

Sistem Tertanam Untuk Monitoring dan Kendali Kualitas Udara Ruang Laboratorium Berbasis Inovasi Hybrid WSN-SIONLAP

Embedded System for Air Quality Monitoring and Control in Laboratory Spaces Based on WSN-SIONLAP Hybrid Innovation

Rochmad Fauzi¹, Azhar Ahmad Smaragdina², Febrianto Alqodri³

¹²³Departemen Teknik Elektro dan Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang, Malang 65145, Indonesia

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan perangkat *internet of things* (IoT) yang mampu mengatur sirkulasi udara dalam ruang laboratorium, terintegrasi dengan aplikasi sistem informasi *online* laboratorium Pendidikan SIONLAP. Perangkat yang dimaksud berupa rangkaian kendali *exhaust* berbasis *hybrid wireless sensor network-SIONLAP* (WSN-SIONLAP) yang dapat memonitoring dan mengendalikan kualitas temperatur dan kelembaban udara ruang laboratorium. Penelitian menggunakan model ADDIE dengan menerapkan metode *Analysis, Design, Development, Implementation, dan Evaluation*. Perangkat IoT yang dikembangkan dilengkapi 5 sensor DHT 11, diterapkan di dua ruang laboratorium. Sensor DHT 11 mendeteksi perubahan temperatur dan kelembaban udara. Melalui jaringan internet, data serta informasi dikirim dan ditampilkan pada aplikasi *cloud Google Spreadsheet*, di sinkronkan pada aplikasi SIONLAP berdasarkan lokasi penempatan perangkat IoT. Pengujian kualitas udara ruang laboratorium menunjukkan kualitas rendah. Peneliti merancang rangkaian kendali *exhaust* yang diatur secara otomatis oleh *hybrid WSN-SIONLAP* untuk merespon kondisi tersebut. *Exhaust* bekerja mengkondisikan sirkulasi udara sehingga menjadi lebih kondusif mencapai standart udara yang baik pada *range* temperatur berkisar 18°C - 28°C dan kelembaban udara 40%RH - 60%RH. Berdasarkan hasil penelitian pengembangan ini, rangkaian monitoring dan kendali aktif bekerja serta berhasil memperbaiki kualitas udara ruang laboratorium menjadi kondusif untuk mendukung kegiatan di laboratorium.

Kata Kunci : Kendali, Monitoring, Udara Laboratorium, WSN-SIONLAP

Abstract

This study aims to develop *internet of things* (IoT) devices that are able to regulate air circulation in laboratory rooms, integrated with the SIONLAP Education laboratory online information system application. The device in question is an exhaust control circuit based on the hybrid wireless sensor network-SIONLAP (WSN-SIONLAP) which can monitor and control the quality of temperature and humidity in laboratory rooms. The research uses the ADDIE model by applying the *Analysis, Design, Development, Implementation, and Evaluation* methods. The IoT device developed is equipped with 5 DHT 11 sensors, implemented in two laboratory rooms. The DHT 11 sensor detects changes in temperature and humidity. Through the internet network, data and information are sent and displayed on the *Google Spreadsheet cloud application*, synchronized on the SIONLAP application based on the location of the IoT device placement. Laboratory room air quality testing shows low quality. Researchers designed an exhaust control circuit that was automatically regulated by the WSN-SIONLAP hybrid to respond to these conditions. Exhaust works to condition air circulation so that it becomes more conducive to achieving good air standards in a temperature range ranging from 18°C - 28°C and humidity 40%RH - 60%RH. Based on the results of this development research, a series of active monitoring and controls worked and succeeded in improving the air quality of the laboratory room to become conducive to supporting activities in the laboratory.

Keywords : Control, Laboratory Air, Monitoring, WSN-SIONLAP

1. Pendahuluan

Di era industri revolusi 4.0, terdapat kebutuhan untuk meningkatkan kualitas informasi dan manajemen dalam kegiatan pengelolaan serta layanan laboratorium dengan menggunakan teknologi terbaru seperti *internet of things (IoT)*, data informasi, big data analitik, *cloud computing*, dan *cyber security*. Dalam pembangunan teknologi jaringan sensor tanpa kabel atau *Wireless Sensor Network (WSN)*, perangkat dan sistem *IoT* menjadi komponen vital. *WSN* adalah sebuah rangkaian sensor yang terkoneksi secara nirkabel yang bertugas untuk mengumpulkan, mentransmisikan, dan menganalisa data dari objek atau lingkungan yang dipantau. Teknologi *WSN* berfungsi mengubah data analog dari sensor menjadi digital dan mengirimkannya ke *node* melalui berbagai media komunikasi seperti *Wi-Fi*, *Bluetooth*, *Lora*, *Cellular*, atau *Infra Red*, dengan perangkat pendukung lainnya. *WSN* menghubungkan berbagai perangkat seperti *sensor node*, *router*, dan *node sink*, dan digunakan dalam berbagai bidang seperti (Le Van, T., Thi, P. N., Vo Minh, P., Do Thi, L., Le Cong, H., and Phuong, T. N. T. 2022) pertanian, (Lin, Q., and Zhao, Q. 2021) Kesehatan, (Qi, X., Mei, G., and Piccalli, F. 2021) transportasi, dan (Al-Taai, S. H. H., Kanber, H. A., and Al-Dulaimi, W. A. M. 2023) pendidikan.

Selanjutnya, sistem informasi dan manajemen laboratorium yang handal sangat penting bagi institusi pendidikan dalam mendukung pelaksanaan kegiatan Tri Dharma Perguruan Tinggi. Aplikasi Sistem Informasi *Online* Laboratorium Pendidikan (SIONLAP) adalah contoh dari sistem informasi dan manajemen laboratorium yang terorganisir dan terintegrasi, yang dikembangkan dengan mempertimbangkan peran, kebutuhan, dan pengalaman pengguna di lembaga pendidikan di Indonesia. SIONLAP membantu lembaga dalam mendukung perencanaan, dokumentasi, pelaporan, dan evaluasi terkait dengan perangkat laboratorium yang diperlukan oleh berbagai pihak, termasuk pengelola laboratorium, pendidik, staff kependidikan, mahasiswa, dan masyarakat umum. Ini diharapkan agar saat pelaksanaan kegiatan laboratorium, semua perangkat sudah tersedia dan siap untuk digunakan. Hingga tahun 2022, telah ada 130 lisensi yang diminati dan sudah digunakan di berbagai lembaga pendidikan, termasuk sekolah menengah kejuruan, Politeknik, dan Perguruan tinggi di seluruh Indonesia.

Pada hasil penelitian pertama, SIONLAP telah terbukti efektif dalam mengelola dan mengintegrasikan data, informasi dan layanan laboratorium secara *online* di lingkup Jurusan. Hal ini mencakup berbagai elemen data seperti: (1) pengelolaan personel; (2) koordinasi dosen yang bertanggung jawab atas praktikum; (3) pengelolaan peralatan; (4) manajemen bahan; (5) inventarisasi; (6) standart operasional prosedur; (7) modul praktikum; (8) penjadwalan praktikum; (9) informasi terkait skripsi atau tugas akhir; (10) umpan balik dan saran; (11) statistik penggunaan alat dan bahan; (12) dokumen mengenai kondisi alat dan bahan; (13) pengumuman; (14) proses peminjaman alat dan bahan; serta (15) proposal usulan pengadaan peralatan dan bahan yang didasarkan pada pengembangan modul praktikum dan pengembangan laboratorium (Fauzi 2017).



Gambar 1. Smart Laboratorium SIONLAP

Para pelajar sebagai pengguna laboratorium pendidikan, memiliki kemampuan untuk menggunakan berbagai perangkat laboratorium untuk memaksimalkan efektivitas belajar mereka. Kegiatan di laboratorium sering kali kompleks dan melibatkan banyak pengguna. Oleh karena itu, kebutuhan akan lingkungan yang nyaman sangat penting untuk mendukung konsentrasi. Dengan perkembangan aplikasi SIONLAP, sistem ini telah mampu memonitoring temperatur dan kelembaban udara dalam ruang laboratorium di tingkat jurusan. Perangkat yang telah dikembangkan menggunakan komponen sensor DHT 11 dan mikrokontroler Nodemcu Esp8266, diterapkan di Laboratorium Sistem Kendali dan Elektronika dan terintegrasi dengan SIONLAP. Namun, perangkat ini memiliki keterbatasan karena belum dilengkapi dengan alat kendali untuk memperbaiki kualitas udara di ruang laboratorium (Fauzi 2019).

Berdasarkan uraian di atas, tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan produk perangkat *IoT* untuk monitoring dan kendali *exhaust* guna mengatur aliran udara di ruang laboratorium dengan menggintegrasikan sistem ke teknologi *Hybrid WSN-SIONLAP*. Hasil yang diharapkan dari penelitian ini adalah penciptaan lingkungan pembelajaran dan penelitian yang kondusif dengan kualitas udara yang sehat dan nyaman, sehingga proses dan hasil kegiatan yang dilakukan diharapkan lebih optimal. Beberapa batasan dalam penelitian ini termasuk: 1) penerapan alat ini dibatasi pada dua ruang laboratorium, Laboratorium Sistem Kendali dan Laboratorium Elektronika; 2) perangkat yang dirancang hanya untuk monitoring dan kendali temperatur dan kelembaban udara sesuai dengan standar kenyamanan ruang kerja yang sesuai. Sistem ini menggintegrasikan perangkat *IoT* yang dikembangkan dengan aplikasi SIONLAP dengan metode pengolahan data, informasi, dan layanan laboratorium, serta monitoring dan kendali kualitas udara secara otomatis. Data mengenai kualitas udara yang dihasilkan oleh sistem ini dapat diakses dan dipantau secara *real-time* oleh pengguna ruangan melalui *platform web* SIONLAP.

2. Bahan dan Metode

Pelaksanaan kegiatan penelitian ini dilakukan pada bulan Maret hingga November tahun 2021, di Laboratorium Sistem Kendali dan Elektronika, Departemen Teknik Elektro dan Informatika Fakultas Teknik Universitas Negeri Malang. Penelitian ini dilaksanakan untuk menghasilkan produk perangkat dan sistem yang mampu memonitoring serta mengendalikan kualitas udara ruang laboratorium berbasis inovasi *Hybrid WSN-SIONLAP*.

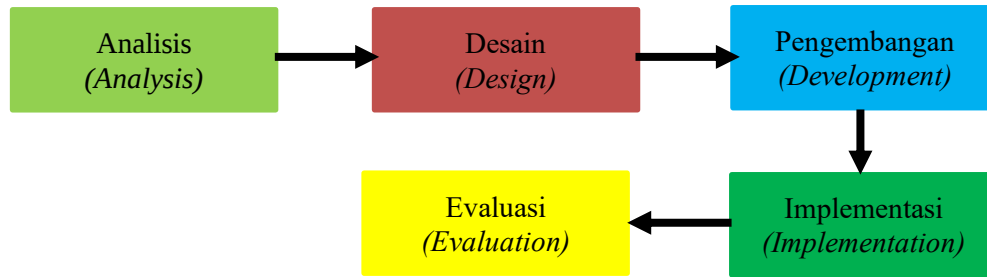
2.1. Bahan

Dalam penelitian ini, diperlukan berbagai peralatan *hand tools* seperti solder, tang pemotong, obeng, dan pinset. Alat pengukuran yang digunakan termasuk avometer digital SANWA CD800a dan Luxtron LM-8000 untuk mengukur temperatur serta kelembaban. Peralatan komputer yang meliputi server dan Lenovo x240 digunakan untuk proses pembuatan koding, penyimpanan, pengunggahan, serta pemantauan program aplikasi SIONLAP. Adapun bahan yang dipakai dibagi menjadi dua kategori: bahan umum dan khusus. Bahan umum termasuk timah, transistor, resistor, lampu LED, relay, konektor, socket, mur dan baut, lem tembak, pipa, kabel, galvanum, tali kabel, steker, dan stop kontak. Sementara itu, bahan khusus melibatkan sensor DHT 11, Nodemcu Esp 8266 V3, modul relay 1 channel, kabel data USB, *router* untuk konektivitas internet, *Arduino IDE 1.83*, *cloud google spreadsheet*, dan SIONLAP.

2.2. Metode

Pengembangan sistem monitoring dan pengendalian kualitas udara di laboratorium dengan menggunakan inovasi *Hybrid WSN-SIONLAP* dilakukan melalui metode penelitian dan pengembangan (R&D). Fokus utama adalah pada penciptaan atau penyempurnaan produk, dan model ADDIE diadopsi sebagai kerangka kerja dalam penelitian ini. Model ini memiliki tahapan sistematis untuk pengembangan alat dan sistem, yang diilustrasikan pada gambar 2, meliputi: (1) Analisis (*Analysis*): Tahapan ini melibatkan analisis kebutuhan untuk perangkat *IoT*, termasuk perangkat keras dan perangkat lunak yang akan dirancang dan dikembangkan. Ini dilakukan melalui studi literatur, pengumpulan data, dan dokumentasi; (2) Desain (*Design*): Pada tahapan ini, konsep perangkat *IoT* dirancang, termasuk merumuskan arsitektur sistem, serta menentukan teknologi dan protokol komunikasi yang akan diterapkan; (3) Pengembangan (*Development*): Ini adalah fase dimana prototipe awal dari perangkat *IoT* dan aplikasi SIONLAP dibuat dan diuji. Ini melibatkan penulisan kode program, perakitan perangkat keras, perangkat lunak dan pengujian awal untuk memverifikasi bahwa sistem beroperasi sesuai ekspektasi; (4) Implementasi (*Implementation*): Selama tahapan ini, perangkat atau aplikasi nyata dibuat dan diimplementasikan di laboratorium. Ini termasuk instalasi dan pengujian perangkat *IoT* di lokasi yang ditentukan, integrasi sistem ke aplikasi SIONLAP, peluncuran aplikasi, dan pelatihan pengguna tentang bagaimana menggunakan sistem yang baru dikembangkan; dan (5) Evaluasi (*Evaluation*): Ini adalah tahap penilaian akhir produk yang dikembangkan, dengan mengumpulkan dan menganalisis umpan balik dari pengguna SIONLAP dengan menggunakan metode kuesioner pengalaman pengguna (UEQ).

Metode ADDIE ini memberikan pendekatan terstruktur dan menyeluruh untuk pengembangan perangkat sistem monitoring dan pengendalian kualitas udara laboratorium dengan teknologi *Hybrid WSN-SIONLAP*.



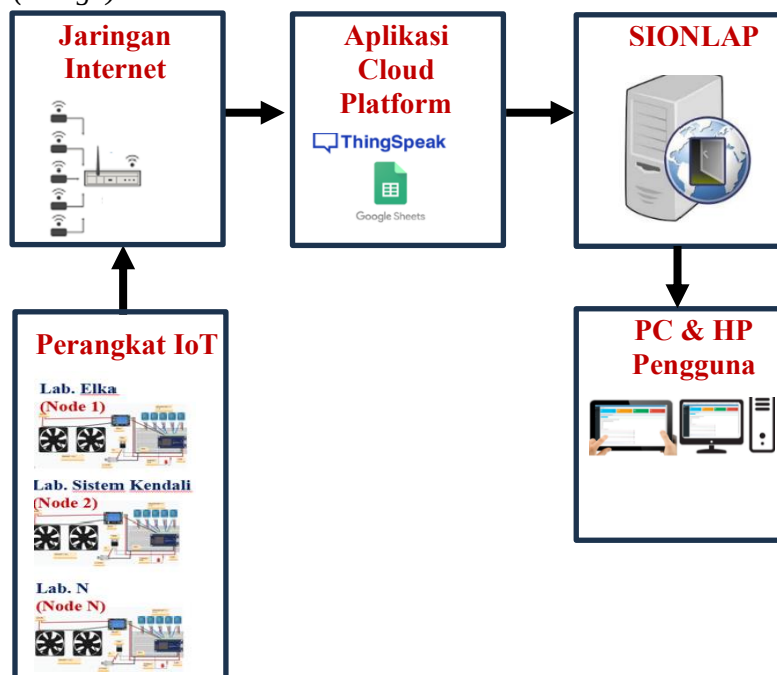
Gambar 2. Bagan Langkah Pengembangan Produk Model ADDIE

2.2.1. Analisis (Analysis)

Melakukan kegiatan di laboratorium yang terlalu panas atau lembab dapat mengakibatkan kelelahan lebih cepat, sementara berada dalam lingkungan yang terlalu dingin bisa mengakibatkan kehilangan fleksibilitas pada alat gerak tubuh akibat kekakuan fisik. Untuk mencapai ruang gerak yang memadai, udara bersih dan sehat, perpanjangan umur alat dan bahan, pemenuhan standar teknis pengukuran dan kalibrasi (Hadi Anwar 2018), serta kondisi lingkungan yang mendukung efektivitas pembelajaran, dibutuhkan sistem monitoring dan pengendalian temperatur serta kelembaban udara di ruang laboratorium. Persyaratan untuk lingkungan udara ruang kerja yang kondusif harus berada dalam rentang temperatur 18°C hingga 28°C dan kelembaban udara 40%RH hingga 60%RH, untuk mematuhi standar ini dan memenuhi kebutuhan kesehatan, peralatan seperti pengendali air *conditioner*, kipas angin, *dehumidifier*, dan *humidifier* harus diinstal (Kementerian Kesehatan 2022).

Perangkat yang dikembangkan harus mampu mendeteksi perubahan nilai temperatur dan kelembaban udara di ruang laboratorium, serta memiliki kemampuan untuk memonitoring dan mengendalikan kualitas udara agar kondisi tetap kondusif. Selain itu, perangkat tersebut harus mudah digunakan dan dapat diintegrasikan dengan sistem SIONLAP yang telah ada di Departemen Teknik Elektro FTUM.

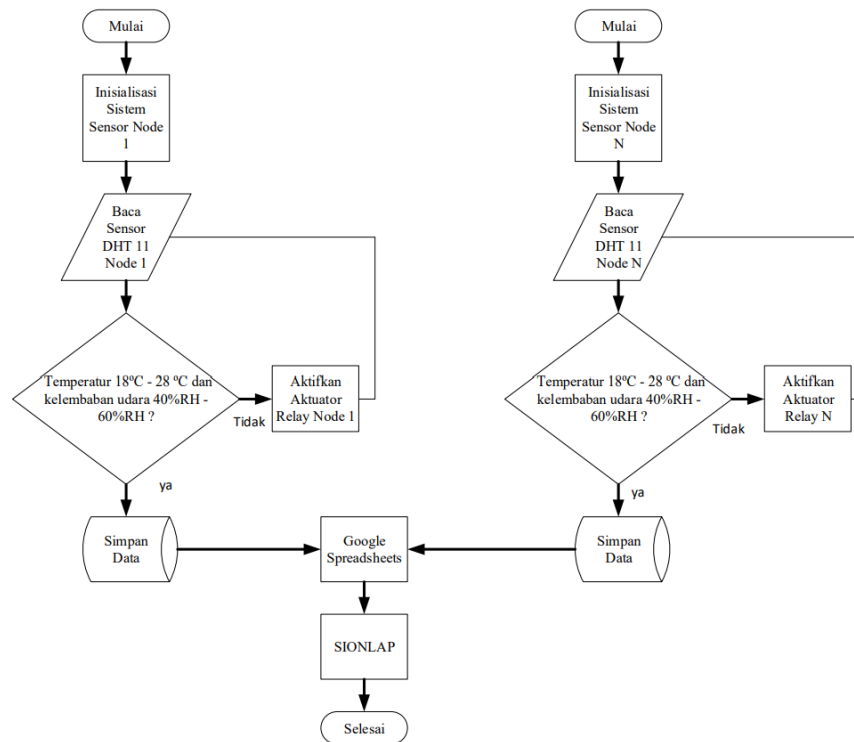
2.2.2. Desain (Design)



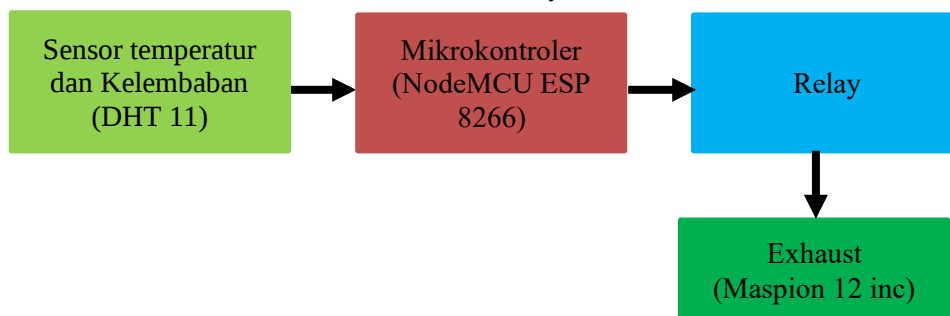
Gambar 3. Arsitektur Sistem Inovasi *Hybrid WSN-SIONLAP*

Berdasarkan analisis, desain rancangan produk yang diterapkan diilustrasikan pada gambar 3, 4 dan 5. Setiap *node* terpasang perangkat *IoT* yang dilengkapi 5 perangkat sensor DHT 11,

mikrokontroler Nodemcu Esp8266, relay, dan *Exhaust*. Sensor DHT 11 mendeteksi perubahan nilai temperatur dan kelembaban udara ruang laboratorium, data hasil deteksi akan diproses Nodemcu Esp8266 untuk mengaktifkan relay dan selanjutnya mengendalikan motor *exhaust*. Relay dan *exhaust* aktif ketika Nodemcu Esp8266 membaca nilai rata-rata temperatur dan kelembaban dari 5 sensor DHT 11 tidak kondusif. Selain itu data yang diproses Nodemcu Esp8266 akan di kirim ke *cloud computing google spreadsheet* melalui jaringan *internet* menggunakan protokol TCP/IP, selanjutnya kode *embedded* yang di peroleh dari *google spreadsheet* dikirim dan dikonfigurasi ke SIONLAP.



Gambar 4. Flowchart Inovasi Hybrid WSN-SIONLAP



Gambar 5. Bagan Langkah Pengembangan Produk IOT

2.2.3. Pengembangan (Development)

Tahap selanjutnya melakukan pengembangan perangkat keras, perangkat lunak dan melakukan pengujian awal perangkat *IoT* dari desain yang telah ditetapkan. Perangkat keras terdiri dari komponen elektronik sensor, mikrokontroler, relay, *exhaust* yang telah dipilih, sedangkan perangkat lunak berisi program yang berfungsi untuk mengumpulkan data dari sensor, melakukan pengolahan data, mengendalikan relay dan *exhaust* serta mengirimkan data ke platform *cloud computing google spreadsheet*.

A. Desain Perangkat Keras IoT

Berdasarkan gambar 5 perangkat *IoT* yang dikembangkan menggunakan komponen dengan karakteristik, spesifikasi dan desain rangkaian sebagai berikut :

1) Sensor DHT11

**Gambar 6.** Sensor DHT 11

Modul sensor DHT 11 menghasilkan *output* sinyal digital terkalibrasi. Sensor ini berfungsi untuk mendeteksi perubahan nilai temperatur dan kelembaban udara ruang laboratorium menggunakan sistem mikrokontroler 8-bit. Spesifikasi sensor yang dipakai adalah sebagai berikut:

- Tegangan catu daya: 3–5,5 VDC
- Range* temperatur: 0 - 50°C
- Range* kelembaban: 20 – 90 %RH
- Akurasi temperatur: $\pm 2^\circ\text{C}$
- Akurasi kelembaban: $\pm 5\% \text{RH}$

Koneksi pin sensor DHT 11 disajikan dalam tabel berikut :

Tabel 1. Koneksi Sensor DHT 11

No	Pin DHT 11	Simbol	Koneksi
1	1	VCC	Catu Daya 3 - 5 VDC
2	2	Out Data	Pin I/O Nodemcu ESP8266
3	3	GND	<i>Ground</i>

2) Nodemcu ESP8266 V3

Mikrokontroler Nodemcu Esp8266 V3 adalah pengembangan *firmware* berbasis LUA terbuka yang ditargetkan untuk aplikasi berbasis *IoT*, bekerja pada Wi-Fi ESP8266 SOC dari sistem *espressif*, perangkat keras yang bekerja berdasarkan modul ESP-12. Nodemcu Esp8266 menerima dan mengolah data dari 5 sensor DHT 11 yang terpasang di perangkat *IoT* yang ditempatkan di setiap *node*. Mikrokontroler mengaktifkan *actuator relay* saat rata-rata temperatur dan kelembaban dari 5 sensor DHT11 dalam kondisi tidak sesuai standar kenyamanan. Nodemcu Esp8266 juga akan mengirimkan data dan informasi ke server *google Spreadsheet* melalui perangkat jaringan *internet wireless network* melalui perangkat *router wifi*.

**Gambar 7.** Nodemcu ESP 8266 V3

Spesifikasi dasar nodemcu esp8266 V3 :

- Microcontroller*: Tensilica 32-bit RISC CPU Xtensa LX106
- Operating Voltage*: 3.3V
- Input Voltage*: 7-12V
- Digital I/O Pins (DIO)*: 16
- Analog Input Pins (ADC)*: 1
- UARTs*: 1
- SPIs*: 1
- I2Cs*: 1
- Flash Memory*: 4 MB
- SRAM*: 64 KB

- k) *Clock Speed: 80 MHz*
- l) *USB-TTL based on CP2102 is included onboard, Enabling Plug n Play*
- m) *PCB Antenna*
- n) *Small Sized module to fit smartly inside your IoT projects*

Koneksi pin Nodemcu ESP8266 ke sensor DHT 11 ke disajikan dalam tabel berikut :

Tabel 2. Koneksi Pin Nodemcu ESP8266 ke sensor DHT 11

No	Pin Nodemcu ESP8266	Pin Sensor DHT 11
1	3	Pin 3 DHT 11 no 1
2	4	Pin 3 DHT 11 no 2
3	6	Pin 3 DHT 11 no 3
4	7	Pin 3 DHT 11 no 4
5	1	Pin 3 DHT 11 no 5

3) Relay

Komponen *relay* mengendalikan motor *exhaust* yang memiliki tegangan listrik 220VAC 2A. Kumparan *relay* aktif ketika sinyal nodemcu esp8266 pada pin 2 bernilai *true*. Hal itu dengan asumsi nodemcu esp8266 membaca nilai rata-rata temperatur dan kelembaban 5 sensor DHT11 ruang laboratorium dalam kondisi tidak sesuai standar kenyamanan.



Gambar 8. Aktuator Relay

Koneksi pin Nodemcu ESP8266 ke Relay ke disajikan dalam tabel berikut :

Tabel 3. Koneksi Pin Nodemcu ESP8266 ke Relay

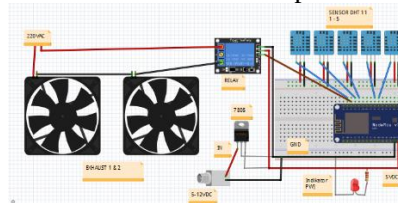
No	Pin NodeMCU ESP 8266	Koneksi ke
1	2	Relay

4) Exhaust

Exhaust fan membantu sirkulasi udara ketika temperatur dan kelembaban tidak kondusif, *exhaust* akan aktif mendorong residu keluar dari ruangan dan menggantinya dengan udara yang lebih bersih dari luar. *Exhaust fan* diaktifkan oleh modul *relay single channel*. Dalam penelitian ini, *exhaust fan* yang dipergunakan adalah Maspion 12inc. Pengembangan perangkat keras IoT secara keseluruhan di sajikan pada gambar 10.

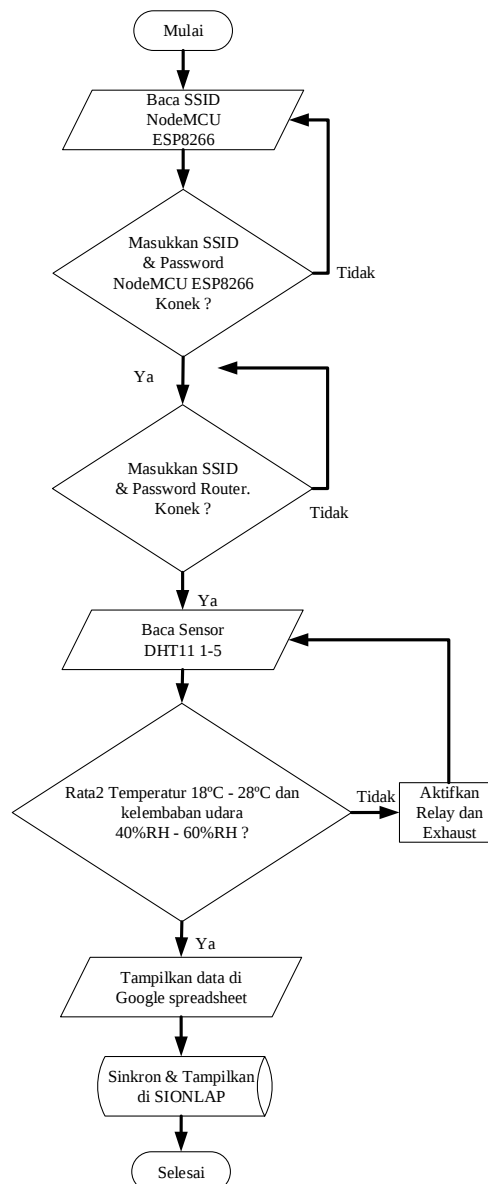


Gambar 9. Exhaust Maspion 12inc



Gambar 10. Rangkaian IoT Kendali Exhaust

B. Desain Perangkat Lunak *IoT*

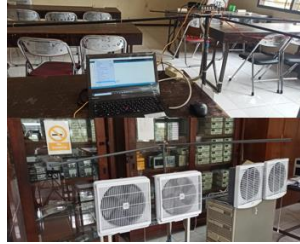


Gambar 11. Flowchart Sistem Perangkat Lunak *IoT*

Alur kerja untuk sistem perangkat *IoT* yang dikembangkan disajikan pada gambar 11. Prosesnya dimulai dengan mengaktifkan perangkat *IoT*, lalu mengunggah sketsa program *Arduino* ke *chip* mikrokontroler Nodemcu Esp8266. Setelah itu, Nodemcu Esp8266 diatur sebagai titik akses (*access point*). Untuk mengonfigurasi perangkat *IoT* ini, komputer atau telepon seluler harus terhubung dengan SSID SIONLAP 2021, dengan memasukkan password: 12345678. Langkah berikutnya adalah menghubungkan Nodemcu Esp8266 dengan *router wifi* di laboratorium. Pilih *router* yang sesuai, kemudian masukkan SSID dan *password* dari jaringan internet yang memiliki sinyal terkuat. Hal ini memungkinkan kestabilan komunikasi antara perangkat *IoT* produk yang sedang dikembangkan dengan jaringan internet serta aplikasi SIONLAP.

2.2.4. Implementasi (Implementation)

Tahap implementasi melibatkan pemasangan perangkat *IoT* di Laboratorium Sistem Kendali dan Elektronika. Untuk memantau dan mengumpulkan data kualitas udara secara *real-time* perangkat *IoT* di konfigurasi ke aplikasi WSN SIONLAP untuk memastikan semua perangkat bisa berkomunikasi dengan baik dengan platform google *Spreadsheet* dan SIONLAP.



Gambar 12. Realisasi Perangkat Keras *IoT* Laboratorium Sistem Kendali dan Elektronika

2.2.5. Evaluasi (Evaluation)

Tahap terakhir ini untuk mendapatkan penilaian dan mengevaluasi apakah produk yang telah dikembangkan telah mencapai tujuan merancang kusioner, mengirimkan, mengumpulkan dan menganalisa hasil penilaian umpan balik dari data kuesioner pengguna SIONLAP dengan menggunakan metode kuesioner pengalaman pengguna (UEQ) (Schrepp, M., Hinderks, A., and Thomaschewski, J. 2014), serta Analisis menggunakan aplikasi *UEQ tool*.

	1	2	3	4	5	6	7		
menyusahkan	○	○	○	○	○	○	○	menyenangkan	1
tak dapat dipahami	○	○	○	○	○	○	○	dapat dipahami	2
kreatif	○	○	○	○	○	○	○	monoton	3
mudah dipelajari	○	○	○	○	○	○	○	sulit dipelajari	4
bermanfaat	○	○	○	○	○	○	○	kurang bermanfaat	5
memboreskan	○	○	○	○	○	○	○	mengasyikkan	6
tidak menarik	○	○	○	○	○	○	○	menarik	7
tak dapat diprediksi	○	○	○	○	○	○	○	dapat diprediksi	8
cepat	○	○	○	○	○	○	○	lambat	9
berdaya cipta	○	○	○	○	○	○	○	konvensional	10
menghalangi	○	○	○	○	○	○	○	mendukung	11
baik	○	○	○	○	○	○	○	buruk	12
rumit	○	○	○	○	○	○	○	sederhana	13
tidak dikuasai	○	○	○	○	○	○	○	menggembirakan	14
lazim	○	○	○	○	○	○	○	terdepan	15
tidak nyaman	○	○	○	○	○	○	○	nyaman	16
aman	○	○	○	○	○	○	○	tidak aman	17
memotivasi	○	○	○	○	○	○	○	tidak memotivasi	18
memenuhi ekspektasi	○	○	○	○	○	○	○	tidak memenuhi ekspektasi	19
tidak efisien	○	○	○	○	○	○	○	efisien	20
jelas	○	○	○	○	○	○	○	membingungkan	21
tidak praktis	○	○	○	○	○	○	○	praktis	22
terorganisasi	○	○	○	○	○	○	○	berantakan	23
atraktif	○	○	○	○	○	○	○	tidak atraktif	24
ramah pengguna	○	○	○	○	○	○	○	tidak ramah pengguna	25
konservatif	○	○	○	○	○	○	○	inovatif	26

Gambar 13. Daftar Pertanyaan UEQ

3. Hasil dan Pembahasan

SIONLAP 2021

File

Edit

View

Insert

Format

Data

Tools

Add-ons

Help

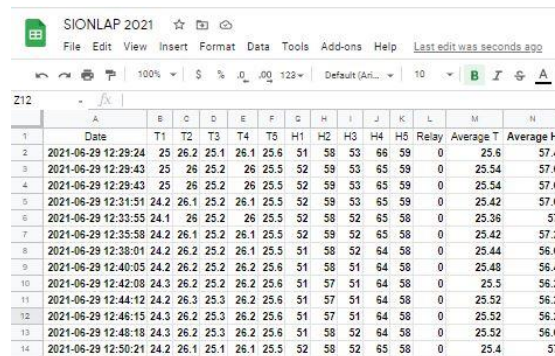
Last edit was seconds ago

</

Gambar 14. Potongan Grafik Monitoring dan Kendali Kualitas Laboratorium Sistem Kendali

Hasil pengujian monitoring dan kendali kualitas udara temperatur dan kelembaban ruang laboratorium dari produk yang dikembangkan disajikan pada gambar 14, 15, 16 dan 17. Pada gambar 14 dan 15 kolom *Date* menunjukkan waktu monitoring, kolom T1 merupakan variabel kondisi perubahan temperatur. Kolom H1 merupakan variabel kelembaban pada sensor DHT 11 ke 1, T2 dan H2 pada sensor DHT 11 ke 2, T3 dan H3 pada sensor DHT 11 ke 3, T4 dan H4 pada sensor DHT 11

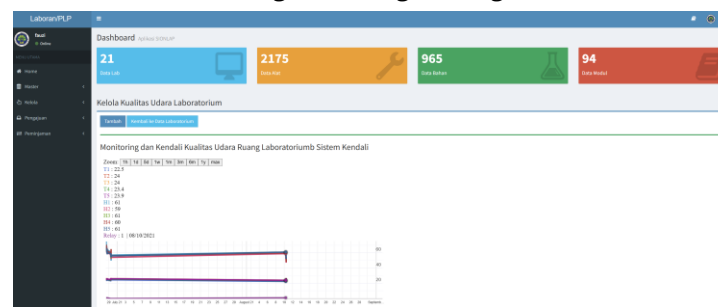
ke 4, dan T5 dan H5 pada sensor DHT 11 ke 5. Kolom relay menunjukkan dalam kondisi aktif (1) yang berarti rata-rata temperatur dan kelembaban pada kondisi tidak kondusif. Dengan kondisi tersebut, mikrokontroler Nodemcu Esp8266 mengendalikan *exhaust* untuk mendukung sirkulasi udara ruang laboratorium. Relay akan non aktif (0) ketika rata-rata temperatur dan kelembaban pada kondisi kondusif. Kolom *Average T* menunjukkan rata-rata nilai temperatur dari sensor DHT 1 sampai dengan 5 dan *Average H* menunjukkan rata-rata nilai kelembaban dari sensor DHT 1 sampai dengan 5.



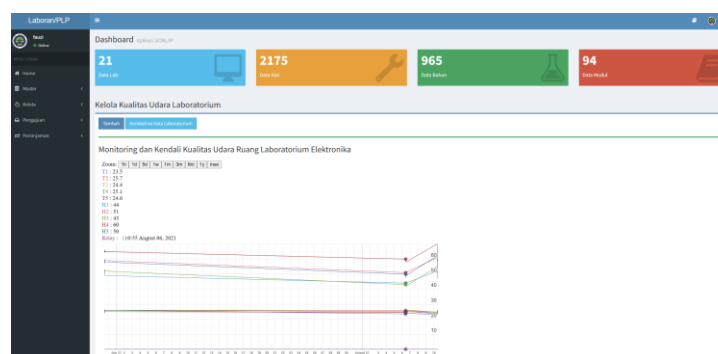
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
	Date	T1	T2	T3	T4	T5	H1	H2	H3	H4	H5	Relay	Average T	Average H
2	2021-06-29 12:29:24	25	26.2	25.1	26.1	25.6	51	58	53	66	59	0	25.6	57.4
3	2021-06-29 12:29:43	25	26	25.2	26	25.3	52	59	53	65	59	0	25.54	57.6
4	2021-06-29 12:29:43	25	26	25.2	26	25.3	52	59	53	65	59	0	25.54	57.6
5	2021-06-29 12:31:51	24.2	26.1	25.2	26.1	25.5	52	59	53	65	59	0	25.42	57.6
6	2021-06-29 12:33:55	24.1	26	25.2	26	25.5	52	58	52	65	58	0	25.36	57
7	2021-06-29 12:35:58	24.2	26.1	25.2	26.1	25.5	52	59	52	65	58	0	25.42	57.2
8	2021-06-29 12:38:01	24.2	26.2	25.2	26.1	25.5	51	58	52	64	58	0	25.44	56.6
9	2021-06-29 12:40:05	24.2	26.2	25.2	26.2	25.6	51	58	51	64	58	0	25.48	56.4
10	2021-06-29 12:42:08	24.3	26.2	25.2	26.2	25.6	51	57	51	64	58	0	25.5	56.2
11	2021-06-29 12:44:12	24.2	26.3	25.3	26.2	25.6	51	57	51	64	58	0	25.52	56.2
12	2021-06-29 12:46:15	24.3	26.2	25.3	26.2	25.6	51	57	51	64	58	0	25.52	56.2
13	2021-06-29 12:48:18	24.3	26.2	25.3	26.2	25.6	51	58	52	64	58	0	25.52	56.6
14	2021-06-29 12:50:21	24.2	26.1	25.1	26.1	25.5	52	58	52	65	58	0	25.4	57

Gambar 15. Grafik Monitoring dan Kendali Kualitas Laboratorium Elektronika

Pada gambar 16 dan 17 menunjukkan perangkat *IoT* yang terpasang di Laboratorium Sistem Kendali dan Elektronika bisa berkomunikasi dengan SIONLAP serta bisa menampilkan grafik monitoring dan kendali kualitas udara ruang di masing-masing laboratorium.



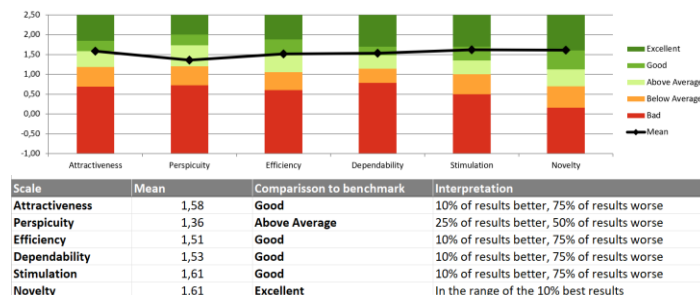
Gambar 16. Grafik Monitoring dan Kendali Kualitas Udara Laboratorium Sistem Kendali



Gambar 17. Grafik Monitoring dan Kendali Kualitas Udara Laboratorium Elektronika

Berdasarkan analisis data pengujian, dari 83 responden orang terdiri 6 dosen, 28 PLP/Teknisi, dan 49 mahasiswa/siswa. aspek *hedonic quality* mendapatkan nilai tertinggi sebesar 1,61, dengan rincian: (1) nilai aspek UQ stimulasi 1,61. Data ini menunjukkan bahwa SIONLAP bermanfaat dan memotivasi pengguna untuk mempergunakannya (2) nilai kebaruan (*novelty*) 1,61, data ini menunjukkan rancangan SIONLAP memiliki kebaruan. Aplikasi SIONLAP merupakan sistem manajemen informasi laboratorium yang menarik dan nyaman bagi pengguna, karena aspek daya tarik (*Attractiveness*) memiliki impresi positif sebesar 1,58. Pada aspek *pragmatic quality* aspek ketepatan (*dependability*) memperoleh tertinggi sebesar 1,53. Hal ini menandakan interaksi sistem SIONLAP dapat dikontrol oleh pengguna. Aspek efisiensi mendapatkan nilai sebesar 1,51

menghasilkan impresi positif yang menunjukkan pengguna menggunakan SIONLAP dapat menyelesaikan tugas dengan cepat. Kejelasan (*perspicuity*), mendapatkan nilai sebesar 1,36, menunjukkan sistem SIONLAP mudah untuk dipahami serta dipelajari oleh pengguna, hal ini dikarenakan faktor kejelasan dan kemudahan pada penelitian ini mendapatkan nilai positif. Dari data hasil perbandingan dengan skala *benchmark*, yang ditunjukkan pada gambar 18, menunjukkan aspek Kebaruan (*novelty*) bernilai bagus sekali (*Excellent*), bernilai baik pada aspek daya tarik (*attractiveness*), efisiensi (*efficiency*), ketepatan (*dependability*), dan Stimulasi (*stimulation*) dan bernilai di atas rata-rata pada aspek kejelasan (*perspicuity*).



Gambar 18. Perbandingan Skala *Benchmark*

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian pengembangan produk, kendali *exhaust* berbasis WSN-SIONLAP aktif bekerja. Data hasil pengamatan selama pengembangan menunjukkan perubahan positif yang signifikan. Standar kualitas standar baku tentang persyaratan lingkungan udara ruang kerja yang kondusif, berhasil dicapai. Pencapaian positif tersebut akibat sirkulasi kualitas udara ruang laboratorium membaik berkat dukungan rangkaian kendali *exhaust* berbasis WSN-SIONLAP yang bekerja secara otomatis.

Berdasarkan analisa pengalaman pengguna SIONLAP:

1. Pengukuran aspek *hedonic quality* mendapatkan nilai 1,61, *Attractiveness* memiliki impresi positif sebesar 1,584 dan aspek *pragmatic quality* mendapatkan nilai 1,47.
2. Seluruh aspek UX yang di uji mendapatkan hasil positif.
3. Hasil *benchmark*, menunjukkan aspek Kebaruan (*novelty*) baik sekali, aspek daya tarik (*attractiveness*), efisiensi (*efficiency*), ketepatan (*dependability*), dan Stimulasi (*stimulation*) bernilai baik dan aspek kejelasan (*perspicuity*) bernilai di atas rata-rata.
4. Dari hasil penelitian ini dapat dijadikan dasar untuk pengembangan dan implementasi sistem SIONLAP di Lembaga pendidikan.

Dari hasil penelitian ini dapat dijadikan dasar untuk pengembangan dan implementasi sistem SIONLAP di Lembaga pendidikan di Indonesia.

Ucapan terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. UPT LP2M Universitas Negeri Malang yang telah memberikan dukungan dalam penelitian ini melalui dana hibah PNPB.
2. Laboratorium Departemen Teknik Elektro dan Informatika Fakultas Teknik Universitas Negeri Malang atas sarana dan prasarana yang disediakan selama penelitian.

Daftar Pustaka

- Al-Taai, S. H. H., Kanber, H. A., & Al-Dulaimi, W. A. M. 2023. "The Importance of Using the Internet of Things in Education. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*. 18(1), 19–39. <https://doi.org/10.3991/ijet.v18i01.35999>.
- Fauzi, R. 2019. "Sionlap V2: Desain Dan Implementasi Internet of Things Monitoring Temperatur Dan Kelembaban Ruang Laboratorium." *Integrated Lab Journal*, 07(02): 52–61.

- Fauzi, R., Smaragdina, A. A., Alqodri, F., and Wibowo, F. S. 2021. "Benchmarking the User Experience of SIONLAP (Sistem Informasi Online Laboratorium Pendidikan) an IT-based Laboratory Management System." In *7th International Conference on Electrical, Electronics and Information Engineering: Technological Breakthrough for Greater New Life, ICEEIE 2021*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/ICEEIE52663.2021.9616704>
- Fauzi, R., Smaragdina, A. A., and Alqodri, F. 2022. *Manajemen Laboratorium Pendidikan Berbasis SIONLAP*. Malang: Ahlimedia Press.
- Hadi Anwar. 2018. *Persyaratan Umum Kompetensi Laboratorium Pengujian & Laboratorium Kalibrasi ISO/ie 17025:2017*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Kementerian Kesehatan. 2022. "Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja, Perkantoran dan Industri." <https://satudata.dinkes.riau.go.id/sites/default/files/Kepmenkes%20No%201405%20th%202002%20ttg%20PERSYARATAN%20KESEHATAN-LINGKUNGAN-KERJA-PERKANTORAN-DAN-INDUSTRI.pdf> (accessed August 9, 2023).
- Lin, Q. and Zhao Q. 2021. "IoT Applications in Healthcare, in: International Series in Operations Research and Management Science." Springer, pp. 115–133. doi:10.1007/978-3-030-70478-0_7.
- Mahbub, M. 2020. "A smart farming concept based on smart embedded electronics, internet of things and wireless sensor network. *Internet of Things (Netherlands)*." <https://doi.org/10.1016/j.iot.2020.100161>.
- Muladi, M., Marji, M., Wayhu, H., and Hidayat, S. 2017. "Open Source Wireless Sensor Network Classroom Monitoring System." Atlantis Press. <https://doi.org/10.2991/icovet-17.2017.33>.
- Sohraby, K., Minoli, D., and Znati, T. 2007. "Wireless Sensor Network: Technology, Protocol, and Applications." New Jersey: Willy Interscience. pp. 15-37.
- Schrepp, M., Hinderks, A., and Thomaschewski, J. 2014. "Applying the user experience questionnaire (UEQ) in different evaluation scenarios. In Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)." (Vol. 8517 LNCS, pp. 383–392). Springer Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-319-07668-3_37.
- UEQ. "UEQ User Experience Questionnaire." <https://www.ueq-online.org/> (accessed August 7, 2023).
- Qi, X., Mei, G., Piccialli, F., 2021. Resilience Evaluation of Urban Bus-Subway Traffic Networks for Potential Applications in IoT-Based Smart Transportation. *IEEE Sensors Journal* 21, 25061–25074. doi:10.1109/JSEN.2020.3046270