{Kemampuan Terukur}} \quad (3) \\
 &= \frac{14.97}{120}
 \end{aligned}$$

$$= 0.124$$

$$= 12.408\%$$

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa:

1. Dari protokol zigbee nirkabel yang digunakan, komunikasi menggunakan mode API dengan topologi mesh dengan karakteristik waktu transfer data di titik akuisisi data sensor cahaya sebesar 21ms dan akuisisi data daya sebesar 33ms yang mengirim informasi ke kontrol pusat dan dilakukan perintah aktuasi berdasarkan logika fuzzy dan diteruskan mengirim perintah ke aktuator dari kontrol dengan waktu transfer sebesar 40ms.
2. Dalam membuat algoritma pengontrolan cahaya berdasarkan kontrol logika fuzzy yang mampu beradaptasi dengan kebutuhan pengguna maka dilakukan penentuan set poin sesuai dengan keinginan pengguna. Pembuatan algoritma pengontrol cahaya berdasarkan kontrol logika fuzzy berhasil dibuat dan ketika sistem menggunakan kontrol logika fuzzy akan menghasilkan persentase error lux ruangan terukur sebesar 12.408%.
3. Efisiensi daya ketika menggunakan kontrol logika fuzzy di set poin 120 yaitu 7.75 % lebih baik dibandingkan saat menggunakan timer. Efisiensi daya ketika menggunakan kontrol logika fuzzy yaitu 15.56 % lebih baik dibandingkan saat kondisi lampu menyala penuh.

5. Saran

Saran penulis untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Mengganti aktuasi lampu dari diskrit menjadi kontinu atau menambah jumlah lampu dengan keluaran maksimal yang disesuaikan dengan ruang tamu sebesar 120 lux.
2. Menambahkan variabel baru sebagai acuan dalam kontrol logika fuzzy.

6. Referensi

- [1] N. Kaur dan S. Monga, "Comparisons Of Wired And Wireless Networks: A Review," Technical Journal Online.com, Jalandhar.
- [2] A. Kanwar dan A. Khazanchi, "ZigBee: The New Bluetooth Technology," *International Journal Of Engineering And Computer Science*, vol. 1, no. 2, pp. 67-74, 2012.
- [3] M. D. P. d. F. D.Kambey, "Sistem Pengaturan Pencahayaan Ruang Berbasis Android Pada Rumah Pintar," Universitas Sam Ratulangi, Manado, 2016.
- [4] A. G. Salman, "Pemodelan Dasar Sistem Fuzzy," 2 Maret 2012. [Online]. Available: www.socs.binus.ac.id/2012/03/02/pemodelan-dasar-sistem-fuzzy. [Diakses 2 Oktober 2017].
- [5] L.-X. Wang, *A Course in Fuzzy Systems and Control*, Hong Kong: Prentice-Hall International, Inc, 1997.
- [6] I. Purwanto, *Studi Pengukuran Kemiripan Rantai DNA Virus H5N1 Berbasis Himpunan Fuzzy*. Skripsi, Depok: Universitas Indonesia, 2009.
- [7] E. Dadios, *Fuzzy Logic - Controls, Concepts, Theories and Applications*, Shanghai: InTech, 2012.
- [8] K. Joni, R. Hidayat dan S. Sumaryono, "Pengujian Protokol Ieee 802.15.4 / Zigbee Di Lingkungan Outdoor," Seminar Nasional Informatika 2012, Yogyakarta, 2012.
- [9] dannellyz, "AT vs API (What, Why, How)," 15 Februari 2015. [Online]. Available: <https://os.mbed.com/users/dannellyz/notebook/at-vs-api-when-why-how/>. [Diakses 18 Desember 2017].
- [10] "API frame structure," DIGI, [Online]. Available: <https://www.digi.com>. [Diakses 17 Desember 2017].
- [11] R. Faludi, "Building Wireless Sensor Networks, 1st Edition," O'reilly, California, 2010.

- [12] E. Editors, "Linking Smart Meters to the Grid with Wireless Technology," 1 Maret 2012. [Online]. Available: <https://www.digikey.fi/en/articles/techzone/2012/mar/linking-smart-meters-to-the-grid-with-wireless-technology>. [Diakses 20 November 2017].
- [13] B. S. N. BSN, Tata Cara Perancangan Sistem Pencahayaan Buatan Pada Bangunan Gedung (SNI 03-6575-2001).
- [14] Kitronik, "How an LDR (Light Dependent Resistor) Works," Electronic Education and Hobby Project Kits, Tool and Resource, [Online]. Available: <https://www.kitronik.co.uk/blog/how-an-ldr-light-dependent-resistor-works/>. [Diakses 24 July 2018].
- [15] G. Demiris dan B. K. Hensel, "Technologies for an Aging Society: A Systematic Review of "Smart Home" Applications," Biomedical and Health Informatics, University of Washington, Seattle, WA, USA, Seattle, 2008.
- [16] S. Solaimani, W. Keijzer-Broers dan H. Bouwman, "What We Do – and Don't – Know About the Smart Home: an Analysis of the Smart Home Literature," Indoor and Built Environment, 2013.
- [17] "Mengenal Sistem pentanahan atau Grounding," Kelistrikan, 1 May 2016. [Online]. Available: <https://www.kelistrikan.com/2016/05/sistem-pentanahan.html>. [Diakses 15 December 2017].
- [18] "XBee S2 Quick Reference Guide/Cheat Sheet and Video Tutorials to Getting Started," TunnelsUP, 30 November 2012. [Online]. Available: <https://www.tunnelsup.com/xbec-guide/>. [Diakses 19 Desember 2017].

