

Pengisian poin C sampai dengan poin H mengikuti template berikut dan tidak dibatasi jumlah kata atau halaman namun disarankan ringkas mungkin. Dilarang menghapus/modifikasi template ataupun menghapus penjelasan di setiap poin.

C. HASIL PELAKSANAAN PENELITIAN: Tuliskan secara ringkas hasil pelaksanaan penelitian yang telah dicapai sesuai tahun pelaksanaan penelitian. Penyajian meliputi data, hasil analisis, dan capaian luaran (wajib dan atau tambahan). Seluruh hasil atau capaian yang dilaporkan harus berkaitan dengan tahapan pelaksanaan penelitian sebagaimana direncanakan pada proposal. Penyajian data dapat berupa gambar, tabel, grafik, dan sejenisnya, serta analisis didukung dengan sumber pustaka primer yang relevan dan terkini.

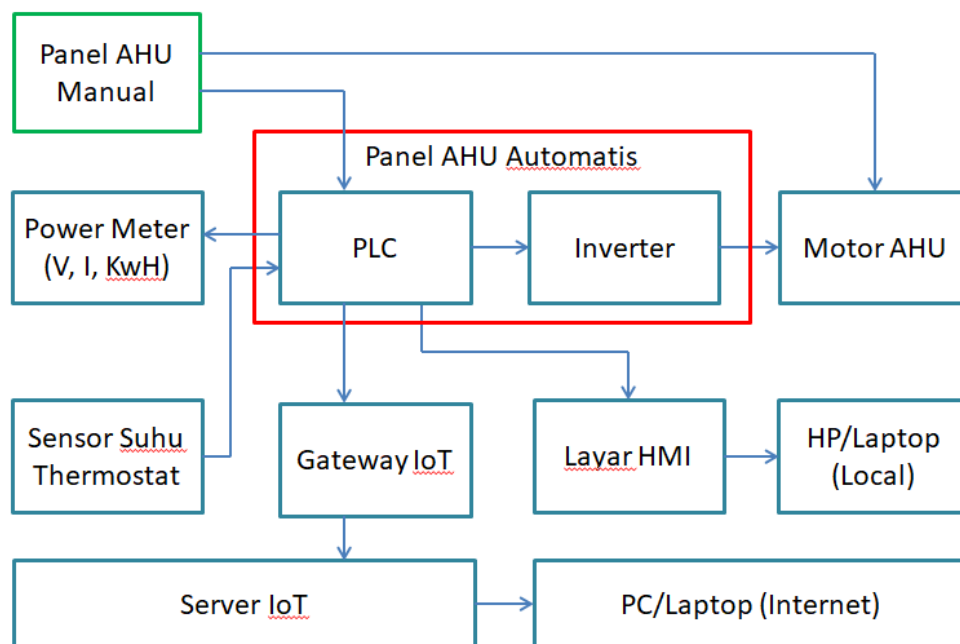
Pada tahun pertama (2021) penelitian fokus kepada perakitan komponen alat monitoring mesin air handling unit (AHU), instalasi dan konfigurasi jaringan lokal dan akses internet of things (IoT), dan pengembangan aplikasi dashboard berbasis human machine interface (HMI).

Pada tahun kedua (2022) penelitian fokus kepada perbaikan dari topologi jaringan, sistem komunikasi data, instalasi , konfigurasi perangkat (sensor, aktuator, display dan server) , pengujian dalam mengakses data dan pengembangan aplikasi dashboard berbasis web.

Pada tahun ketiga (2023) penelitian fokus kepada pengembangan aplikasi dashboard berbasis web, pembuatan model kecerdasan buatan, dan penyusunan buku monograf.

1. Topologi Jaringan

Komponen yang digunakan dalam sistem ini terdiri dari sensor, panel HMI, PLC, Inverter, Motor AHU, Microcontroller, Laptop/PC dan Server IoT sebagai bagian dari topologi yang tergambar pada diagram berikut.

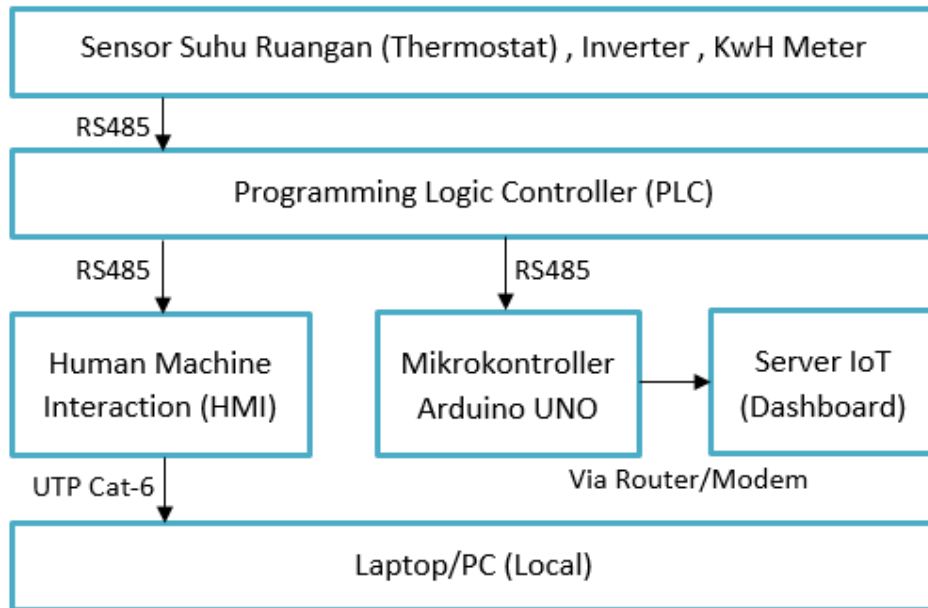


Gambar 1. Topologi Jaringan Kendali Mesin AHU

Sensor suhu membaca data dan mengirimkan ke PLC. Jika suhu dalam kondisi panas maka PLC akan menginstruksikan inverter untuk memutar motor AHU dan mengalirkan udara dingin. Pada saat yang bersamaan PLC juga akan menampilkan data terkini terkait suhu dan kondisi inverter kedalam panel HMI. Data yang tampil didalam HMI dikirimkan ke Microcontroller Arduino UNO dan disimpan kedalam Server IoT. User dapat membaca data menggunakan laptop dengan terhubung ke jaringan lokal dan melalui jaringan internet. Server IoT yang digunakan adalah Thingspeak.

2. Sistem Komunikasi Data

Sistem komunikasi data merupakan sebuah metode yang digunakan untuk mengirim, menerima dan memproses data dari suatu komponen ke komponen lain. Berikut ini diagram dari sistem komunikasi data yang digunakan.



Gambar 2. Sistem Komunikasi Data Kendali Mesin AHU

Komunikasi data yang digunakan oleh sensor suhu, inverter dan PLC ke HMI dan ke Mikrokontroller Arudiono UNO, yaitu kabel RS485 dengan kecepatan transfer data sebesar 10 Mbps. Sedangkan komunikasi data dari HMI ke Laptop/PC lokal menggunakan kabel UTP Cat-6 dengan kecepatan transfer sebesar 1000 Mbps. Pengiriman data dari Mikrokontroller Arduino UNO ke Server IoT menggunakan router/modem melalui protokol HTTP.

3. Instalasi dan Konfigurasi

Proses instalasi dimulai dari pemasangan box panel yang menyimpan PLC. Kemudian pemasangan kabel RS485 untuk menghubungkan PLC dengan HMI. Kabel UTP dipasang untuk menghubungkan ke laptop/PC. Selanjutnya pemasangan sensor inverter yang terhubung dengan motor AHU. Berikut ini adalah foto-foto instalasi perangkat.



Gambar 3. Instalasi Box Panel



Gambar 4. Instalasi Kabel RS485



Gambar 5. Instalasi Kabel UTP

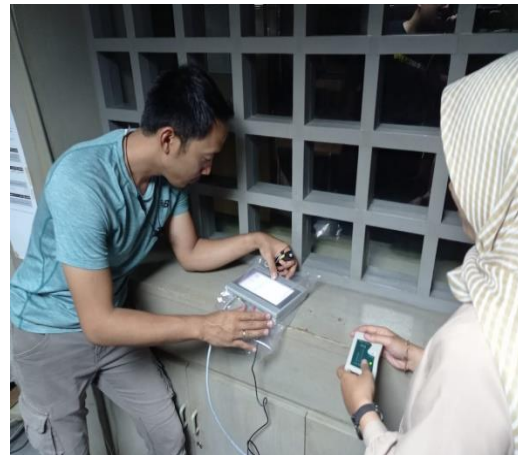


Gambar 6. Instalasi Inverter

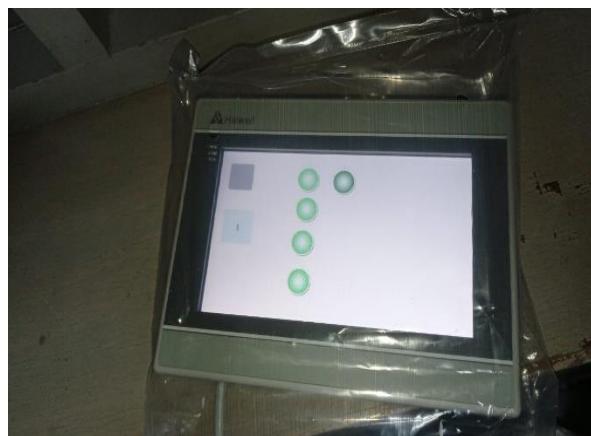
Konfigurasi yang dilakukan antara lain memprogram PLC dan tampilan dari HMI. Fungsi program akan membaca data dari sensor suhu dan memberikan instruksi ke inverter. Bahasa pemrograman yang digunakan adalah LADR. Berikut ini adalah foto-foto konfigurasi yang dilakukan.



Gambar 7. Konfigurasi PLC



Gambar 8. Konfigurasi HMI

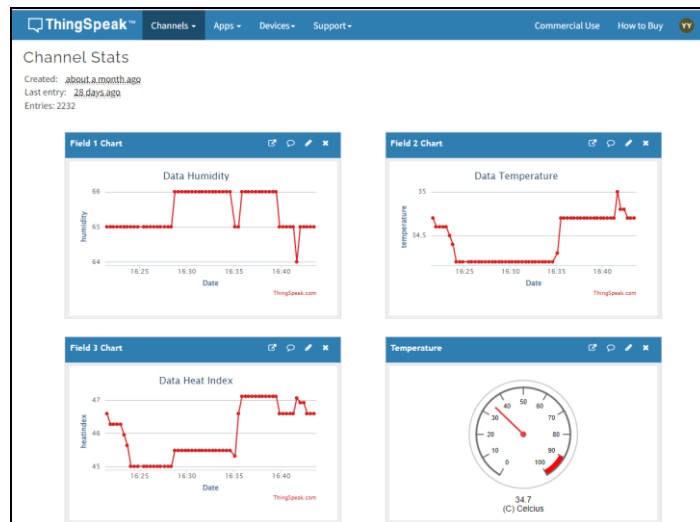


Gambar 9. Tampilan HMI

PLC dan HMI yang telah dikonfigurasi dapat berjalan dengan baik dan fungsi yang telah diprogram juga telah dapat membaca data dan mengirim data.

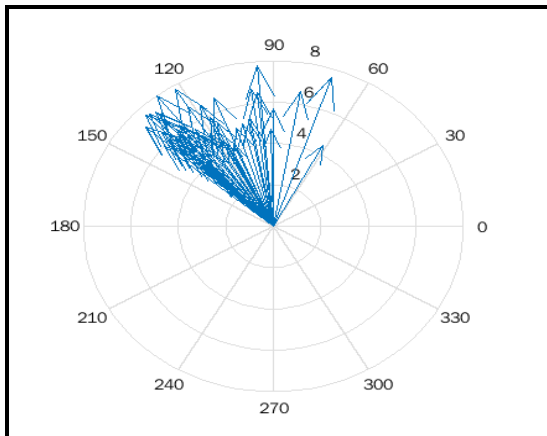
4. Tampilan IoT Dashboard dan Pengujian Akses Data

Berikut ini adalah tampilan dari IoT dashboard berbasis Thingspeak. Visualisasi yang digunakan adalah menggunakan grafik garis dan regulator meter.

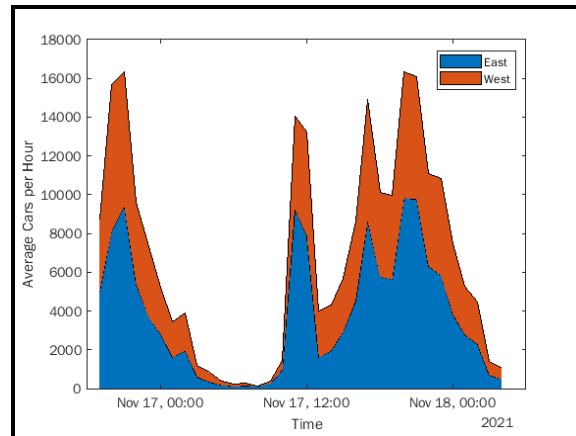


Gambar 10. Tampilan Grafik Garis dan Regulator Meter

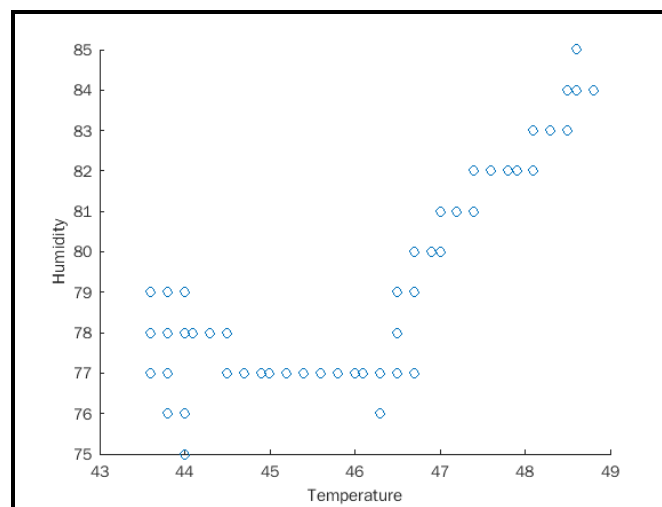
Pada tampilan diatas akan diketahui data record yang terbaca dan tersimpan didalam IoT dashboard. Selanjutnya pengujian dilakukan menggunakan analisis trend, korelasi antar data sensor dan trafik komparasi data yang disajikan melalui visualisasi berikut.



Gambar 11. Pengujian Trend Data



Gambar 12. Pengujian Komparasi Trafik Data



Gambar 13. Pengujian Korelasi Data Antar Sensor

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa ada korelasi antara suhu dengan kelembapan dari ruangan yang dikontrol secara otomatis melalui HMI dan PLC.

5. Analisis Kebutuhan Sistem Dashboard

Sistem dashboard digunakan untuk memantau penggunaan energi dari mesin AHU. Adapun variabel yang dipantau antara lain, tegangan (*voltage*), frekuensi, daya (*watt*) dan putaran motor mesin AHU. Pemantauan energi dilakukan untuk menghitung dan melakukan kalkulasi beban listrik dengan tujuan penghematan listrik. Power meter digunakan untuk mendapatkan data dari energi yang digunakan oleh mesin AHU (gambar 14).

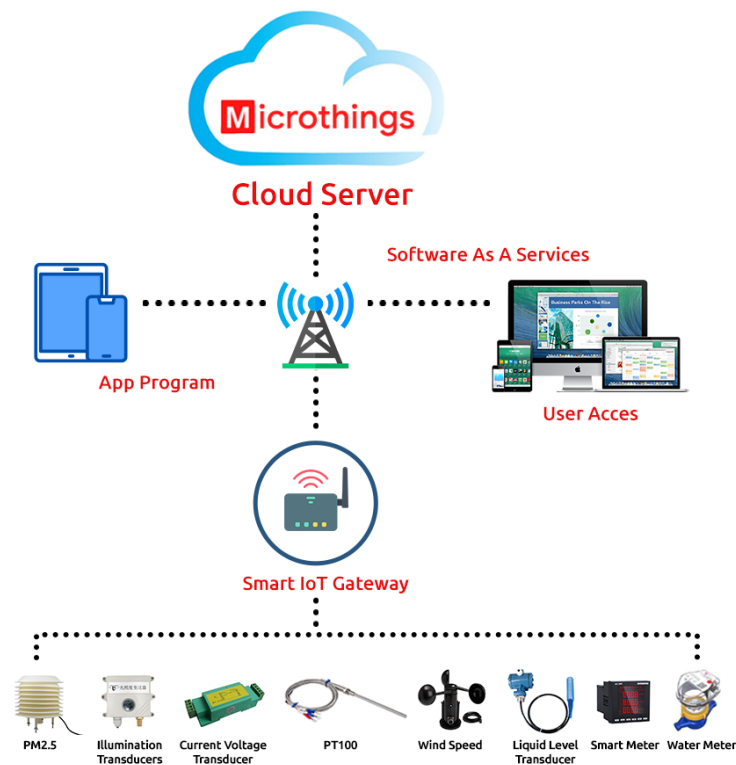


Gambar 14. Power Meter

Power meter memiliki sistem komunikasi RS485 yang dapat digunakan untuk berkomunikasi dengan PLC. Data yang disimpan dari PLC akan ditampilkan ke Power Meter. Dashboard dikembangkan berbasis platform web dengan menggunakan program HTML dan CSS.

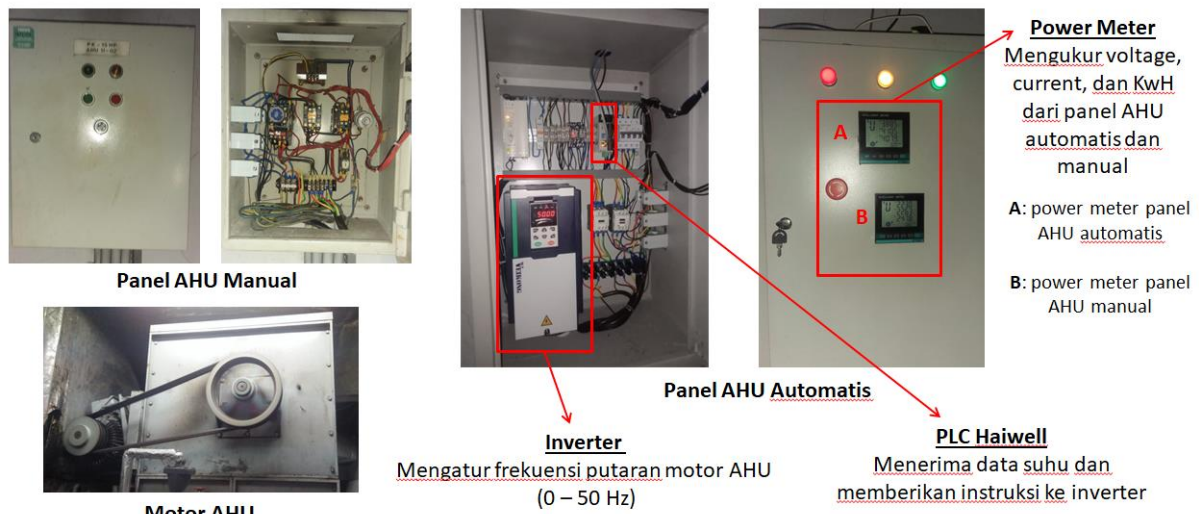
6. Sistem Komunikasi Data Microservices

PLC akan menyimpan data yang dibaca oleh sensor dan Power Meter akan disimpan secara berkala. Microthings digunakan sebagai IoT Gateway untuk meneruskan data dari PLC yang akan disimpan ke server. Adapun sistem komunikasi yang digunakan dari PLC ke Microthings adalah dengan komunikasi serial RS485. Pengiriman data dari Microthings ke dalam Cloud Server menggunakan protokol MQTT melalui media jaringan Wifi. Berikut ini adalah diagram dari sistem komunikasi data yang digunakan.



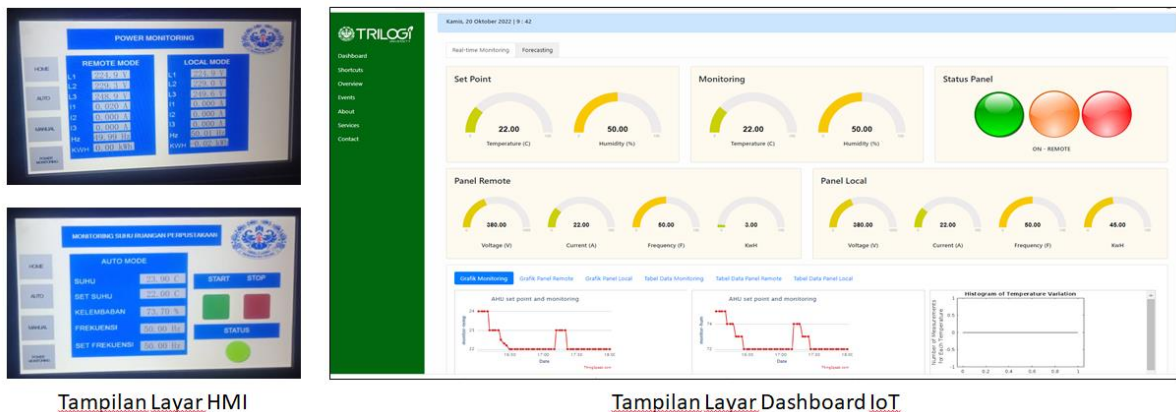
Gambar 15. Sistem Komunikasi Data Microthings IoT Gateway

Cloud Server yang digunakan bersifat open platform, yaitu data yang telah terkirim akan disimpan kedalam node yang telah dikonfigurasi. Pembacaan data dari Cloud Server menggunakan API dengan format JSON yang bersifat *microservices*. Data yang telah terbaca akan ditampilkan kedalam Dashboard.



Gambar 16. Integrasi dengan panel AHU manual dan panel AHU otomatis

Pada gambar 16 terlihat bahwa pada penelitian lanjutan ditahun 2022 ini, dilaksanakan proses integrasi dilakukan antara panel AHU manual dengan otomatis untuk dapat membaca data penggunaan daya dari kedua AHU tersebut.



Gambar 16. Dashboard Monitoring IoT panel AHU manual dan panel AHU otomatis

Dashboard IoT dikembangkan berbasis Bootstrap menggunakan pemrograman HTML, CSS, dan Javascript. Pembacaan data ke server IoT melalui alamat API menggunakan komunikasi data HTTP GET dengan format JSON. Aplikasi HMI berjalan pada mobilephone menggunakan platform Haiwell Cloud Apps.

```
[API Suhu]
https://api.thingspeak.com/channels/1899593/fields/3.json
[API Kelembapan]
https://api.thingspeak.com/channels/1899593/fields/4.json
[API Voltage]
- auto : https://api.thingspeak.com/channels/1899594/fields/1.json
- local : https://api.thingspeak.com/channels/1899597/fields/1.json
[API Current]
- auto : https://api.thingspeak.com/channels/1899594/fields/2.json
- local : https://api.thingspeak.com/channels/1899597/fields/2.json
[API Frequency]
- auto : https://api.thingspeak.com/channels/1899594/fields/3.json
- local : https://api.thingspeak.com/channels/1899597/fields/3.json
[API kWh]
- auto : https://api.thingspeak.com/channels/1899594/fields/4.json
- local : https://api.thingspeak.com/channels/1899597/fields/4.json
```

Gambar 17. Alamat Akses API Data IoT Pada Server



```
{
  "channel": {
    "id": "1899593",
    "name": "AHU set point and monitoring",
    "latitude": "0.0",
    "longitude": "0.0",
    "field1": "setpoint-temp",
    "field2": "setpoint-hum",
    "field3": "monitor-temp",
    "field4": "monitor-hum",
    "created_at": "2022-10-19T04:06:20Z",
    "updated_at": "2022-10-19T04:06:32Z",
    "last_entry_id": 48
  },
  "feeds": [
    {
      "created_at": "2022-10-19T09:02:00Z",
      "entry_id": 1,
      "field3": "24.0"
    },
    {
      "created_at": "2022-10-19T09:07:00Z",
      "entry_id": 2,
      "field3": "24.0"
    },
    {
      "created_at": "2022-10-19T09:10:00Z",
      "entry_id": 3,
      "field3": "24.0"
    },
    {
      "created_at": "2022-10-19T09:12:00Z",
      "entry_id": 4,
      "field3": "24.0"
    },
    {
      "created_at": "2022-10-19T09:15:00Z",
      "entry_id": 5,
      "field3": "23.0"
    },
    {
      "created_at": "2022-10-19T09:17:00Z",
      "entry_id": 6,
      "field3": "23.0"
    },
    {
      "created_at": "2022-10-19T09:20:00Z",
      "entry_id": 7,
      "field3": "23.0"
    },
    {
      "created_at": "2022-10-19T09:22:00Z",
      "entry_id": 8,
      "field3": "23.0"
    },
    {
      "created_at": "2022-10-19T09:25:00Z",
      "entry_id": 9,
      "field3": "22.5"
    },
    {
      "created_at": "2022-10-19T09:27:00Z",
      "entry_id": 10,
      "field3": "22.3"
    },
    {
      "created_at": "2022-10-19T09:30:00Z",
      "entry_id": 11,
      "field3": "22.2"
    },
    {
      "created_at": "2022-10-19T09:32:00Z",
      "entry_id": 12,
      "field3": "22.0"
    },
    {
      "created_at": "2022-10-19T09:35:00Z",
      "entry_id": 13,
      "field3": "22.0"
    },
    {
      "created_at": "2022-10-19T09:37:00Z",
      "entry_id": 14,
      "field3": "22.0"
    },
    {
      "created_at": "2022-10-19T09:40:00Z",
      "entry_id": 15,
      "field3": "22.0"
    },
    {
      "created_at": "2022-10-19T09:42:00Z",
      "entry_id": 16,
      "field3": "22.0"
    },
    {
      "created_at": "2022-10-19T09:45:00Z",
      "entry_id": 17,
      "field3": "22.0"
    },
    {
      "created_at": "2022-10-19T09:47:00Z",
      "entry_id": 18,
      "field3": "22.0"
    },
    {
      "created_at": "2022-10-19T09:50:00Z",
      "entry_id": 19,
      "field3": "22.0"
    },
    {
      "created_at": "2022-10-19T09:52:00Z",
      "entry_id": 20,
      "field3": "22.0"
    },
    {
      "created_at": "2022-10-19T09:55:00Z",
      "entry_id": 21,
      "field3": "22.0"
    },
    {
      "created_at": "2022-10-19T09:57:00Z",
      "entry_id": 22,
      "field3": "22.0"
    },
    {
      "created_at": "2022-10-19T10:00:00Z",
      "entry_id": 23,
      "field3": "22.0"
    },
    {
      "created_at": "2022-10-19T10:02:00Z",
      "entry_id": 24,
      "field3": "22.0"
    },
    {
      "created_at": "2022-10-19T10:05:00Z",
      "entry_id": 25,
      "field3": "22.0"
    },
    {
      "created_at": "2022-10-19T10:07:00Z",
      "entry_id": 26,
      "field3": "22.0"
    },
    {
      "created_at": "2022-10-19T10:10:00Z",
      "entry_id": 27,
      "field3": "22.0"
    },
    {
      "created_at": "2022-10-19T10:12:00Z",
      "entry_id": 28,
      "field3": "22.0"
    },
    {
      "created_at": "2022-10-19T10:15:00Z",
      "entry_id": 29,
      "field3": "23.0"
    },
    {
      "created_at": "2022-10-19T10:17:00Z",
      "entry_id": 30,
      "field3": "23.0"
    },
    {
      "created_at": "2022-10-19T10:20:00Z",
      "entry_id": 31,
      "field3": "23.0"
    },
    {
      "created_at": "2022-10-19T10:22:00Z",
      "entry_id": 32,
      "field3": "23.0"
    },
    {
      "created_at": "2022-10-19T10:25:00Z",
      "entry_id": 33,
      "field3": "22.0"
    },
    {
      "created_at": "2022-10-19T10:27:00Z",
      "entry_id": 34,
      "field3": "22.0"
    },
    {
      "created_at": "2022-10-19T10:30:00Z",
      "entry_id": 35,
      "field3": "22.0"
    },
    {
      "created_at": "2022-10-19T10:32:00Z",
      "entry_id": 36,
      "field3": "22.0"
    },
    {
      "created_at": "2022-10-19T10:35:00Z",
      "entry_id": 37,
      "field3": "22.0"
    },
    {
      "created_at": "2022-10-19T10:37:00Z",
      "entry_id": 38,
      "field3": "22.0"
    },
    {
      "created_at": "2022-10-19T10:40:00Z",
      "entry_id": 39,
      "field3": "22.0"
    },
    {
      "created_at": "2022-10-19T10:42:00Z",
      "entry_id": 40,
      "field3": "22.0"
    },
    {
      "created_at": "2022-10-19T10:45:00Z",
      "entry_id": 41,
      "field3": "22.0"
    },
    {
      "created_at": "2022-10-19T10:47:00Z",
      "entry_id": 42,
      "field3": "22.0"
    },
    {
      "created_at": "2022-10-19T10:50:00Z",
      "entry_id": 43,
      "field3": "22.0"
    },
    {
      "created_at": "2022-10-19T10:52:00Z",
      "entry_id": 44,
      "field3": "22.0"
    },
    {
      "created_at": "2022-10-19T10:55:00Z",
      "entry_id": 45,
      "field3": "22.0"
    },
    {
      "created_at": "2022-10-19T11:00:00Z",
      "entry_id": 46,
      "field3": "22.0"
    },
    {
      "created_at": "2022-10-19T11:00:00Z",
      "entry_id": 47,
      "field3": "22.0"
    },
    {
      "created_at": "2022-10-19T11:00:00Z",
      "entry_id": 48,
      "field3": "22.0"
    }
  ]
}
```

Gambar 18. tampilan pembacaan data suhu melalui API dari server IoT

Pada gambar 17 dan 18 terlihat bahwa Pembacaan data dilakukan menggunakan API dari server IoT dengan format luaran berbasis JSON. Variabel yang dibaca antara lain, suhu, kelembapan, voltage, current, frequency, dan kwh.

7. Pengolahan Data Sensor

- 1) Pengambilan data dari server IoT melalui API.
- 2) Kompilasi data menjadi file CSV. Adapun variabel yang digunakan antara lain: suhu ruangan, panel AHU otomatis dan panel AHU manual (voltage, current, frequency, KwH).
- 3) Analisis statistik korelasi dengan metode *Pearson*.

$$r_{xy} = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{\sqrt{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \sqrt{n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2}}$$

- 4) Teknik analisis korelasi menggunakan pemrograman Python melalui platform <https://colab.research.google.com/>

monitor-temp	monitor-hum	voltage_R	current_R	frequency_R	kwh_R	voltage_L	current_L	frequency_L	kwh_L
24	75	382	20	10	0.25	385	20	50	1
24	75	384	20	25	0.5	389	20	50	2
24	75	380	20	50	1	384	20	50	3
23	75	380	20	25	0.5	380	20	50	4
22	74	380	20	10	0	380	20	50	5
22	74	380	20	0	0	380	20	50	6
22	74	380	20	0	0	380	20	50	7
23	73	380	20	25	0.5	380	20	50	8
23	73	380	20	50	1	380	20	50	9
22.5	73	380	20	10	0.25	380	20	50	10
22	72	380	20	0	0	380	20	50	11
22	72	380	20	0	0	380	20	50	12
22	72	380	20	0	0	380	20	50	13
22	72	380	20	0	0	380	20	50	14
22	72	380	20	0	0	380	20	50	15
22	72	380	20	0	0	380	20	50	16
22	72	380	20	0	0	380	20	50	17
22	72	380	20	0	0	380	20	50	18
22	72	380	20	0	0	380	20	50	19
22	72	380	20	0	0	380	20	50	20
22	72	380	20	0	0	380	20	50	21
22	72	380	20	0	0	380	20	50	22
22	72	380	20	0	0	380	20	50	23
22	72	380	20	0	0	380	20	50	24

Gambar 19. Tabulasi Data

Pada Gambar 19 diatas terlihat bahwa Data yang telah dikompilasi dalam format CSV Jumlah data yang diambil sebanyak 48 record. Berdasarkan hasil analisis terhadap panel AHU otomatis, didapatkan bahwa hubungan antara variabel “suhu ruangan“ dan “frequency” adalah positif ($r=0.65$), hubungan antara variabel “frequency” dan “KwH” adalah positif ($r=0.99$), hubungan antara variabel “suhu ruangan” dan “KwH” adalah positif ($r=0.66$). Sedangkan hasil analisis terhadap panel AHU manual, diperoleh korelasi positif hanya pada hubungan variabel “suhu ruangan” dengan “voltage” ($r=0.54$).

```

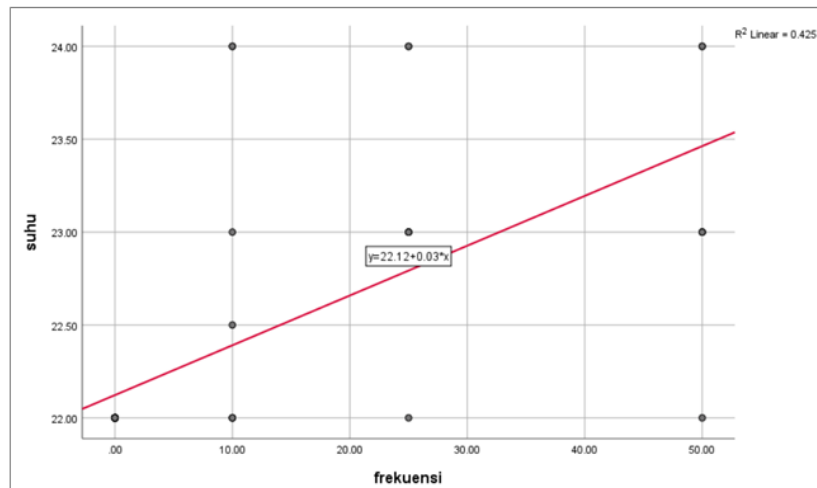
1 import numpy as np
2 import pandas as pd
3 raw_data = pd.read_csv("https://trilogi.ac.id/prodi/tif/arsip/lain-lain/
    berkas-yaddarabullah/kompilasi_data_ahu.csv", sep=';')
4 raw_data2 = raw_data[['monitor-temp', 'voltage_R', 'current_R', 'frequency_R', 'kwh_R']]
5 raw_data3 = raw_data[['monitor-temp', 'voltage_L', 'current_L', 'frequency_L', 'kwh_L']]
6 print ('Korelasi Suhu Ruangan Dengan Panel AHU Otomatis')
7 print (raw_data2.corr())
8 print ('')
9 print ('Korelasi Suhu Ruangan Dengan Panel AHU Manual')
10 print (raw_data3.corr())

```

Korelasi Suhu Ruangan Dengan Panel AHU Otomatis					
	monitor-temp	voltage_R	current_R	frequency_R	kwh_R
monitor-temp	1.000000	0.443768	NaN	0.651678	0.669044
voltage_R	0.443768	1.000000	NaN	0.100332	0.108313
current_R	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
frequency_R	0.651678	0.100332	NaN	1.000000	0.995100
kwh_R	0.669044	0.108313	NaN	0.995100	1.000000

Korelasi Suhu Ruangan Dengan Panel AHU Manual					
	monitor-temp	voltage_L	current_L	frequency_L	kwh_L
monitor-temp	1.000000	0.544092	NaN	NaN	-0.114461
voltage_L	0.544092	1.000000	NaN	NaN	-0.394029
current_L	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
frequency_L	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
kwh_L	-0.114461	-0.394029	NaN	NaN	1.000000

Gambar 20. Pengolahan dan Analisis Data - I



Gambar 21. Pengolahan dan Analisis Data - II

Nilai koefisien korelasi variabel suhu dan frekuensi menunjukkan nilai positif sebesar **0.65**. Hal ini menunjukkan bahwa ada hubungan antara kebutuhan suhu ruangan dengan besaran nilai frekuensi motor AHU pada panel AHU otomatis. Sehingga dengan demikian **H0** terpenuhi.

H0: Ada hubungan kebutuhan suhu ruangan dengan frekuensi putaran motor AHU

Ha: Tidak ada hubungan kebutuhan suhu ruangan dengan frekuensi putaran motor AHU

Set point dari suhu ruangan berdasarkan level kenyamanan (*thermal comfort*) adalah 22 C. Dengan panel AHU otomatis maka pemenuhan kebutuhan suhu ruangan menyebabkan penggunaan frekuensi motor AHU menjadi lebih efektif. Hal ini didasari ketika suhu ruangan telah mencapai 22 C maka frekuensi motor AHU turun sampai 0 Hz. Ketika suhu ruangan naik melebihi 22 C maka frekuensi motor AHU naik secara perlahan hingga 50 Hz dan akan turun jika suhu telah mencapai 22 C. Dampak dari perubahan nilai frekuensi motor AHU adalah kepada nilai KwH menjadi menyesuaikan dengan beban. Tentunya kondisi ini juga akan mempengaruhi biaya dari penggunaan listrik. Kondisi yang sama berbanding terbalik jika menggunakan panel AHU manual. Frekuensi motor AHU dari awal bernilai tetap pada angka 50 Hz. Hal ini dikarenakan panel AHU manual tidak dapat memproses jika suhu ruangan sudah mencapai 22 C. Penelitian selanjutnya dapat mengobservasi dan menganalisis penggunaan panel AHU otomatis beserta dampaknya terhadap penggunaan motor AHU, diantaranya adalah menggunakan teknik analisis statistik regresi dan analisis forecasting dari frekuensi motor AHU. Hasil dari analisis tersebut juga dapat dijadikan sebagai referensi dalam memperkirakan umur dan estimasi pemeliharaan motor AHU.

8. Pengembangan Model Kecerdasan Buatan

Kumpulan data dikumpulkan melalui pengamatan yang cermat yang dilakukan di area khusus yang dikenal sebagai ruang baca, yang dibagi lagi menjadi tiga bagian yang berbeda. Bagian awal mencakup ruang baca itu sendiri dan menampilkan tiga variabel: suhu dalam ruangan, kelembapan relatif dalam ruangan, dan indeks panas dalam ruangan. Bagian kedua berkaitan dengan panel mesin Air Handling Unit (AHU), yang di dalamnya terdapat tiga variabel yang dimonitor: tegangan (pada fase L1, L2, L3), arus (I1, I2, I3), konsumsi energi, dan frekuensi motor induksi AHU. Bagian ketiga dari pengamatan diperluas ke bagian luar gedung perpustakaan, yang mencakup tiga variabel tambahan: suhu eksternal, kelembapan relatif eksternal, dan indeks panas eksternal. Penelitian ini terdiri dari lima percobaan yang berbeda: pertama, analisis interval waktu; kedua, prosedur normalisasi data; ketiga, analisis fitur yang komprehensif; keempat, pengembangan model prediktif; dan terakhir, penilaian mendalam terhadap kinerja model.

Percobaan yang dilakukan melibatkan penggunaan berbagai interval waktu, mulai dari 5 menit, 15 menit, 30 menit, hingga 1 jam, yang mencakup keseluruhan rekaman dalam setiap interval per hari selama rentang waktu satu minggu. Tujuannya adalah untuk memastikan interval waktu yang optimal untuk analisis dataset melalui regresi polinomial, yang dievaluasi dengan menghitung koefisien determinasi (R kuadrat). Pemeriksaan nilai R kuadrat, khususnya yang berasal dari analisis regresi polinomial frekuensi motor induksi AHU, mengarah pada identifikasi interval waktu yang paling tepat untuk investigasi ini. Analisis yang cermat, yang dirinci dalam Tabel 2, menguraikan nilai R kuadrat yang sesuai dengan interval waktu yang berbeda. Hasil akhir dari penilaian ini menunjukkan bahwa interval waktu yang optimal untuk penelitian ini adalah 1 jam. Pemilihan

interval ini didukung oleh nilai R kuadrat yang melebihi ambang batas minimum 0,9, yang menunjukkan tingkat kecocokan yang tinggi.

Table 2. Time Interval Analysis

No	Time Interval	R square
1	5 min	0,3108
2	15 min	0,5459
3	30 min	0,7016
4	1 h	0,9666

Prosedur eksperimental dijalankan dengan menggunakan normalisasi min-max, sebuah teknik yang digunakan untuk menstandarkan nilai fitur dalam rentang 0 hingga 1 dengan mengurangi nilai minimum dan membaginya dengan rata-rata fitur. Evaluasi variabilitas, yang diuraikan dalam Tabel 3, mencakup dataset yang tidak diproses (normal) dan dataset yang mengalami normalisasi. Dari hasil ini, terlihat bahwa normalisasi mampu mengurangi variabilitas data, menghomogenkan variabel-variabel ke dalam skala yang seragam. Penilaian menyeluruh dilakukan untuk mengukur variabilitas dalam set data yang disediakan. Dispersi yang substansial mencirikan data yang tidak diubah, seperti yang ditunjukkan oleh varians 442.725,4813 dan deviasi standar 665,3761953, yang mencerminkan penyimpangan yang nyata dari titik-titik data dari rata-rata. Hal ini diperkuat oleh metrik seperti deviasi kuadrat dan deviasi absolut rata-rata, yang memperkuat perbedaan yang terlihat dari rata-rata. Setelah menerapkan normalisasi, pergeseran variabilitas yang khas muncul.

Varians dan deviasi standar yang dinormalisasi, masing-masing berkurang menjadi 0,089249651 dan 0,298746801, yang menunjukkan distribusi yang lebih padat. Tren ini juga dimanifestasikan dalam deviasi kuadrat dan deviasi absolut rata-rata, yang masing-masing berjumlah 64,25974872 dan 0,246972208. Prosedur normalisasi, suatu tindakan mengkalibrasi ulang data ke interval standar, memberikan pengaruh yang nyata pada penyebaran dan penyebaran data. Pada data yang dinormalisasi, terlihat adanya pengurangan yang nyata dalam varians dan standar deviasi, yang mengindikasikan berkurangnya variabilitas dibandingkan dengan data yang tidak diproses.

Table 3. Variability Measurement

Dataset	Variance	Standard Deviation	Squared Deviation	Average Absolute Deviation
Normal	442725,4813	665,3761953	318762346,5	296,3818401
Normalization	0,089249651	0,298746801	64,25974872	0,246972208

Penentuan fitur input yang digunakan dalam penelitian adalah fitur yang menghasilkan nilai korelasi minimal 0.5 dengan menggunakan analisis korelasi Pearson. Nilai korelasi yang mendekati 1 mengindikasikan bahwa variabel-variabel tersebut memiliki korelasi yang kuat, dan sebaliknya. Gambar 2 menggambarkan nilai korelasi fitur. Analisis korelasi Pearson dilakukan pada dataset yang disediakan, yang bertujuan untuk mengungkap keterkaitan yang rumit di antara variabel. Koefisien korelasi Pearson, sebuah metrik yang digunakan untuk mengukur asosiasi linier, digunakan untuk menilai secara kuantitatif kekuatan dan arah korelasi yang tertanam dalam set data. Temuan ini menghasilkan wawasan yang patut dicatat, terutama termasuk korelasi positif yang substansial (0,659905) yang diamati antara "Internal-Hum" dan "Internal-Heat-Index," yang menunjukkan peningkatan yang serempak dengan peningkatan tingkat kelembapan. Selain itu, "I1," "I2," dan "I3" menunjukkan korelasi positif yang kuat (berkisar antara 0,923062 hingga 0,980380), yang mengindikasikan bahwa keduanya saling berhubungan erat. Meskipun korelasi ini secara signifikan berkontribusi dalam mengindikasikan hubungan potensial, korelasi ini harus ditafsirkan dengan hati-hati karena tidak menunjukkan hubungan sebab-akibat dan mungkin tidak mencakup asosiasi nonlinier. Sebaliknya, variabel energi memiliki nilai kurang dari 0,5. Hal ini mengindikasikan bahwa variabel ini tidak dapat digunakan sebagai fitur.

	Day	Hour	In-Temp	In-Hum	In-Heat-Index	Ex-Temp	Ex-Hum	Ex-Heat-Index	L1	L2	L3	I1	I2	I3	Energy	Frequency
Day	1	0	0,19	0,18	0,18	0,57	0,56	0,27	0,18	0,05	0	0	0,06	0,02	0,69	0
Hour	0	1	0,26	0,52	0,51	0,63	0,48	0,42	0,43	0,41	0,67	0,63	0,63	0,56	0,24	0,62
In-Temp	0,2	0,26	1	0,74	0,76	0,18	0,15	0,1	0,19	0,05	0,11	0,29	0,28	0,38	0,23	0,3
In-Hum	0,2	0,52	0,74	1	1	0,28	0,32	0,1	0,07	0,08	0,32	0,64	0,63	0,67	0,24	0,66
In-Heat-Index	0,2	0,51	0,76	1	1	0,28	0,31	0,1	0,08	0,07	0,31	0,63	0,61	0,67	0,25	0,65
Ex-Temp	0,6	0,63	0,18	0,28	0,28	1	0,69	0,73	0,26	0,33	0,45	0,22	0,18	0,17	0,71	0,22
Ex-Hum	0,6	0,48	0,15	0,32	0,31	0,69	1	0,01	0,18	0,27	0,42	0,36	0,34	0,31	0,44	0,39
Ex-Heat-Index	0,3	0,42	0,1	0,1	0,1	0,73	0,01	1	0,18	0,2	0,21	0,04	0,07	0,06	0,58	0,07
L1	0,2	0,43	0,19	0,07	0,08	0,26	0,18	0,18	1	0,83	0,85	0,29	0,32	0,24	0,01	0,25
L2	0,1	0,41	0,05	0,08	0,07	0,33	0,27	0,2	0,83	1	0,86	0,25	0,26	0,2	0,21	0,21
L3	0	0,67	0,11	0,32	0,31	0,45	0,42	0,21	0,85	0,86	1	0,54	0,55	0,46	0,16	0,51
I1	0	0,63	0,29	0,64	0,63	0,22	0,36	0,04	0,29	0,25	0,54	1	0,99	0,91	0,06	0,98
I2	0,1	0,63	0,28	0,63	0,61	0,18	0,34	0,07	0,32	0,26	0,55	0,99	1	0,91	0,03	0,98
I3	0	0,56	0,38	0,67	0,67	0,17	0,31	0,06	0,24	0,2	0,46	0,91	0,91	1	0,06	0,92
Energy	0,7	0,24	0,23	0,24	0,25	0,71	0,44	0,58	0,01	0,21	0,16	0,06	0,03	0,06	1	0,08
Frequency	0	0,62	0,3	0,66	0,65	0,22	0,39	0,07	0,25	0,21	0,51	0,98	0,98	0,92	0,08	1

Gambar 2. Heatmap of Feature Analysis

Pengembangan model prediksi jaringan syaraf tiruan (JST) menggunakan 2 jenis tuning hyperparameter yaitu grid search dan random search. Hyperparameter yang diteliti terdiri dari jumlah lapisan dan neuron, tingkat dropout, ukuran batch, epoch, fungsi aktivasi, bobot dan bias. Dataset dibagi menjadi data pelatihan dan data pengujian dengan rasio 80% dan 20%. Tabel 4 menjelaskan skenario tuning hyperparameter. Pada tabel berikut, peneliti mengeksplorasi efek dari berbagai hyperparameter pada kinerja model jaringan saraf. Tujuan utamanya adalah untuk menentukan kombinasi optimal dari hyperparameter yang menghasilkan kinerja terbaik dalam hal akurasi dan kecepatan konvergensi. Hyperparameter yang diteliti meliputi konfigurasi lapisan tersembunyi, jumlah neuron pada setiap lapisan tersembunyi, tingkat dropout, ukuran batch, epoch, fungsi aktivasi, metode inisialisasi bobot, dan metode inisialisasi bias. Hasil dari proses tuning hyperparameter disajikan dalam dua aspek utama: performa model (akurasi) dan kecepatan konvergensi. Hyperparameter yang optimal untuk tugas khusus ini tampaknya adalah konfigurasi lapisan tersembunyi (300,200,100), fungsi aktivasi ReLU, ukuran batch 64, sekitar 20 epoch, inisialisasi bobot Glorot Uniform, dan tidak ada preferensi khusus untuk inisialisasi bias. Penting untuk dicatat bahwa set optimal hyperparameter dapat bervariasi untuk dataset dan tugas yang berbeda. Teknik regularisasi seperti dropout juga dapat disesuaikan berdasarkan kompleksitas dan ukuran dataset.

Table 4. Scenario of Hyperparameter Tuning

No	Hyperparameter	Scenario
1	hidden layer	1,2,3
2	neuron in hidden layer	[100]; [100,50]; [200,100]; [300, 200, 100]
3	dropout rate	0,1; 0,5; 5
4	batch size	16; 32; 64
5	epoch	10; 20; 30
6	activation function	ReLU; Sigmoid; Tanh
7	weights	Glorot Uniform; Random Normal
8	biases	None, 0, 1

D. STATUS LUARAN: Tuliskan jenis, identitas dan status ketercapaian setiap luaran wajib dan luaran tambahan (jika ada) yang dijanjikan. Jenis luaran dapat berupa publikasi, perolehan kekayaan intelektual, hasil pengujian atau luaran lainnya yang telah dijanjikan pada proposal. Uraian status luaran harus didukung dengan bukti kemajuan ketercapaian luaran sesuai dengan luaran yang dijanjikan. Lengkapi isian jenis luaran yang dijanjikan serta unggah bukti dokumen ketercapaian luaran wajib dan luaran tambahan melalui BIMA.

1. Luaran Wajib

Luaran wajib yang dijanjikan yaitu adanya dokumen hak cipta. Pada tanggal 18 november 2021 telah diajukan hak cipta ke Dirjen KI Menkumham Republik Indonesia dengan status menunggu proses penilaian oleh reviewer. Adapun pengajuan hak cipta yang dilakukan tercatat dengan nomor/tanggal permohonan EC00202166727, 19 November 2021 dan nomor pencatatan 000302722. Berikut ini *screen shoot* dari status pengajuan hak cipta.



Gambar 19. Sertifikat Hak Cipta Tahun 2021

Luaran wajib pada tahun 2022 ini adalah sertifikat HKI dari aplikasi dashboard IoT untuk monitoring panel Air Handling Unit (AHU). Proses pendaftaran telah dilakukan pada tanggal 30 November 2022 dengan nomor aplikasi **EC00202297135** dan nomor sertifikat **000412879**. Berikut ini adalah tampilan dari pendaftaran HKI pada tahun 2022.

Nomor Aplikasi	EC00202297135		
Nomor Sertifikat	000412879		
Judul Ciptaan	Aplikasi Dashboard IoT Monitoring Panel Air Handling Unit		
Deskripsi	Aplikasi Dashboard IoT Monitoring Panel Air Handling Unit ini berfungsi untuk melakukan pemantauan terhadap penggunaan mesin Air Handling Unit (AHU), diantaranya mengetahui daya yang digunakan (watt), voltase (volt), arus (A), dan frekuensi (Hz) putaran motor induksi dari mesin AHU. Aplikasi ini juga dirancang untuk memantau penggunaan dari panel AHU manual dan panel AHU otomatis. Pada aplikasi ini juga terdapat visualisasi grafik data monitoring, histogram data suhu ruangan, dan tabel data monitoring		
Pengguna	Yaddarabullah	Tanggal Pengajuan	30-11-2022 11:28:04
Jenis permohonan	Umum	Jenis Ciptaan	Program Komputer
Tanggal Diumumkan	2022-11-30	Negara	Indonesia
Kota	Jakarta	Biaya	Rp. 600.000
Status Pembayaran	Lunas Pengajuan Pencatatan Ciptaan	Status Penerimaan	Diterima
Billing Code	820221130183784		

Gambar 19. Status Pendaftaran Hak Cipta Tahun 2022

2. Luaran Tambahan

Luaran tambahan yang dijanjikan yaitu menyusun artikel ilmiah (paper) yang dipublikasikan pada jurnal internasional dengan mendapatkan status *published*. Adapun jurnal yang dituju yaitu **International Journal of Innovative Science Engineering and Technology (IJSET)** terindex UGC, Google Scholar dan Scientific Indexing Service yang dapat diakses melalui alamat <http://www.ijset.com/>

Berikut ini adalah *screen shoot* dari paper yang telah terbit jurnal **IJSET** International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology, Vol. 8 Issue 11, November 2021.

Design Network Topology of Air Handling Unit Control System Based-on Programming Logic Controller and Human Machine Interface

Yaddarabullah¹, Dewi Lestari² and Erneza Dewi Krishnasari³

¹ Department of Informatics, Universitas Trilogi, Jakarta, Indonesia

² Department of Information System, Universitas Trilogi, Jakarta, Indonesia

³ Department of Visual Communication Design, Universitas Trilogi, Jakarta, Indonesia

Abstract

Workers require a healthy working environment in order to carry out their tasks. This can make employees more productive by making them feel more at ease at work. Air conditioning is used in office buildings to provide good air quality in each workspace. The Air Handling Unit (AHU) machine is used to centrally manage the air conditioner and then distribute it to each workspace's ventilation. The issue is that each workspace has different conditions. There are workspaces that are empty, workspaces that are fully occupied by workers, and workspaces that serve as a repository for important documents. Currently, the AHU engine's condition allows it to only massively distribute air to each room. Additional components are required to distribute according to the needs of the room. In this study, we will look at what components are required to control the AHU engine. Programming Language Controller and Human Machine Interface are components that will be used to control the AHU machine. This study generates a network topology design based on component interactions that can be used as a reference in the development of the AHU machine automatic control system.

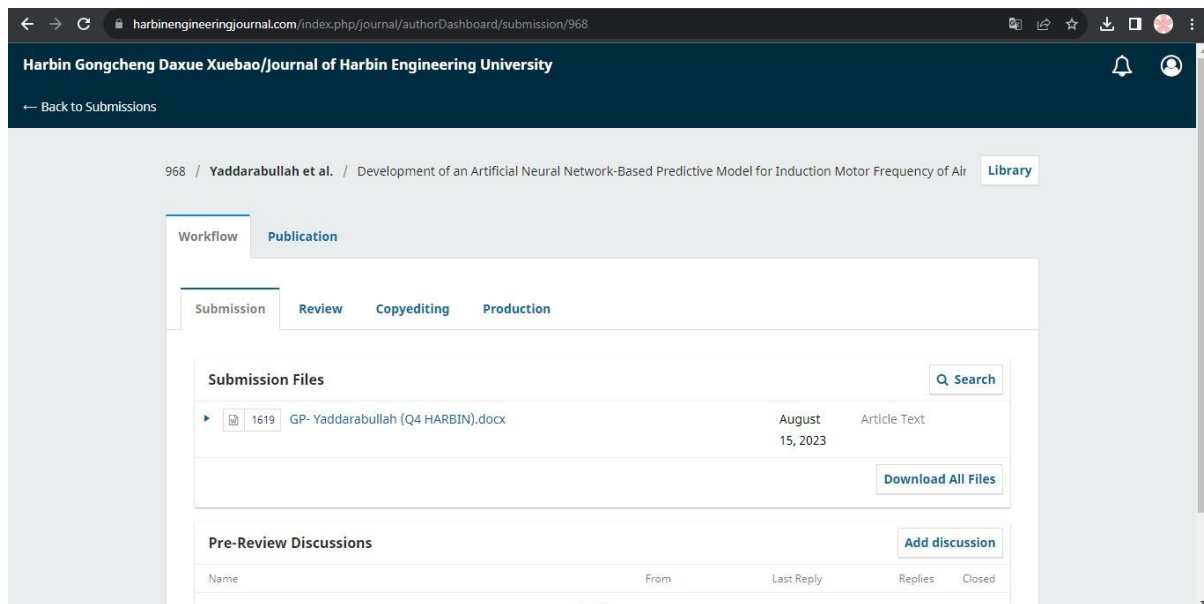
Keywords: Air Handling Unit, Programming Logic Controller, Human Machine Interface, Internet of Things.

1. Introduction

One of the factors influencing worker health is air quality in the workplace. Sick Building Syndrome (SBS) or Tight Building Syndrome (TBS) can be caused by deteriorating indoor air quality conditions [1][2]. Furthermore, some diseases, such as asthma, have been linked to specific air contaminants or indoor environments, such as damp indoor environments [3][4][5]. The use of an air conditioner (AC) causes an increase or decrease in the quality of the indoor air. The air conditioner has a cold air delivery system as well as a pollutant filter [6][7]. The use of an effective air conditioner can reduce pollen levels, as well as the number of bacteria and spores in the room, and it making employees more comfortable while performing their tasks [8][9]. To produce cold air in every room, office buildings currently use a central air conditioning system. A central air conditioning system can evenly distribute cold air to each room. However, the problem with this central air conditioning system is that even if there is an empty room or if there aren't many people using it, the room still receives cold air. This will result in a waste of energy [9]. The Air Handling Unit (AHU) is a machine that centrally distributes cold air to rooms [10][11]. The AHU engine is currently configured in the distribution of cold air to the room using the traditional method, namely by turning the AHU motor and opening the valve on the duct pipe to the room ventilation [11]. If there are many AHU machines and many rooms in one building, there will be a waste of time in the AHU machine configuration. Based on the problems stated above, this research will look into what components and network topology design can be used to control the AHU machine. Programming Logic Controller (PLC) is a component that is used to control the motor on a machine [12][13]. Human Machine Interface (HMI) is a component used to access data to PLC [14][15][16]. Both of these component will be used in the network topology as components that function to control the AHU machine. The study's findings can be used to guide the development of the AHU engine control automation system.

Gambar 15. Artikel Ilmiah (*paper*) Pada Jurnal IJSET

Luaran tambahan berikutnya adalah publikasi artikel ilmiah pada jurnal internasional berputasi (terindex Scopus). Saat ini artikel dengan judul “*Development of an Artificial Neural Network-Based Predictive Model for Induction Motor Frequency of Air Handling Units*” telah dikirim dan statusnya adalah *submit*, pada Journal of Harbin Engineering University (<https://harbinengineeringjournal.com/index.php/journal>). Berikut adalah tangkapan layar dari status artikel.



Gambar 15. Artikel Ilmiah (*paper*) Pada Journal of Harbin Engineering University

Luaran tambahan lainnya adalah penyusunan buku monograf. Saat ini buku sedang dalam penyusunan dengan judul “*Utilizing Intelligent IoT for the Surveillance and Control of Air Handling Units (AHUs) and Heating, Ventilation, Air Conditioning (HVAC) Systems*”, yang rencananya akan diterbitkan pada Book Publisher International (<https://www.bookpi.org/>).

E. PERAN MITRA: Tuliskan realisasi kerjasama dan kontribusi Mitra baik *in-kind* maupun *in-cash* (untuk Penelitian Terapan, Penelitian Pengembangan, PTUPT, PPUPT serta KRUP). Bukti pendukung realisasi kerjasama dan realisasi kontribusi mitra dilaporkan sesuai dengan kondisi yang sebenarnya. Bukti dokumen realisasi kerjasama dengan Mitra diunggah melalui BIMA.

Jumlah mitra yang berkontribusi dalam penelitian ini ada 2 dan berikut ini deskripsi dari dukungan mitra.

1. PT. Canindo Daya ElektriKa

Mitra ini memberikan kontribusi berupa alokasi tenaga teknis yang berperan meninjau dan menguji instalasi perangkat sensor pada AHU. Berikut ini adalah foto dari peninjauan yang dilakukan oleh tenaga teknis tersebut.



Gambar 17. Peninjauan Instalasi Inverter



Gambar 18. Peninjauan Konfigurasi HMI

Berdasarkan hasil peninjauan dapat disimpulkan bahwa instalasi dan konfigurasi perangkat telah dilakukan dengan baik dan dapat perangkat dapat bekerja.

2. CV. Sangkala Bersinar

Mitra ini berkontribusi sebagai penyedia komponen perangkat yang dibutuhkan dalam penelitian antara lain: 1 set thermostat, 1 set modul display HMI, 1 set box panel, 1 set PLC, 1 set Inverter, 1 set kabel UTP, 1 set modul dan kabel RS485. Komponen yang disediakan telah terstandar SNI dan layak digunakan pada kasus nyata (*real case study*).

F. KENDALA PELAKSANAAN PENELITIAN: Tuliskan kesulitan atau hambatan yang dihadapi selama melakukan penelitian dan mencapai luaran yang dijanjikan, termasuk penjelasan jika pelaksanaan penelitian dan luaran penelitian tidak sesuai dengan yang direncanakan atau dijanjikan.

Kendala yang dialami selama penelitian yaitu pada proses kalibrasi beberapa komponen dan integrasi antara komponen dengan cloud server.

G. RENCANA TAHAPAN SELANJUTNYA: Tuliskan dan uraikan rencana penelitian di tahun berikutnya berdasarkan indikator luaran yang telah dicapai, rencana realisasi luaran wajib yang dijanjikan dan tambahan (jika ada) di tahun berikutnya serta *roadmap* penelitian keseluruhan. Pada bagian ini diperbolehkan untuk melengkapi penjelasan dari setiap tahapan dalam metoda yang akan direncanakan termasuk jadwal berkaitan dengan strategi untuk mencapai luaran seperti yang telah dijanjikan dalam proposal. Jika diperlukan, penjelasan dapat juga dilengkapi dengan gambar, tabel, diagram, serta pustaka yang relevan. Jika laporan kemajuan merupakan laporan pelaksanaan tahun terakhir, pada bagian ini dapat dituliskan rencana penyelesaian target yang belum tercapai.

Rencana kegiatan dan tahapan selanjutnya pada tahun 2023 ini antara lain sebagai berikut.

1. Penyusunan *paper* dan submit ke jurnal internasional.
2. Penyusunan buku monograf dan dipublikasikan pada penerbit internasional.

H. DAFTAR PUSTAKA: Penyusunan Daftar Pustaka berdasarkan sistem nomor sesuai dengan urutan pengutipan. Hanya pustaka yang disitasi pada laporan kemajuan yang dicantumkan dalam Daftar Pustaka.

1. M. Burhan, R. A. Rehman, B. Khan, and B. S. Kim, "IoT elements, layered architectures and security issues: A comprehensive survey," *Sensors (Switzerland)*, vol. 18, no. 9, 2018
2. Gartner, "IoT Endpoint Market by Segment," 2020. [Online]. Available: <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2019-08-29-gartner-says-5-8-billion-enterprise-and-automotive-io>. [Accessed: 25-Oct-2020]
3. M. D. Sebayang, "PERAWATAN AIR CONDISIONER (AC) SENTRAL," *TEKINFO: Jurnal Penelitian Teknik dan Informatika*, vol. 1, no. April, pp. 9–24, 2019
4. M. Kny, V. Mazanec, D. Adamovský, and J. Včelák, "Air Handling Unit with Heat Pump," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 290, no. 1, 2019
5. T. W. Qiang, H. Xiang, and J. M. Wu, "Design of air conditioning distributed control system for an office building in Xi'an," *Procedia Environmental Sciences*, vol. 11, no. PART B, pp. 643–649, 2011
6. M. Dilawar, "DESIGN OF AIR CONDITIONING SYSTEM BY USHIG HAP (Hourly Analysis Program)," *International Journal of Sciences*, vol. 4, no. 7, pp. 2451–2461, 2015
7. H. Jang, B. Kang, K. Cho, K. hee Jang, and S. Park, "Design and Implementation of IoT-based HVAC and Lighting System for Energy Saving," *MATEC Web of Conferences*, vol. 260, p. 02012, 2019
8. V. Marinakis and H. Doukas, "An advanced IoT-based system for intelligent energy management in buildings," *Sensors (Switzerland)*, vol. 18, no. 2, 2018
9. M. I. Choi et al., "Design and implementation of IoT-based HVAC system for future zero energy building," *IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops*, no. 20154030200860, pp. 605–610, 2017
10. A. K. B, A. K. P, S. Vk, and J. R. K. G, "Development of an Iot Based Energy Management System for Air Handling Unit," *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, vol. 9, no. 4, pp. 844–848, 2020
11. T. Ruponen, *Improving energy performance of buildings through exploitation of available data*. Aalto University School of Engineering, 2016
12. A. Jahanshahi, D. Jahanianfard, A. Mostafaie, and M. Kamali, "An Auto Regressive Integrated Moving Average (ARIMA) Model for prediction of energy consumption by household sector in Euro area," *AIMS Energy*, vol. 7, no. 2, pp. 151–164, 2019.
13. G. S. Doni Kurniawan, Yaddarabullah, "Implementasi Internet of Things pada Sistem Irigasi Tetes dalam Membantu Pemanfaatan Urban Farming," in *The 7 th University Research Colloquium*, 2018, pp. 106–117.
14. D. L. Yaddarabullah, "Perancangan Sistem Komunikasi Data Alat Pencatatan Meter Berbasis Service Oriented Architecure," *InfoTekJar (Jurnal Nasional Informatika dan Teknologi jaringan)*, vol. 3, no. 1, pp. 49–54, 2018.

15. D. Lestari and Y. Yaddarabullah, "Perancangan Alat Pembacaan Meter Air PDAM Menggunakan Arduino Uno," *Al-Fiziya: Journal of Materials Science, Geophysics, Instrumentation and Theoretical Physics*, vol. 1, no. 2, pp. 36–41, 2019.
16. Yaddarabullah, D. Lestari, A. S. Prihatmanto, and R. Darmakusuma, "Internet of Things Gateway as a Cross-Platform Data Communication Service Based on Advanced Message Queueing Protocol," *INTERNATIONAL JOURNAL OF SCIENTIFIC & TECHNOLOGY RESEARCH*, vol. 9, no. 06, 2020.
17. M. F. Muttaqin, Yaddarabullah, and S. D. H. Permana, "Implementation of aes-128 and token-base64 to prevent sql injection attacks via http," *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, vol. 9, no. 3, pp. 2876–2882, 2020.