

Sistem Kontrol Cahaya dan Udara pada Ruang Kelas (*Smart Class*) untuk Mendukung UI *GreenMetric*

Adhitya Yunianto¹, Muhammad Taruna Pramudhita², Firdaus³, Tito Yuwono⁴

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Elektro, Universitas Islam Indonesia
Yogyakarta, Indonesia

¹20524052@students.uui.ac.id

²20524068@students.uui.ac.id

³firdaus@uui.ac.id

⁴tito.yuwono@uui.ac.id

Dikirim pada 20-11-2024, direvisi pada 25-11-2024, diterima pada 02-12-2024

Abstrak

Masalah polusi udara menjadi salah satu perhatian penting di Indonesia. Universitas dapat berkontribusi mengurangi polusi dengan penerapan kebijakan terkait *green campus*. Hal ini didukung oleh inisiatif UI *GreenMetric* untuk mendorong praktik berkelanjutan di kampus. Untuk mendukung implementasi kebijakan pembangunan kampus berkelanjutan, diusulkan sistem *smart class* berbasis *internet of things* (IoT) yang dapat *memonitoring* dan mengontrol kualitas udara, temperatur, kelembaban, intensitas cahaya, dan konsumsi daya di ruangan kelas secara otomatis. Kualitas udara diukur dengan kadar CO dan partikel, kualitas cahaya diukur intensitasnya dalam satuan lux, temperatur dalam derajat *Celsius*, dan kelembaban dalam persen. Kelebihan sistem usulan ini adalah mampu mengintegrasikan semua parameter aspek kualitas ruangan dalam satu sistem. Sistem telah diimplementasikan dan semua fungsi telah bekerja dengan baik, *error* yang dihasilkan juga sudah di bawah batas ketentuan, sehingga sistem bisa dijalankan untuk mendukung penilaian UI *GreenMetric*.

Kata Kunci: UI *greenmetrics*, kualitas udara, kualitas cahaya, IoT, daya

Ini adalah artikel akses terbuka di bawah lisensi [CC BY-SA](#).



Penulis Koresponden:

Firdaus

Jurusan Teknik Elektro Universitas Islam Indonesia

Jalan Kaliurang Km 14,5 DIY, Indonesia Email: firdaus@uui.ac.id

I. PENDAHULUAN

Kadar polusi kota-kota besar di dunia makin memprihatinkan. Saat ini kota Jakarta menempati peringkat kedua kualitas udara paling terdampak polusi dengan kategori “*Unhealthy for sensitive groups*”. Universitas merupakan salah satu sektor yang dapat membantu mengurangi polusi dengan cara mewujudkan *green campus*. Hal tersebut dikarenakan universitas memiliki kesamaan dengan perkotaan dalam hal terdapatnya unsur-unsur seperti jalan, transportasi, pengelolaan limbah, listrik serta ruang terbuka hijau [1].

UI *GreenMetric* merupakan inisiatif yang pertama kali diperkenalkan oleh Universitas Indonesia pada tahun 2010. Program ini sebagai respons terhadap kebutuhan global dalam mengatasi isu-isu lingkungan dan mendorong praktik-praktik berkelanjutan. UI *GreenMetric World University* merupakan sebuah pemeringkatan *Green Campus* dan kelestarian lingkungan dengan penilaian sebanyak 39 indikator dalam 6 kriteria yaitu lokasi dan transportasi, manajemen energi dan perubahan iklim, pengelolaan limbah, air, keanekaragaman hayati dan lanskap, infrastruktur hijau dan ruang terbuka [2].

Penelitian ini berfokus pada kriteria indoor environment dan lighting [2]. Kualitas udara dan cahaya menjadi parameter yang penting dalam penilaian tingkat kesehatan dan kebersihan suatu area. Penghematan daya melalui sistem otomatis juga menjadi fokus penelitian ini. Pada saat ini daya listrik yang terpakai di ruang kelas di banyak universitas sangat besar, salah satu faktor penyebabnya ialah lampu dan AC yang masih menyala ketika sudah tidak ada lagi kegiatan belajar mengajar. Sebelumnya tidak dilakukan pemantauan *real-time* terhadap kualitas udara dan cahaya, kontrol juga masih dilakukan secara manual. Oleh karena itu, diusulkan penghematan daya dengan menggunakan sistem otomatis di setiap ruangan. Standar kualitas cahaya pada ruang kelas adalah antara 300 - 500 lux, *temperature* 24 - 26 derajat *celcius*, kelembaban 40 - 60% dan kualitas udara memiliki kadar CO di bawah 25 ppm.

Pada penelitian sebelumnya [3-8] telah dirancang pemantauan dan kontrol pada udara dan cahaya secara terpisah, juga sistem penghitung jumlah orang dan kendali AC secara terpisah. Pada penelitian ini akan dilakukan integrasi sistem. Sistem yang diusulkan dirancang untuk bisa melakukan *monitoring* temperatur ruangan, kelembaban ruangan, kadar CO (*Carbon Monoxide*), intensitas cahaya, total daya yang sedang digunakan, jumlah orang didalam ruangan dan melakukan kontrol pada AC (*Air Conditioner*) agar temperatur ruangan tetap terjaga serta menghemat penggunaan energi. Sistem ini *memonitoring* data secara akurat dan real time, memiliki sistem penyimpanan serta kontrol yang otomatis.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bagian ini akan dibahas beberapa penjelasan dasar yang berhubungan dengan penelitian ini, yaitu kualitas udara, kualitas cahaya, dan penghematan daya yang menjadi obyek penelitian ini. Dibahas juga terkait dengan teknologi yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *internet of things* (IoT) dan *web server*.

A. Temperatur / Suhu

Temperatur / suhu adalah salah satu parameter lingkungan yang memiliki pengaruh yang sangat besar pada kenyamanan dan fungsi organisme hidup. Ini berlaku baik untuk manusia maupun organisme lainnya. Suhu yang terlalu rendah atau terlalu tinggi dapat mempengaruhi kesehatan dan kinerja. Pada manusia, suhu tubuh yang stabil adalah penting untuk menjaga fungsi organ dan proses metabolisme yang optimal. Suhu yang ekstrem atau fluktuatif dapat mengakibatkan stres termal, penyakit terkait suhu, dan bahkan kematian. Oleh karena itu, pengaturan suhu dan pemantauan suhu adalah aspek penting dalam menjaga kesehatan manusia dan organisme lainnya terutama kualitas suhu pada suatu ruangan [9].

Suhu dalam ruangan kelas memiliki dampak signifikan pada produktivitas dan kenyamanan penghuni kelas, termasuk mahasiswa dan dosen. Suhu yang optimal dapat menciptakan lingkungan belajar yang lebih kondusif, sementara suhu yang tidak sesuai dapat mengganggu konsentrasi dan kinerja. Suhu ruangan kelas yang optimal adalah sekitar 24 hingga 27 derajat *Celcius* [10].

B. Kualitas Udara

Kualitas udara dalam ruangan kelas memiliki dampak yang signifikan pada kesehatan dan kenyamanan penghuni kelas, baik siswa maupun pengajar. Kualitas udara yang baik dalam ruangan kelas mencakup beberapa aspek kunci, seperti partikulat udara, kadar karbon monoksida (CO), kelembaban relatif, dan kontrol polusi udara dalam ruangan [11]. Standar kualitas udara dalam ruangan kelas sering kali mencakup parameter seperti kadar partikulat udara (PM2.5), yang mengacu pada partikel-partikel kecil yang bisa terhirup oleh manusia.

Standar umum adalah bahwa tingkat PM2.5 dalam ruangan tidak boleh melebihi 35 mikrogram per meter kubik ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) untuk memastikan udara yang bersih dan aman. Selain itu, pengukuran dan pemantauan kadar CO juga krusial, dengan standar umum yang mengharuskan tingkat CO di bawah 25 parts per million (ppm) untuk memastikan ventilasi yang memadai [12].

Kelembaban relatif dalam ruangan juga merupakan faktor penting. Standar kualitas udara sering menyarankan bahwa kelembaban relatif optimal berada dalam kisaran 40-60%. Kelembaban dalam kisaran ini membantu mencegah masalah pernapasan dan kenyamanan yang berhubungan dengan udara kering atau terlalu lembab [9].

C. Kualitas (Intensitas) Cahaya

Intensitas cahaya adalah salah satu aspek kualitas cahaya yang memiliki dampak besar. Ruangan kelas yang memiliki intensitas cahaya yang cukup dapat meningkatkan konsentrasi siswa dan membantu

mengurangi kelelahan mata. Standar umum untuk intensitas cahaya dalam ruangan kelas adalah sekitar 300 hingga 500 lux, meskipun beberapa situasi khusus atau preferensi individu dapat mengharuskan penyesuaian [13]. Selain intensitas cahaya, suhu warna cahaya juga mempengaruhi suasana dan produktivitas dalam ruangan kelas. Suhu warna yang ideal untuk ruangan kelas biasanya berkisar antara 2700 hingga 3000 Kelvin, menciptakan suasana yang hangat dan nyaman. Cahaya dengan suhu warna yang lebih tinggi, seperti 4000 hingga 5000 Kelvin, mungkin lebih cocok untuk situasi di mana diperlukan tingkat kecerahan yang lebih tinggi.

D. *Konsumsi Daya*

Konsumsi daya dalam ruangan kelas adalah aspek penting yang perlu dipertimbangkan dalam merancang dan mengelola lingkungan belajar yang efisien dan juga untuk sistem *Smart Class*. Konsumsi daya yang tidak terkendali tidak hanya berdampak pada aspek finansial, tetapi juga pada lingkungan dan keberlanjutan. Oleh karena itu, upaya untuk mengoptimalkan konsumsi daya dalam ruangan kelas memiliki dampak positif yang signifikan. Salah satu komponen utama konsumsi daya dalam ruangan kelas adalah pencahayaan. Sistem pencahayaan yang efisien, seperti lampu LED yang hemat energi, dapat membantu mengurangi konsumsi daya secara signifikan. Pilihan perangkat pencahayaan yang cerdas, yang dapat diatur sesuai dengan kebutuhan dan waktu, juga merupakan faktor penting dalam penghematan energi [14].

Selain itu, sistem pengaturan suhu dan ventilasi, seperti AC, juga berkontribusi pada konsumsi daya ruangan kelas. Penggunaan peralatan yang hemat energi dan sistem otomasi yang dapat mengatur suhu sesuai kebutuhan dapat membantu mengurangi konsumsi energi. Konsumsi daya ruangan kelas dapat dihitung dengan menggunakan beberapa persamaan yang melibatkan faktor-faktor seperti daya listrik perangkat, waktu penggunaan, dan faktor koreksi yang sesuai [15].

Dengan menggunakan tarif listrik yang berlaku, biaya energi yang dikeluarkan oleh perangkat di ruangan kelas selama periode waktu tertentu bisa dihitung. Pemantauan dan pengukuran konsumsi daya adalah langkah awal yang penting dalam mengidentifikasi area-area yang membutuhkan perbaikan. Selain itu, mendidik penghuni kelas, baik siswa maupun pengajar, tentang praktik-praktik yang hemat energi dapat membantu meningkatkan kesadaran dan penggunaan energi yang lebih bijak. Dengan mengoptimalkan konsumsi daya dalam ruangan kelas, institusi pendidikan dapat mengurangi biaya operasional, mengurangi jejak karbon, dan mendukung keberlanjutan. Selain manfaat ekonomi, pengelolaan energi yang efisien juga dapat menciptakan lingkungan belajar yang lebih nyaman dan produktif.

E. *Penghematan Daya*

Energi listrik merupakan salah satu elemen yang sangat penting dalam industri, perkantoran, universitas dan masih banyak lagi. AC adalah salah satu peralatan yang banyak mengkonsumsi energi listrik dan di lingkungan universitas hampir semua ruangan menggunakan AC. Hal ini merupakan suatu pemborosan energi. Oleh karena itu, diperlukan cara agar penggunaan AC dapat optimal tetapi tidak mengkonsumsi energi listrik yang besar [16].

Penghematan daya pada penggunaan AC di FTI UII dibangun atas strategi yang terukur dan efisien, dengan fokus pada penurunan serta peningkatan suhu secara bertahap. Langkah pertama dalam pendekatan ini adalah menurunkan suhu secara bertahap saat AC pertama kali diaktifkan. Dengan melibatkan penyesuaian yang progresif, sistem dapat menghindari lonjakan konsumsi energi yang signifikan yang sering terjadi saat AC diatur pada suhu rendah secara instan. Hal ini tidak hanya membantu mengurangi tekanan pada peralatan pendingin ruangan, tetapi juga memberikan kontribusi nyata terhadap penghematan energi secara keseluruhan [17].

Selanjutnya, setelah suhu mencapai tingkat yang dianggap nyaman, penerapan kontrol otomatis memungkinkan sistem untuk menjaga keseimbangan suhu tersebut tanpa harus terus-menerus menjalankan AC pada pengaturan tertinggi. Dengan demikian, langkah-langkah ini mengoptimalkan kinerja AC, menekan konsumsi daya, dan merespons dinamika kebutuhan ruangan secara cerdas [17]. Dengan langkah-langkah ini, FTI UII mengukuhkan komitmennya terhadap prinsip-prinsip UI *GreenMetric*. Penghematan daya pada penggunaan AC bukan hanya strategi efisien dalam mengelola sumber daya, tetapi juga merupakan langkah positif menuju peran perguruan tinggi yang berkelanjutan dan bertanggung jawab terhadap lingkungan.

F. IoT (Internet of Things)

IoT adalah revolusi *digital* yang memungkinkan berbagai perangkat fisik terhubung ke *internet* dan berinteraksi satu sama lain. Konsep dasar IoT melibatkan memberikan kemampuan kepada perangkat, mulai dari *sensor* kecil hingga kendaraan dan peralatan industri, untuk terhubung ke internet, mengumpulkan data, dan berkomunikasi dengan perangkat lain. Dengan menghubungkan perangkat ini, IoT memberikan kemampuan untuk mengambil data secara real-time, memberikan kontrol jarak jauh, dan mengoptimalkan operasional di berbagai sektor seperti pertanian, industri, rumah pintar, dan kesehatan. IoT memungkinkan pemantauan yang lebih baik, memungkinkan analisis data yang lebih cerdas, dan memberikan manfaat signifikan dalam hal efisiensi.

Meskipun IoT membawa banyak manfaat, terdapat tantangan yang perlu diatasi. Salah satu tantangan utama adalah keamanan dan privasi data. Dengan semakin banyak perangkat yang terhubung ke internet, terdapat potensi risiko serangan siber, dan privasi pengguna harus dilindungi secara cermat. Oleh karena itu, pengembangan solusi keamanan dan regulasi yang ketat sangat penting dalam ekosistem IoT.

Pertumbuhan IoT terus pesat, dengan semakin banyak perusahaan dan pengembang yang berinvestasi dalam ekosistem ini. Hal ini mencakup pengembangan perangkat keras yang lebih pintar, perangkat lunak yang lebih canggih, dan platform yang memungkinkan integrasi yang lebih mulus dari perangkat IoT. Dalam beberapa tahun mendatang, IoT diperkirakan akan menjadi bagian tak terpisahkan dalam kehidupan sehari-hari, membantu kita menjalani kehidupan yang lebih efisien, produktif, dan terkoneksi [18].

G. Web Server

Web Server adalah komponen kunci dalam ekosistem *internet* yang berfungsi sebagai perantara antara pengguna *internet* dan situs web atau aplikasi web yang mereka akses. Ini berperan dalam menerima permintaan dari perangkat klien, seperti komputer atau ponsel cerdas, dan mengirimkan konten yang diminta kepada pengguna. *Web Server* menjalankan perangkat lunak khusus yang mengelola permintaan, merespons dengan halaman web atau data yang diminta, dan menjaga koneksi antara klien dan server. Ini berperan penting dalam menjaga situs web atau aplikasi web tetap aktif dan responsif bagi pengguna.

Web Server memiliki beberapa tugas kunci, termasuk mengelola protokol HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*) yang digunakan untuk berkomunikasi dengan perangkat klien. Ini juga mengelola permintaan dan respons, memastikan bahwa data dikirim dengan aman melalui jaringan, dan mengelola sesi pengguna. Beberapa perangkat lunak *web server* yang populer termasuk *Apache*, *Nginx*, *Microsoft Internet Information Services* (IIS), dan banyak lainnya, yang memiliki fitur-fitur unik dan kelebihan yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan [19].

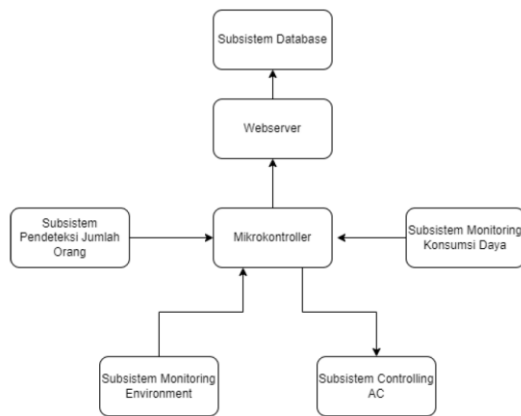
Selain itu, keamanan *web server* adalah aspek yang sangat penting, mengingat *web server* adalah titik masuk utama bagi banyak serangan siber. Proteksi dan enkripsi data, *firewall*, serta pemantauan lalu lintas *web* adalah beberapa langkah yang dapat diambil untuk menjaga keamanan *web server*. Dalam era modern, *web server* juga memainkan peran penting dalam mendukung layanan *web* terkait dengan IoT, *e-commerce*, hiburan daring, dan berbagai aplikasi berbasis *web* yang digunakan secara luas. *Web Server* terus berkembang dan menjadi semakin penting dalam menghubungkan pengguna dengan dunia *digital* yang terus berkembang pesat.

III. PERANCANGAN SISTEM

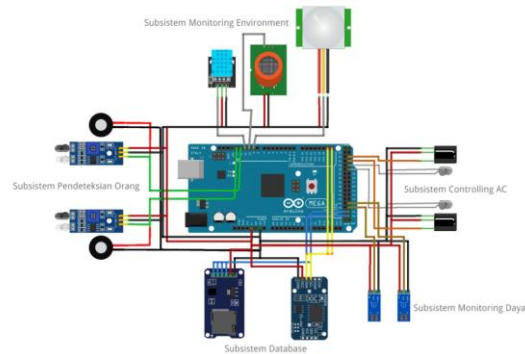
Sistem ini diberi nama *Adaptive Environment and Energy Manager* (AVE). Sistem ini dirancang menggunakan mikrokontroler ESP32 yang dilengkapi dengan *sensor-sensor* yang mampu memonitoring kondisi ruangan. *Sensor-sensor* tersebut adalah DHT22, MQ-7, LDR, IR module dan PZEM 004-T. Selain itu, sistem ini juga memiliki IR led untuk melakukan kontrol pada AC. Keseluruhan hasil pembacaan data *sensor* tersebut nantinya dapat di-monitoring secara *real-time* pada *web server* dengan alamat IP akan ditampilkan pada layar LCD. Diagram blok sistem bisa dilihat pada Gambar 1, kemudian rangkaian elektronik bisa dilihat pada Gambar 2.

A. Indikator/Parameter yang diukur

Kinerja alat atau sistem AVE ini diuji dengan beberapa indikator dan parameter sesuai dengan apa yang bisa alat ini lakukan sehingga mampu memenuhi spesifikasi yang diharapkan. Dilakukan juga perbandingan hasil pengukuran pada *sensor* dengan alat ukur yang sudah terkalibrasi.



Gambar 1. Diagram blok sistem



Gambar 2. Rangkaian elektronik sistem

Sistem yang telah dirancang akan dilakukan uji coba dengan menggunakan beberapa parameter yaitu temperatur ruangan dalam *celcius*, persentase kelembaban, kadar CO dalam ppm, intensitas cahaya dalam lux dan total daya dalam watt. Selain itu ada juga pengujian algoritma kontrol pada AC. Adapun rincian parameter yang akan diukur adalah sebagai berikut:

- Hasil pembacaan *sensor* DHT22, untuk mengukur temperatur ruangan dan kelembaban.
- Hasil pembacaan *sensor* MQ-7, hasil yang didapatkan merupakan kadar gas CO.
- Hasil Pembacaan *Sensor* LDR. Data yang didapatkan akan dilakukan konversi agar bisa dibaca dalam satuan lux.
- Hasil pembacaan PZEM 004T. Hasil pembacaan merupakan total daya yang sedang digunakan didalam ruangan kelas dan terhubung ke PZEM 004T.
- Hasil pembacaan dari dua modul IR (*Infra Red*) merupakan total orang yang ada di dalam ruangan dengan memanfaatkan dua buah *sensor* yang akan mendeteksi orang masuk dan keluar.
- *Sensor* IR di uji jarak jangkauan terhadap AC dan juga performa kontrol nya. Performa kontrol merupakan kemampuan IR dalam mengendalikan AC dengan bantuan dari ESP32 sebagai mikrokontroler. Adapun algoritma nya yaitu AC akan menyala apabila terdeteksi ada 1 orang atau lebih di dalam ruangan dan akan mati apabila orang di dalam ruangan terdeteksi 0. Temperatur pada AC juga akan berubah secara otomatis berdasarkan temperatur ruangan dan jumlah orang. Apabila temperatur ruangan di atas 26 maka AC akan di set ke 24. Kemudian, apabila temperatur ruangan di bawah 24 maka temperatur pada AC akan di set ke 26. Selanjutnya apabila terdapat 15 orang lebih di dalam ruangan maka AC akan di set ke 22, tetapi apabila terdapat 15 orang lebih di dalam ruangan dan temperatur di bawah 24 maka AC tidak di set ke 22 melainkan mengikuti temperatur AC yang sebelumnya.
- Sistem penyimpanan dan IoT juga dilakukan uji coba yaitu seberapa responsif sistem tersebut, akurasi dan estetika. Dilakukan juga pengecekan terkait dengan penyimpanan secara lokal.

B. Spesifikasi Sistem

Alat dirancang untuk memiliki tiga buah kotak enclosure. Pertama ada kotak sistem environment yang terdiri dari ESP32, DHT22, MQ-7, LDR, PZEM 004T dan modul MicroSD Card. Kotak ini memiliki ukuran 9 cm x 8 cm x 6,1 cm. Selanjutnya ada kotak untuk sistem pendeteksian jumlah orang didalam ruangan. Kotak ini berukuran 10 cm x 5 cm x 5,5 cm yang berisi dua buah modul IR untuk mendeteksi jumlah orang dan LCD 16x2 untuk menampilkan alamat IP address *web server*. Terakhir ada kotak kontrol AC dengan ukuran 3,2 cm x 1,6 cm x 1,7 cm yang terdiri dari IR led. Total berat alat ini adalah 199 gram.

Alat ini dapat melakukan *monitoring* temperatur ruangan dan kelembaban ruangan dengan maksimal *error* 2%. Selanjutnya kadar CO dengan *error* maksimal 10 ppm. Lalu ada intensitas cahaya dengan maksimal *error* 5% dan total daya dengan toleransi *error* 2%. Alat ini juga mampu mengetahui total orang di dalam ruangan, menampilkan alamat IP pada layar LCD, melakukan kontrol AC pada rentang suhu 24-26 derajat *celcius*. Semua data tersebut dapat diakses pada *web server* dengan indikator warna berdasarkan *value*-nya terhadap standar dan penyimpanan lokal pada MicroSD Card. Alat AVE ini dapat beroperasi dengan menggunakan tegangan 5V pada MicroUSB.

C. Langkah pengambilan data

Berdasarkan parameter-parameter dan indikator yang sudah disebutkan, maka dilakukan pengukuran dan uji coba serta kalibrasi pada masing-masing parameter dengan dilakukan pengambilan data dan membandingkan nya dengan alat ukur yang sudah terkalibrasi ataupun berdasarkan pengamatan secara langsung. Adapun *sensor* dan parameter yang akan dilakukan pengambilan data langkah-langkah nya sebagai berikut.

- *Sensor* DHT22 digunakan untuk mengukur temperatur ruangan dan kelembaban ruangan. Data dari *sensor* diambil dengan menggunakan library DHT.h dengan pembacaan *analog*. Dilakukan pengukuran pada 5 ruangan yang berbeda baik itu untuk temperatur ruangan dan kelembaban. hasil pembacaan kemudian dibandingkan dengan alat ukur *Lutron* MHB-328SB.
- *Sensor* MQ-7 digunakan untuk mengukur kadar CO yang ada di dalam ruangan. Adapun alat ukur pembandingnya adalah *Wohler* KM410. Pengukuran dilakukan dengan menempatkan kedua alat di belakang knalpot motor. Dilakukan 6 percobaan berdasarkan tarikan gas motor.
- *Sensor* LDR digunakan untuk mengukur lux yang ada di dalam ruangan. Alat ukur pembanding nya adalah *Lutron* LM-8000A. Data diambil dengan menempatkan kedua alat di bawah cahaya *flash smartphone* yang dapat diatur tingkat pencahayaannya.
- PZEM 004T digunakan untuk mengukur total daya yang sedang digunakan dalam satuan Watt. Pembandingnya merupakan keterangan label pada masing-masing produk pada daya maksimalnya. Adapun yang diukur merupakan alat-alat elektronik seperti lampu, kipas angin hingga AC.
- Modul *sensor* IR digunakan untuk menghitung jumlah orang yang ada di dalam ruangan. Digunakan 2 modul *sensor* IR yang diposisikan berdekatan dengan keterangan *sensor* in dan out untuk mendeteksi orang masuk dan keluar. Logika yang digunakan adalah apabila *sensor* in terdeteksi lebih dulu maka akan terdeteksi orang masuk dan apabila out terdeteksi lebih dulu maka akan terdeteksi orang keluar. Jumlah orang di dalam ruangan merupakan hasil penjumlahan data yang didapatkan dari in dan out. percobaan dilakukan dengan melakukan pengamatan dengan 10 mahasiswa sebagai relawan.
- *Sensor* IR digunakan untuk melakukan kontrol pada AC. Dilakukan pengukuran jarak maksimal IR led untuk mengukur AC. Pengukuran dilakukan dengan menempatkan IR led horizontal dengan AC mulai dari jarak 0 cm sampai AC tidak lagi menerima dengan step per 1 cm.
- IR led juga digunakan untuk melakukan kontrol pada AC. Pengetesan dilakukan melalui pengamatan dengan parameter yang diamati adalah temperatur pada DHT22, temperatur AC, kondisi AC (nyala / mati) dan jumlah orang di dalam ruangan.

Perhitungan *error* untuk mengetahui batas toleransi yang didapatkan pada setiap *sensor* digunakan MAE (*Mean Absolute Error*) dan *Percentage Error* sebagaimana pada persamaan berikut. Nilai *measured value* merupakan nilai yang terbaca oleh *sensor*, sedangkan *real value* merupakan nilai sebenarnya dengan menggunakan pembanding sejenis. Semua data tersebut akan ditampilkan pada *web server* dengan parameter-parameter nya terdiri dari temperatur ruangan, kelembaban, kadar CO, intensitas cahaya, total daya, jumlah orang di dalam ruangan begitu juga pada penyimpanan lokal. Adapun pada penyimpanan lokal ada penambahan waktu dengan format DD/MM/YYYY serta jamnya. Dilakukan pengamatan pada warna indikator untuk keakuratannya.

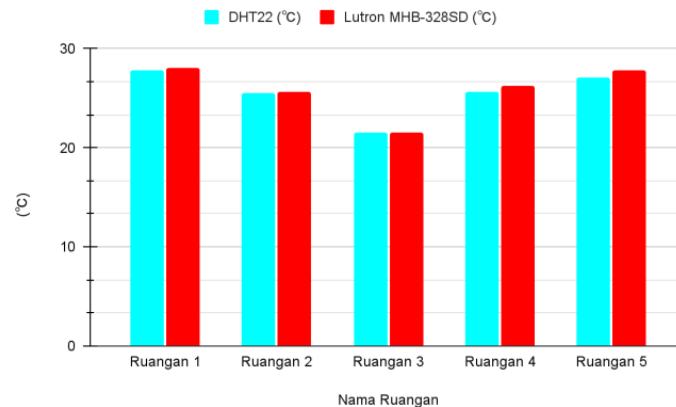
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Parameter Temperatur Ruangan

Pengukuran temperatur ruangan diukur menggunakan *sensor* DHT22 yang dilakukan di ruangan-ruangan yang adadi laboratorium Teknik Lingkungan FTSP UII. Digunakan *Lutron* MHB-328SD sebagai alat ukur pembanding dan didapatkan hasil pengukuran pada Tabel 1 berikut.

No.	DHT22 (°C)	Lutron MHB-328SD (°C)	Lokasi	Selisih Pengukuran (°C)
1	27.80	28.00	Ruangan 1	0.2
2	25.50	25.60	Ruangan 2	0.1
3	21.50	21.60	Ruangan 3	0.1
4	25.70	26.30	Ruangan 4	0.6
5	27.10	27.80	Ruangan 5	0.7

Setelah dilakukan pengukuran dengan variasi temperatur yang diukur mulai dari 21 derajat *celcius* sampai 28 derajat *celcius* didapatkan variasi hasil yang berbeda-beda antar alat ukur. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada Gambar 3 yang merupakan grafik hasil pengukuran.



Gambar 3. Grafik Hasil Pengukuran Temperatur

Berdasarkan hasil pengukuran, akurasi pengukuran temperatur ruangan dengan menggunakan DHT22 memiliki tingkat *error* rata-rata 0,34 derajat sehingga memiliki persentase akurasi sebesar 99,66 %. Diketahui juga bahwa DHT22 akurasinya menurun seiring dengan semakin besarnya temperatur ruangan.

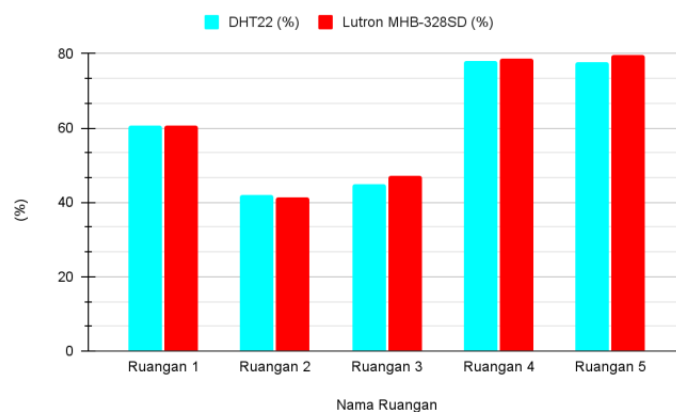
B. Pengujian Parameter Kelembaban Ruangan

Pengukuran kelembaban ruangan diukur menggunakan menggunakan DHT22 yang dilakukan di ruangan-ruangan yang ada di laboratorium Teknik Lingkungan FTSP UII dengan lokasi yang sama seperti pada Tabel 2 pada pengukuran temperatur ruangan. Digunakan Lutron MHB- 328SD sebagai alat ukur pembandingan dan didapatkan hasil pengukuran pada Tabel 2.

No.	DHT22 (%)	LutronMHB-328SD (%)	Lokasi	Selisih Pengukuran
1	60.60	60.60	Ruangan 1	0
2	42	41.50	Ruangan 2	0.5
3	44.90	47.1	Ruangan 3	2.2
4	78.10	78.70	Ruangan 4	0.6
5	77.80	79.80	Ruangan 5	2

Setelah dilakukan pengukuran dengan variasi kelembaban yang diukur mulai dari 42% sampai 79% didapatkan variasi hasil yang berbeda-beda antar alat ukur. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada Gambar 4. yang merupakan grafik hasil pengukuran.

Berdasarkan hasil pengukuran, akurasi pengukuran kelembaban ruangan dengan menggunakan DHT22 memiliki tingkat *error* rata-rata 1,06 sehingga memiliki persentase akurasi sebesar 98,94 %. Diketahui juga bahwa DHT22 akurasinya menurun seiring dengan semakin tingginya kelembaban ruangan.



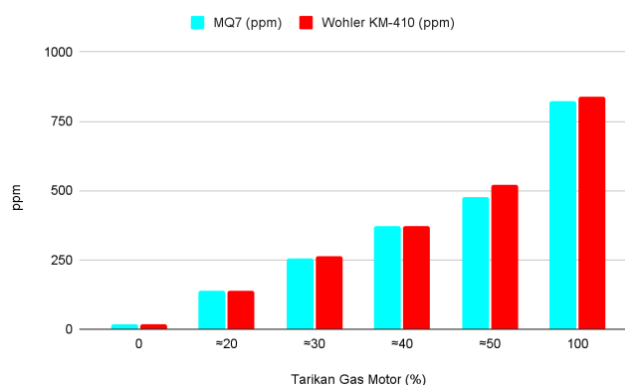
Gambar 4. Grafik pengukuran kelembaban

C. Pengujian Parameter Kadar CO (Carbon Monoxide)

Pengukuran kadar CO dilakukan dengan menggunakan *sensor* MQ-7 dari hasil pembakaran sempurna yang terjadi di knalpot motor. Gas motor ditarik dengan perkiraan tarikan dari 0% (tidak di gas, hanya didiamkan menyala mesinnya) sampai 100% (gas ditarik full). Digunakan Wohler KM410 sebagai alat ukur pembandingan dan didapatkan hasil pengukuran pada Tabel 3.

No.	MQ7 (ppm)	WohlerKM-410 (ppm)	Tarikan gas motor (%)	Selisih Pengukuran (ppm)
1	18	19	0	1
2	137	140	≈20	3
3	257	264	≈30	7
4	371	372	≈40	1
5	476	520	≈50	44
6	821	838	100	17

Setelah dilakukan pengukuran dengan variasi tarikan gas yang diukur mulai dari 0% sampai 100% didapatkan variasi hasil yang berbeda-beda antar alat ukur. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada Gambar 5 yang merupakan grafik hasil pengukuran.



Gambar 5. Grafik hasil pengukuran kadar CO

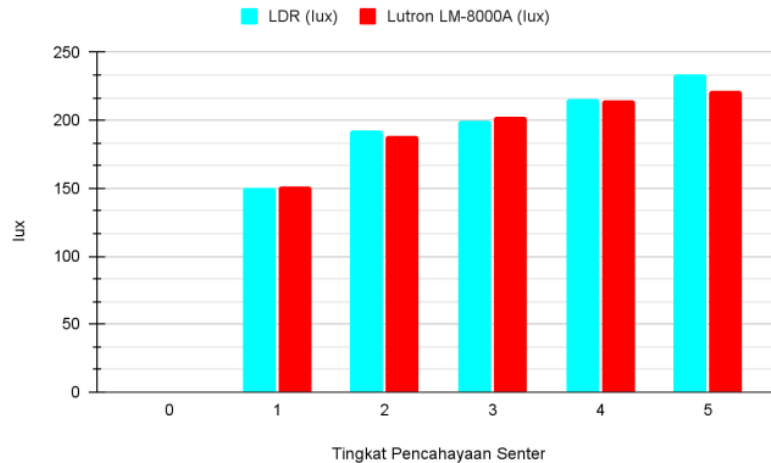
Berdasarkan hasil pengukuran, akurasi pengukuran kadar CO dengan menggunakan MQ-7 memiliki tingkat *error* rata-rata 12,167 sehingga memiliki persentase akurasi sebesar 87,833%. Diketahui juga bahwa MQ-7 akurasinya menurun seiring dengan semakin tingginya kadar CO yaitu setelah kadar CO lebih dari 400 ppm.

D. Pengujian Parameter Intensitas Cahaya Ruangan

Pengukuran intensitas cahaya ruangan dilakukan dengan menggunakan *sensor* LDR berdasarkan tingkat pencerahan senter yang ada di HP (handphone). Digunakan Lutron LM-8000A sebagai alat ukur pembandingan dan didapatkan hasil pengukuran pada Tabel 4.

No	LDR (lux)	LutronLM-8000A (lux)	Tingkat Pencerayaan Senter HP	Selisih Pengukuran (lux)
1	0	0	0	0
2	150	151	1	1
3	192.3	189	2	3.30
4	200.07	203	3	2.93
5	215.56	215	4	0.56
6	234	222	5	12

Setelah dilakukan pengukuran dengan variasi tingkat pencerayaan yang diukur mulai dari tingkat 1 sampai tingkat 5 didapatkan variasi hasil yang berbeda-beda antar alat ukur. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada Gambar 6 yang merupakan grafik hasil pengukuran.



Gambar 6. Grafik hasil pengukuran intensitas cahaya

Berdasarkan hasil pengukuran, akurasi pengukuran intensitas cahaya dengan menggunakan *sensor* LDR memiliki tingkat *error* rata-rata 3,298 sehingga memiliki persentase akurasi sebesar 96,702%. Diketahui juga bahwa *sensor* LDR akurasinya menurun seiring dengan semakin tingginya intensitas cahaya yaitu setelah intensitas cahaya lebih dari 215 lux.

E. Pengujian Parameter Jumlah Orang di dalam Ruangan

Pengukuran tingkat akurasi jumlah orang didalam ruangan dilakukan dengan mengamati jumlah orang masuk dan keluar yang terdeteksi dengan modul *sensor* IR dan pengamatan secara manual.

Table V. HASIL PENGUKURAN AKURASI JUMLAH ORANG

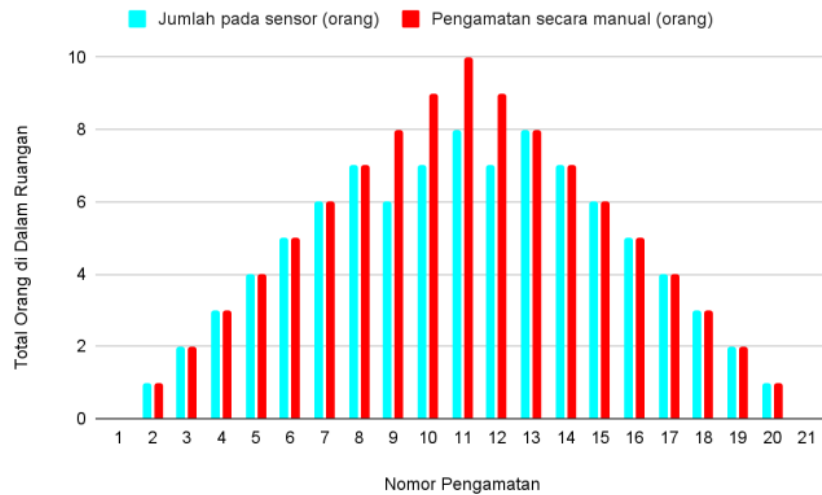
No.	Jumlah pada <i>sensor</i> (orang)	Pengamatan secara manual (orang)	Selisih Pengukuran (orang)
1	0	0	0
2	1	1	0
3	2	2	0
4	3	3	0
5	4	4	0
6	5	5	0
7	6	6	0
8	7	7	0
9	6	8	2
10	7	9	2
11	8	10	2
12	7	9	2
13	8	8	0
14	7	7	0
15	6	6	0
16	5	5	0
17	4	4	0
18	3	3	0
19	2	2	0
20	1	1	0
21	0	0	0

Berdasarkan hasil pengamatan, akurasi pengukuran jumlah orang didalam ruangan dengan menggunakan modul *sensor* IR memiliki tingkat *error* rata-rata 0,382 sehingga memiliki persentase akurasi sebesar 99,619%. Berdasarkan pengamatan, *error* terjadi karena objek yang diukur memiliki jarak yang terlalu jauh dari *sensor*.

F. Pengujian Parameter Konsumsi Daya

Pengukuran tingkat akurasi *sensor* PZEM-004T dilakukan dengan melakukan perbandingan antara hasil yang terukur oleh *sensor* dengan daya yang berada pada keterangan spesifikasi pada masing-masing beban. Beban lampu diukur pada saat lampu berada pada pencahayaan maksimal, begitu pula pada kipas. Untuk AC diukur pada pengaturan normal yaitu pada set temperatur 26 dengan mode cool dan fan speed medium. Hasil pengamatan dan pengukuran bisa dilihat pada Tabel 4.

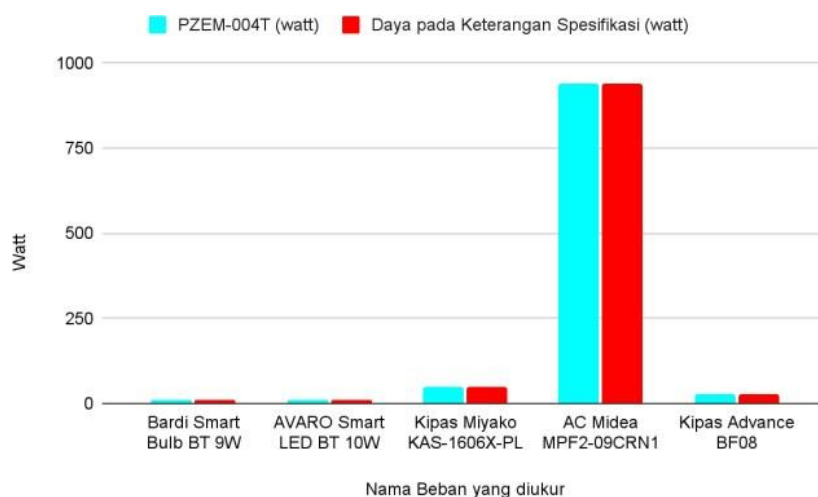
No	PZEM-004T (watt)	Daya pada Keterangan Spesifikasi(watt)	Nama Beban yang diukur	Selisih Pengukuran (watt)
1	8.67	9	Bardi Smart Bulb BT 9W	0,33
2	9.82	10	AVARO Smart LED BT 10W	0,18
3	47.35	50	Kipas Miyako KAS- 1606X-PL	2,65
4	938.44	940	AC Midea MPF2- 09CRN1	1,56
5	27.92	28	Kipas Advance BF08	0,08



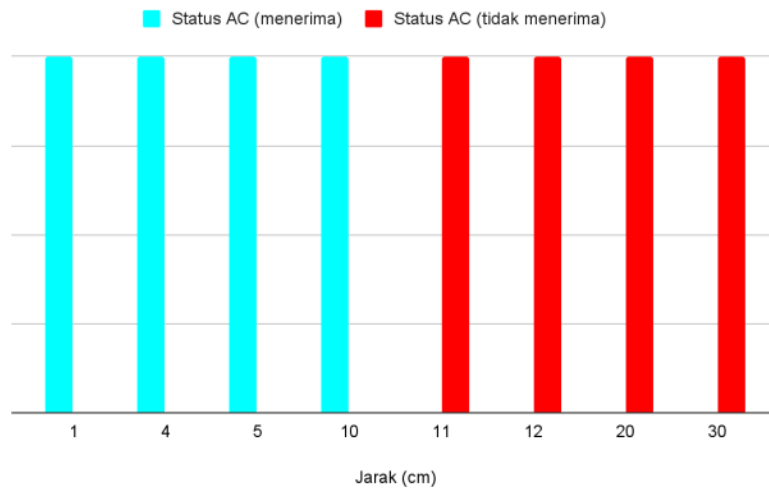
Gambar 7. Grafik hasil pengukuran akurasi jumlah orang

Setelah dilakukan pengamatan dengan orang masuk satu persatu dan keluar satu persatu dengan total ada 10 orang didapatkan variasi hasil yang berbeda-beda. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada Gambar 7 yang merupakan grafik hasil pengukuran. Kemudian setelah dilakukan pengukuran dengan variasi jenis beban yang diukur yaitu lampu, kipas dan AC sehingga didapatkan variasi hasil yang berbeda-beda antara alat ukur dan keterangan spesifikasi daya pada masing-masing beban. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada Gambar 8 yang merupakan grafik hasil pengukuran.

Berdasarkan hasil pengamatan, akurasi pengukuran daya dengan menggunakan PZEM 004T memiliki tingkat *error* rata-rata 0,96 sehingga memiliki persentase akurasi sebesar 99,04%. Berdasarkan pengamatan, *error* semakin besar seiring dengan besar daya yang diukur.



Gambar 8. Grafik hasil pengukuran daya



Gambar 9. Grafik hasil pengukuran respon kontrol AC

G. Pengujian Respon AC Terhadap Kontrol Otomatis

Pengamatan respon AC dilakukan dengan menempatkan *sensor* IR berdasarkan jarak antara *sensor* dengan AC sehingga didapatkan hasil seperti berikut.

No	Jarak (cm)	Status AC (menerima/tidak)
1	<1	menerima
2	4	menerima
3	5	menerima
4	10	menerima
5	11	tidak
6	12	tidak
7	20	tidak
8	30	tidak

Setelah dilakukan pengukuran dan pengamatan, diketahui bahwa *sensor* ir sudah tidak dapat terdeteksi oleh AC pada jarak lebih dari 10 cm sehingga *sensor* IR harus diletakan dekat dengan AC.

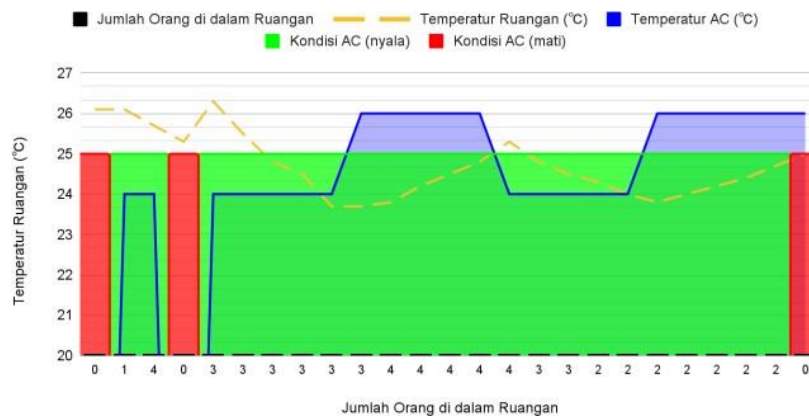
H. Pengujian Pengendalian AC Menggunakan Algoritma

Pengukuran akurasi pengendalian AC dilakukan dengan melakukan pengamatan dengan beberapa faktor kunci yaitu temperatur ruangan yang terdeteksi di DHT22 dan jumlah orang didalam ruangan yang terdeteksi di *sensor* modul IR. Percobaan dilakukan di ruang kelas 3.05B yang ada di gedung FTI UII dengan AC Panasonic tipe *inverter*. Didapatkan hasil pengamatan seperti pada Tabel 8.

No.	Temperatur Ruang (°C)	Jumlah Orang di dalam Ruangan	Temperatur AC (°C)	Kondisi AC (nyala/mati)
1	26.1	0	-	mati
2	26.1	1	24	nyala
3	25.7	4	24	nyala
4	25.3	0	-	mati
5	26.3	3	24	nyala
6	25.5	3	24	nyala
7	24.8	3	24	nyala
8	24.5	3	24	nyala
9	23.7	3	24	mati
10	23.7	3	26	nyala
11	23.8	4	26	nyala
12	24.2	4	26	nyala
13	24.5	4	26	nyala
14	24.8	4	26	nyala
15	25.3	4	24	nyala

Setelah dilakukan pengamatan, *sensor* IR memiliki batasan jarak sehingga AC tidak mampu lagi menerima sinyal IR. Hasil bisa diamati melalui grafik seperti pada Berdasarkan Tabel 8, diketahui bahwa

algoritma berjalan dengan baik. Temperatur AC berubah seiring dengan berubahnya nilai temperatur ruangan yang ada di DHT22. Untuk analisis detailnya bisa dilihat melalui grafik pada Gambar 10 di bawah ini.



Gambar 10. Grafik hasil pengujian kontrol AC

Berdasarkan grafik pada Gambar 10, AC mati dan menyala berdasarkan jumlah orang yang ada di dalam ruangan dan berjalan tanpa adanya masalah. Apabila tidak ada orang di dalam ruangan AC akan mati, lalu apabila terdeteksi ada orang di dalam ruangan maka AC akan otomatis menyala.

Temperatur pada AC juga sudah terkontrol secara otomatis. AC akan di set ke 24°C apabila temperatur pada DHT22 terdeteksi 25°C. Lalu apabila temperatur pada DHT22 terdeteksi di bawah 24°C maka temperatur pada AC di set ke 26°C. Dapat dilihat juga bahwa temperatur ruangan stabil pada rentang 24-25°C yang memungkinkan orang-orang di dalam ruangan menjadi lebih nyaman dalam melakukan aktivitas.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan proses perancangan dan implementasi sistem kontrol cahaya, temperatur, dan kualitas udara ruangan kelas (*Smart Class*) di Fakultas Teknologi Industri UII untuk mendukung UI GreenMetric, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut. Alat yang dirancang telah sesuai dengan spesifikasi yang diusulkan, yaitu mampu *memonitoring* kualitas udara, temperatur, kelembaban, intensitas cahaya, dan konsumsi daya pada ruangan kelas. Alat juga dapat mengontrol temperatur AC sesuai dengan jumlah orang di dalam ruangan untuk menjaga suhu pada rentang 24-27°C sesuai standar. Selain itu, sistem IoT juga dapat diimplementasikan untuk memantau secara real-time melalui *web server*.

Tujuan penelitian telah tercapai dengan baik, yaitu merancang dan membangun alat yang mampu *memonitoring* dan mengontrol kualitas udara, temperatur, kelembaban, intensitas cahaya, dan konsumsi daya pada ruangan kelas, serta mengimplementasikan sistem IoT secara *real-time*. Rekomendasi kedepan dapat diuji implementasi untuk beberapa ruangan secara bersamaan, diintegrasikan dengan sistem pengelolaan gedung, pemanfaatan teknologi lain yang telah tersedia seperti CCTV.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih Jurusan Teknik Elektro Universitas Islam Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] "Live most polluted major city ranking," IQAir, [Online]. Available: <https://www.iqair.com/world-airquality-ranking>. [Diakses 3 Oktober 2023].
- [2] GUIDELINE UI GreenMetric World University Rankings 2023, Depok: UI GreenMetric, 2023.
- [3] J. M. Waworundeng dan O. Lengkong, "Sistem *Monitoring* dan Notifikasi Kualitas Udara dalam Ruangan dengan Platform IoT," *cogito smart journal*, vol. 4, no. 1, pp. 94-103, 2018.
- [4] B. P. Pratiwi dan A. S. Handayani, "Pengukuran Kinerja Sistem Kualitas Udara dengan Teknologi WSN Menggunakan Confusion Matrix," *Jurnal Informatika Upgris*, vol. 6, no. 2, pp. 66-75, 2020.
- [5] R. Romadhoni, H. M. T. A dan B. M. B, "Prototype Kendali Semi Otomatis Pencahayaan, Proyektor dan Kipas Ruangan Sebagai Kenyamanan Kegiatan Belajar Mengajar Berbasis IoT," *SCIENCE ELECTRO*, vol. 13, pp. 1-10, 2021.

-
- [6] R. Zhang, M. Kong, B. Dong, Z. O'Neill, H. Cheng, F. Hu dan J. Zhang, "Development of a testing and evaluation protocol for occupancy sensing technologies in building HVAC controls: A case study of representative people counting *sensors*," *Building and Environment*, vol. 208, 2022.
- [7] F. Erden, A. Z. Alkar dan A. E. Cetin, "A robust system for counting people using an infrared *sensor* and a camera," *Infrared Physics & Technology*, vol. 72, pp. 127-134, 2015.
- [8] H. Nasirrudin dan B. P. Sembodo, "Control System Automatic for Light And Air Conditioner at Living Room using Arduino Uno Controller," *Journal of Applied Electrical Science & Technology*, vol. 4, no. 1, pp. 15-20, 2022.
- [9] R. H. Nasution, "Analisis Pengaruh Temperatur dan Kebisingan Terhadap Kerja Sistem Cardiovascular di CV. Bintang Terang Medan," *Jurnal Surya Teknik*, vol. V, no. 2, 2017.
- [10] Y. Kukus, W. Supit dan F. Lintang, "Suhu Tubuh : Homeostasis dan Efek Terhadap Kinerja Tubuh Manusia," *Jurnal Biomedik : JBM*, vol. 1, no. 2, 2009.
- [11] D. S. Rahmawati dan R. L. Khairina, "Pengaruh Kualitas Udara Dalam Ruangan Bagi Performa Akademik Pelajar: Sebuah Tinjauan Literatur," *Jurnal Sekolah*, vol. V, no. 1, pp. 34-39, 2020.
- [12] S. Andriani, "Kualitas Udara Dalam Ruangan Sekolah (PM2.5, PM10, CO2, DAN HCHO) dan Risiko Kesehatan Pada Siswa di Kota Serang," *Journal Of Baja Healthscience*, vol. 1, no. 2, 2021.
- [13] S. G. Kristanti dan D. T. Rezalti, "Analisis Pengaruh Intensitas Pencahayaan terhadap Kelelahan Mata Mahasiswa Menggunakan Metode Regression Statistical Analysis dan Analisis Deskriptif," *Industrial Engineering Journal of the University of Sarjanawiyata Tamansiswa*, vol. VI, no. 1, pp. 18-24, 2022.
- [14] D. Hermawan, M. A. Primasyukra, M. F. Zambak dan S. Hardi, "Perbandingan Tiga Metode Pendekatan Nilai Intensitas Konsumsi Energi (IKE) Di Pondok Pesantren," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. IV, no. 1, pp. 35-41, 2021.
- [15] I. W. Y. Widiana, I. G. A. P. R. Agung dan P. Rahardjo, "Rancang Bangun Kendali Otomatis Lampu dan Pendingin Ruangan Pada Ruang Perkuliahan Berbasis Mikrokontroler Arduino Nano," *Jurnal SPEKTRUM*, vol. VI, no. 2, pp. 112-120, 2019.
- [16] Faridah, "Analisis Penghematan Daya Listrik di PT. Daikin Air Conditioning Makassar," *Jurnal Teknik*, vol. 16, no. 2, pp. 85-92, 2018.
- [17] "Tips Mengatur Suhu AC Agar Lebih Sejuk dan Hemat Listrik," *eraspace*, 6 September 2022. [Online]. Available: <https://eraspace.com/artikel/post/5-tips-mengatur-suhu-ac-agar-lebih-sejuk-dan-hemat-listrik>. [Diakses 20 Desember 2023].
- [18] "Perkembangan *Internet of Things* (IoT) pada Sektor Energi : Sistematis Literatur Review," *Jurnal MENTARI : Manajemen Pendidikan dan Teknologi Informasi*, vol. 1, no. 2, pp. 187-197, 2023.
- [19] D. Intern, "Apa itu *Web Server* dan Fungsinya?," *dicoding*, 27 Januari 2021. [Online]. Available: <https://www.dicoding.com/blog/apa-itu-web-server-dan-fungsinya/>. [Diakses 14 Oktober 2023].
- [20] ADMIN, "Kesehatan, Kesehatan & Keamanan, Ketenagakerjaan Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor:261/MENKES/SK/II/1998 Tentang Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja," 29 Maret 2019. [Online]. Available: <https://indok3ll.com/keputusan-menteri-kesehatan-republikindonesia-nomor-261-menkes-sk-ii-1998/>. [Diakses 14 Oktober 2023].
- [21] G. Budiarto, "Peraturan Perundangan K3 Listrik," 2013. [Online]. Available: https://gatrik.esdm.go.id/assets/uploads/download_index/files/c0cdc-buku-puil-keselamatan-dan-pemasangan-instalasi-listrik-voltase-rendah.pdf. [Diakses 15 Oktober 2023].
- [22] A. Swarnadwitya, "Design Thinking: Pengertian, Tahapan dan Contoh Penerapannya.," *BINUS UNIVERSITY*, 17 Maret 2020. [Online]. Available: <https://sis.binus.ac.id/2020/03/17/design-thinking-pengertian-tahapan-dan-contoh-penerapannya/>. [Diakses 13 September 2023]