

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

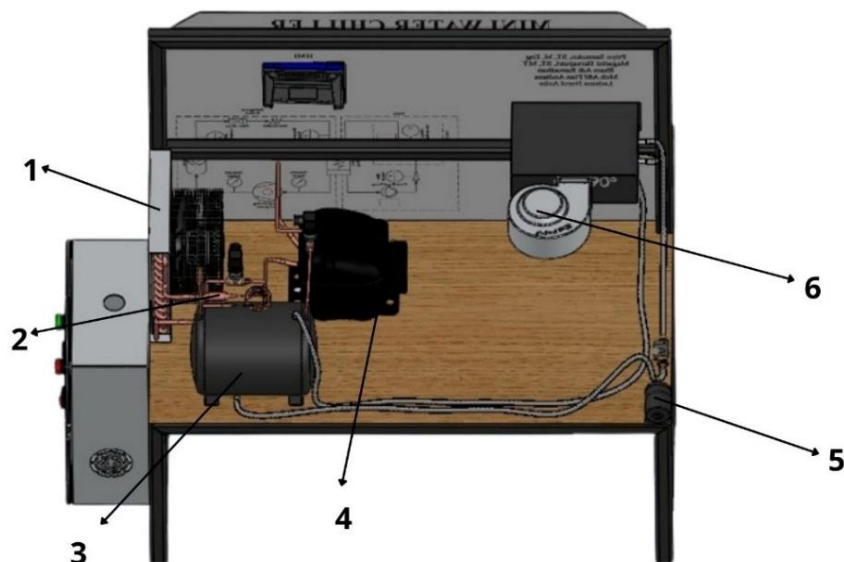
Bab ini berisi hasil dari alat yang telah dirancang dan memastikan hasil yang didapatkan sesuai dengan rumusan yang terdapat pada bab sebelumnya. Bab ini juga untuk mengetahui apakah sistem pada mesin *Mini Air Chiller* dapat bekerja dengan baik, maka dilakukannya pengujian dengan tujuan dapat mengetahui besaran *error* yang dihasilkan,

4.1 *Standard Operational Procedure* (SOP)

Berikut adalah *Standard Operational Procedure* (SOP) atau langkah-langkah pengoperasian sistem *Mini Air Chiller* berbasis SCADA dan PLC:

4.1.1 Bagian-bagian Alat

Mengetahui pengoperasian alat, supaya diketahui bagian alat secara keseluruhan. Bertujuan mengetahui letak tombol komponen dan tombol pada alat:



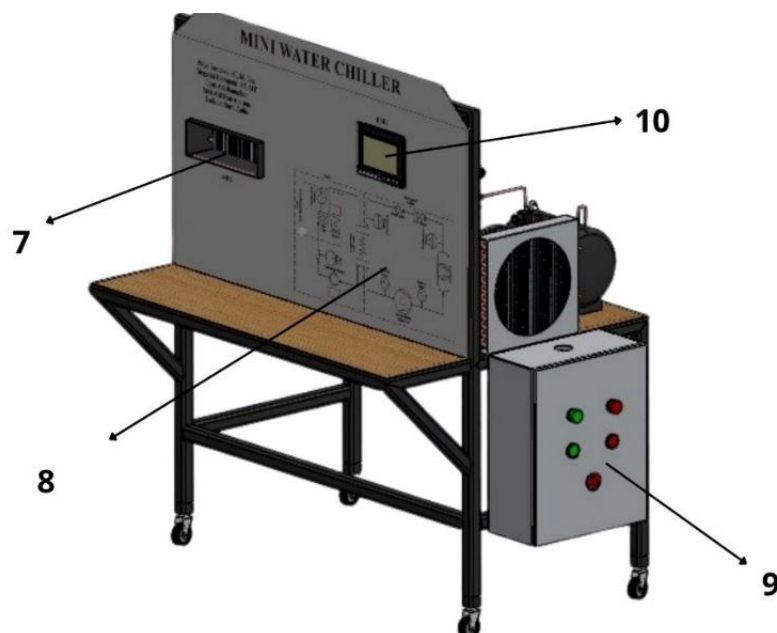
Gambar 4. 1 Komponen Tampak Belakang pada Alat Kendali *Mini Air Chiller*

Pada **Gambar 4.1** terdapat bagian pada alat, berikut penjelasannya :

1. Kondensor, Untuk membuang panas yang terdapat pada refrigerant dari kompresor ke lingkungan sekitar. Proses ini, refrigerant mengalami

perubahan wujud dari gas dengan tekanan tinggi dan bersuhu tinggi dan kemudian menjadi cairan dengan tekanan tinggi.

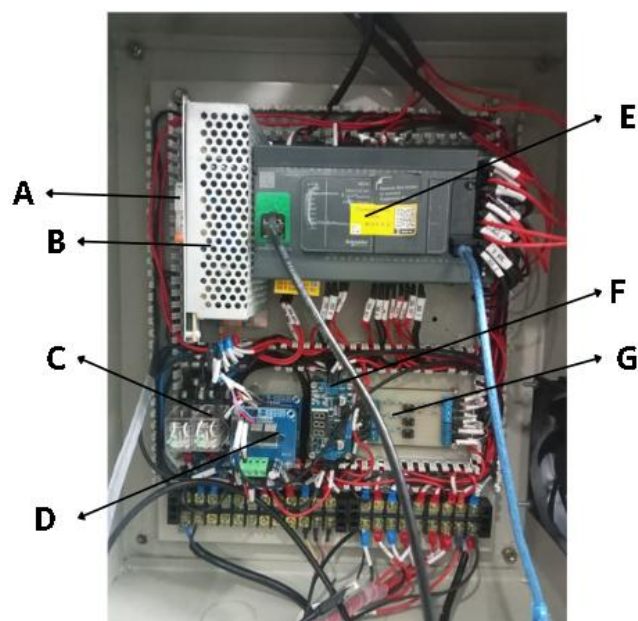
2. Filter Dryer, Untuk menahan kotoran, debu dari sisa proses sebelumnya.
3. Evaporator, Untuk tempat terjadinya proses penyerapan panas, dalam refrigeran yang dingin akan menyerap panas dari air yang ada di sekelilingnya, sehingga suhu air turun (menjadi dingin). Refrigeran kemudian berubah wujud dari cair menjadi gas.
4. Kompresor, Untuk mensirkulasikan refrigeran ke seluruh sistem. Kompresor menghisap gas refrigeran bertekanan rendah dari evaporator, lalu memampatkannya (kompresi) menjadi gas bertekanan tinggi dan bersuhu tinggi untuk didorong menuju kondensor.
5. Pompa, untuk mensirkulasikan air (media yang didinginkan). Pompa ini akan mengalirkan air dingin dari dalam tangki evaporator menuju ke beban pendinginan atau alat luar yang membutuhkan air dingin, kemudian mengembalikannya lagi ke tangki untuk didinginkan kembali.
6. Blower, Untuk berfungsi untuk membantu proses pendinginan pada kondensor



Gambar 4. 2 Komponen Tampak Samping pada Alat Kendali *Mini Air Chiller*

Pada **Gambar 4.2** terdapat bagian pada alat, berikut penjelasannya :

7. AHU, Untuk tempat pertukaran panas antara air dingin (yang dihasilkan oleh chiller) dengan udara. Di dalam kotak ini biasanya terdapat *cooling coil* (koil pendingin) yang dialiri air dingin. Udara dihembuskan melewati koil tersebut sehingga udara yang keluar dari kisi-kisi (*grill*) menjadi dingin.
8. Diagram P&ID, Untuk peta atau panduan visual alur kerja sistem.
9. Panel Box, Untuk pusat kendali listrik, dengan terdapat tombol push button, lampu indikator, dan *emergency stop* untuk memastikan sistem dalam keadaan darurat
10. HMI, Untuk antarmuka penghubung antara operator dengan sistem kontrol mesin/PLC.



Gambar 4. 3 Isi Panel Box

Pada **Gambar 4.3** terdapat bagian pada alat, berikut penjelasannya:

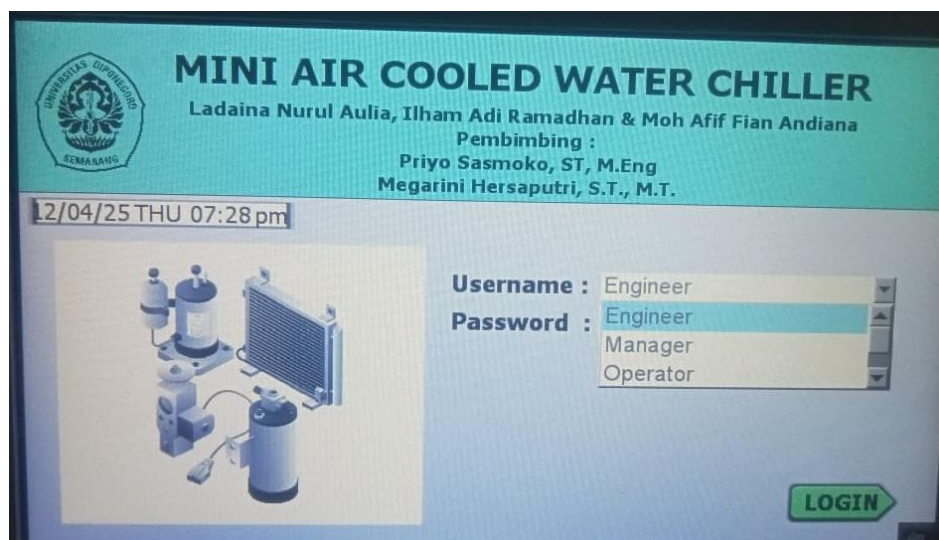
- A. MCB, Untuk pengaman dan saklar utama listrik. Dimana dapat memutus aliran listrik secara otomatis apabila terjadinya korsleting.
- B. Power Supply, Untuk Mengubah tegangan listrik AC (arus bolak-balik, biasanya 220V dari PLN) menjadi tegangan listrik DC (arus searah, biasanya 24V) yang stabil.
- C. Relay, Untuk saklar elektromagnetik

- D. Driver Motor, Untuk mengatur kecepatan dan arah putaran motor berdasarkan perintah dari PLC. Driver ini memperkuat sinyal kecil dari kontroler menjadi arus yang cukup besar untuk memutar motor.
- E. PLC, Untuk Memproses seluruh logika kerja alat.
- F. Modul Buck Converter, untuk penurun tegangan DC dari sumber
- G. Rangkaian IC Optocoupler, Untuk pengisolasian/ menstabilkan sebelum masuk ke input

4.1.2 Pengoperasian Alat

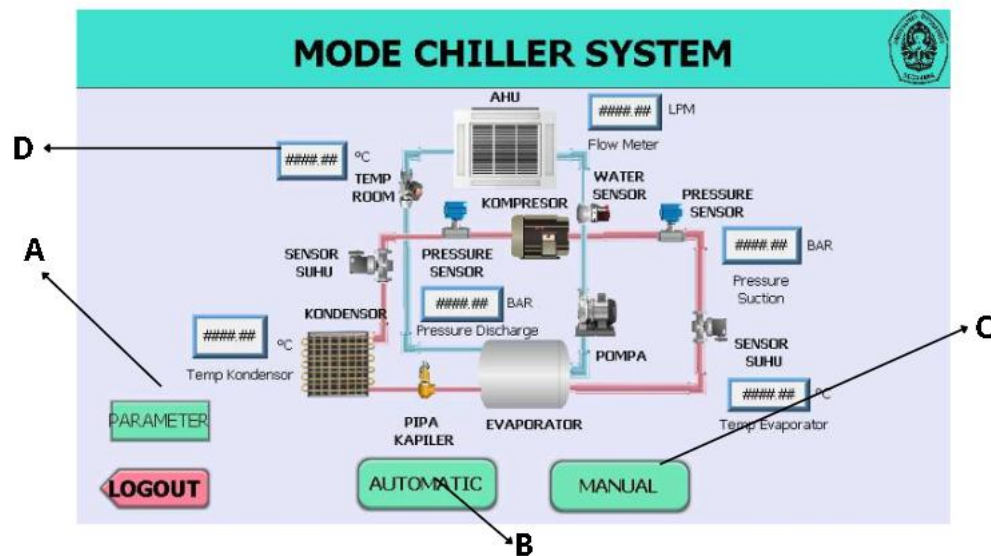
Cara pengoperasian alat memiliki tujuan untuk menjelaskan langkah-langkah dalam menjalankan sistem SCADA pada *Mini Air Chiller* agar dapat berfungsi, Berikut langkah-langkah dalam pengopersian alat:

1. Pastikan power supply 24VDC untuk PLC dan sensor serta tegangan 220VAC dan pastikan semuanya dalam keadaan normal.
2. MCB pada panel box dinyalakan, Kemudian nyalakan pushbutton ON, dan sistem akan menyala.
3. Tunggu hingga tampilan muncul pada layar HMI sebagai tanda bahwa sistem telah aktif.
4. Pada tampilan awalan dari HMI, lakukan login sesuai dengan pengguna yang tersedia.



Gambar 4. 4 Tampilan Awal HMI

5. Masukkan *username* dan *password* sesuai dengan pengguna
6. Sistem akan menampilkan halaman utama yang sesuai dengan hak akses pengguna
7. Pada halaman utama akan menampilkan Mode meliputi Metode Manual dan Metode Otomatis



Gambar 4. 5 Tampilan Mode pada Sistem Chiller

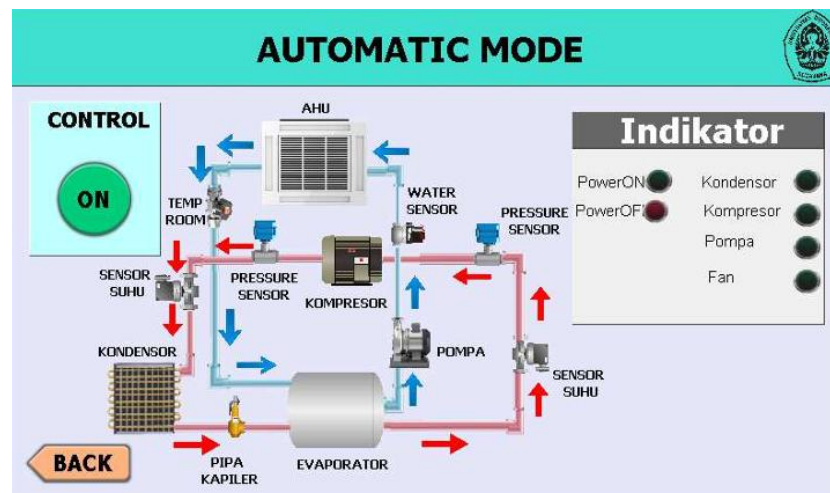
Berikut adalah tampilan Mode Chiller System pada **gambar4.5** dengan penjelasan sebagai berikut:

- A. Parameter, untuk menampilkan *display* navigasi utama untuk mengakses data detail dari sistem.
- B. Manual, Untuk mode pengoperasian di mana operator mengontrol perangkat secara langsung melalui tampilan antarmuka HMI. Pada mode ini, perintah *ON/OFF* untuk mengaktifkan pompa, kompresor, atau aktuatur lainnya diberikan secara manual oleh pengguna
- C. Otomatis, Untuk mode di mana PLC mengontrol sistem secara mandiri berdasarkan data masukan dari sensor dan parameter *setpoint* yang telah ditentukan. Pada mode ini, pengguna tidak perlu menyalakan atau mematikan perangkat secara manual, karena sistem akan bekerja mengikuti logika kontrol yang tertanam dalam program PLC.

D. Display Parameter: Berfungsi untuk membuka halaman yang menampilkan nilai aktual(*real-time*) dari keseluruhan sensor dalam bentuk angka digital. Berikut tampilan dari display parameter

Dapat dilihat pada **Gambar 4.5** Tampilan ini dibagi menjadi dua blok utama untuk memudahkan pembacaan. Pada Blok Sistem Refrigerasi, Bagian ini menampilkan data dari siklus pendinginan utama. Pengguna menggunakan data ini untuk memastikan siklus kompresi uap berjalan normal. Dengan data *Pressure Suction*, *Pressure Discharge*, *Temperature Evaporator*, *Temperature Kondensor*. Blok Air Handling Unit / AHU, menampilkan data yang berkaitan dengan distribusi air dingin dan kondisi ruangan yang didinginkan. Dengan data flow meter, *Temperature Room*.

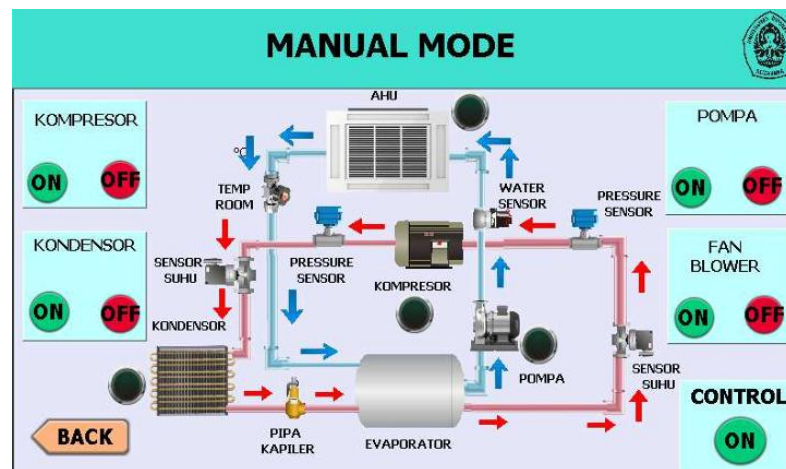
8. Pengguna yang dapat mengakses sistem otomatis hanyalah *Engineer*, berikut adalah tampilan dari metode *Automatic Mode*.



Gambar 4. 6 Tampilan Mode Otomatis

Pada **Gambar 4.6** terdapat satu tombol yang dimana berfungsi untuk menghidupkan semua sistem dan terdapat lampu indikator yang memberikan informasi *on/off* setiap komponennya.

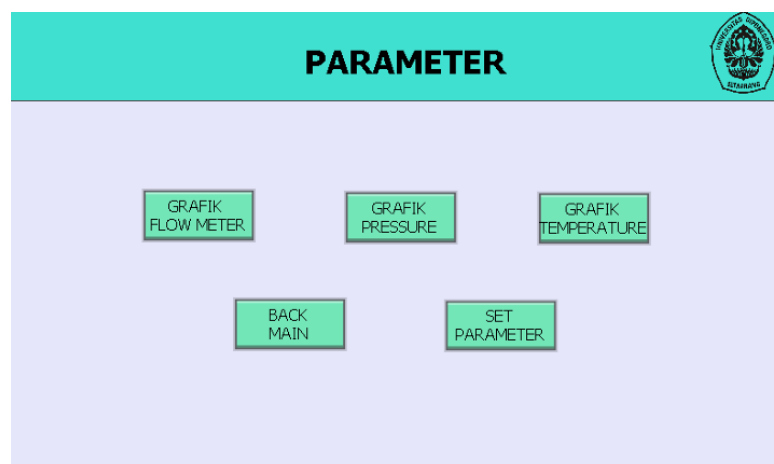
9. Kemudian untuk Mode Manual hanya bisa diakses oleh operator, berikut adalah tampilan dari Manual mode.



Gambar 4. 7 Tampilan Mode Manual

Pada **Gambar 4.7** dirancang agar operator dapat menyalakan dan mematikan komponen secara induvidu. Terdapat empat panel kontrol utama untuk aktuator, yang masing-masing memiliki tombol ON dan OFF, kemudian terdapat indikator status lampu disamping setiap gambar komponen utama, dan untuk tombol kontrol sebagai tombol on untuk mode manual.

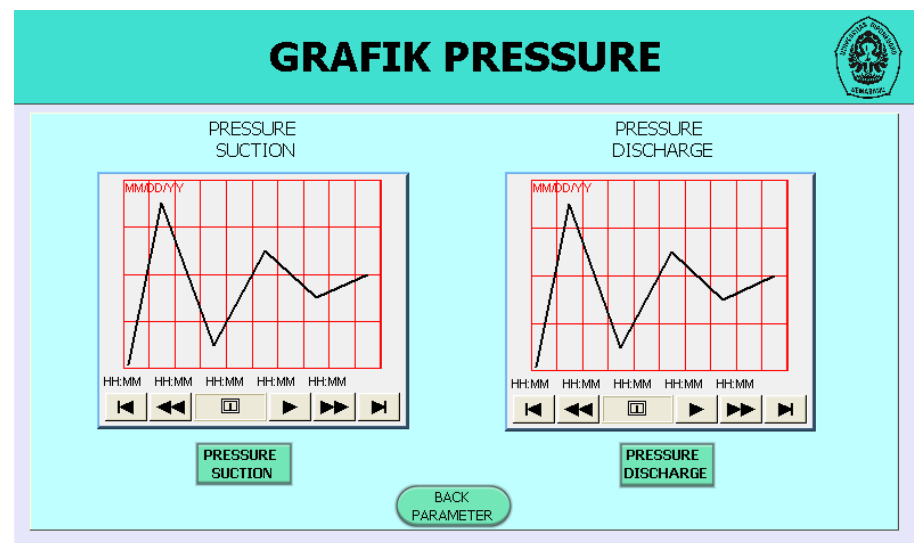
10. Pada *button* “Parameter”, halaman ini memisahkan antara data real-time, grafik, dan pengaturan sistem. Berikut tampilan parameter.



Gambar 4. 8 Tampilan Main Menu Parameter

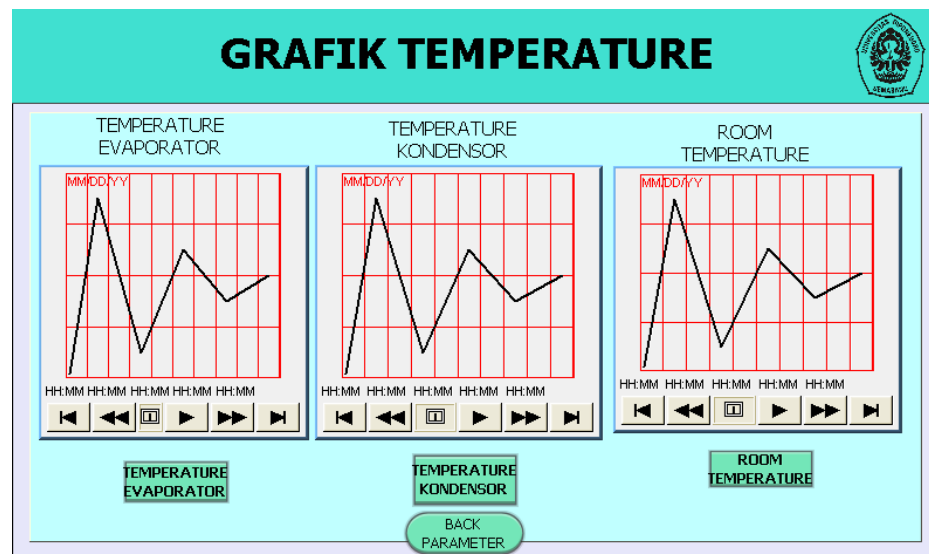
Gambar 4.8 akan di jelaskan sebagai berikut fungsi dari setiap tombol yang terdapat pada tampilan tersebut:

- a. *Grafik Pressure*: Tombol ini mengarahkan pengguna ke halaman trend chart atau grafik khusus untuk sensor tekanan. Berfungsi dalam Memantau kestabilan tekanan kompresor seiring waktu. Pengguna bisa melihat apakah terjadi lonjakan tekanan atau penurunan tekanan yang tidak wajar pada sisi *Suction* maupun *Discharge*. Yang dapat di lihat pada **Gambar 4.9** dan pada tampilan ini juga terdapat tombol yang diperutukkan dalam pengambilan data.



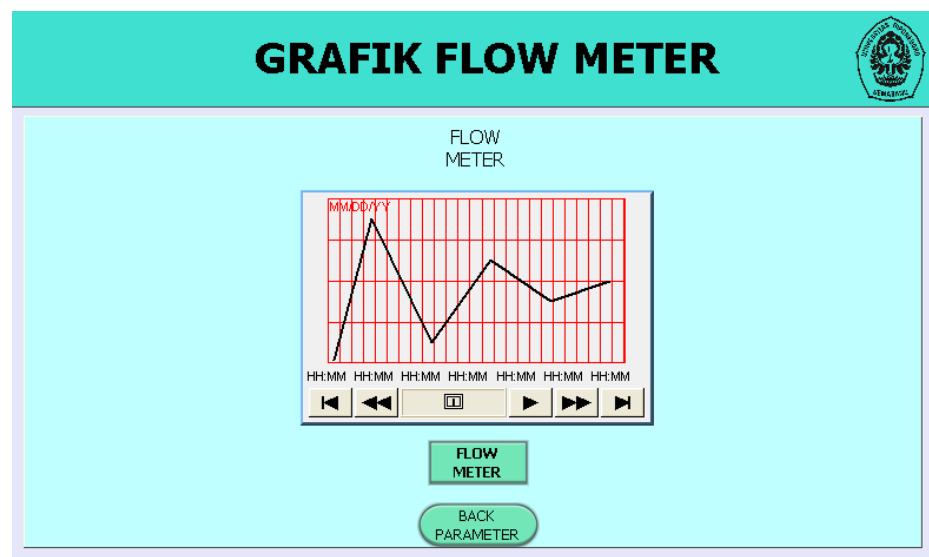
Gambar 4. 9 Tampilan Grafik *Pressure*

- b. *Grafik Temperature*: Tombol ini membuka halaman grafik khusus untuk sensor suhu (RTD PT100). Berfungsi sebagai visualisasikan perubahan suhu pada Evaporator, Kondensor, dan Ruangan dalam kurun waktu tertentu. Tampilan grafik dapat di lihat **Gambar 4.10**



Gambar 4. 10 Tampilan Grafik Temperature

- c. Grafik Flow Meter: Tombol ini membuka halaman grafik khusus untuk sensor aliran air (*Water Flow Sensor*). Berfungsi sebagai pemantau debit air yang bersirkulasi. Untuk tampilan grafik flow meter dapat dilihat pada **Gambar 4.11**



Gambar 4. 11 Tampilan Grafik Flow Meter

- d. Set Paremater: Berbeda dengan halaman sebelumnya yang hanya menampilkan data (*monitoring*), halaman ini memungkinkan pengguna untuk mengubah nilai acuan (*setpoint*) yang akan digunakan oleh PLC

untuk mengontrol sistem secara otomatis. Dapat di lihat pada **Gambar 4.12**

Gambar 4. 12 Tampilan Set Parameter

Blok Sistem Refrigerasi, Bagian ini mengatur logika kerja utama pendinginan, berfungsi memudahkan pengguna dalam memasukkan suhu. Histerisis, untuk Menentukan batas toleransi suhu agar kompresor tidak hidup-mati terlalu cepat.

Blok Blower & Pompa, Bagian ini mengatur kecepatan motor pada sistem distribusi udara (AHU) dan distribusi air. Blower (Kipas AHU): Frekuensi (Hz): Menampilkan atau mengatur frekuensi listrik yang dikirim ke motor blower. Semakin tinggi Hz, semakin cepat putaran kipas. *Speed 1*, *Speed 2*, *Speed 3*: adalah tombol preset untuk kecepatan kipas (*Low*, *Medium*, *High*). Pompa (Sirkulasi Air), yang mana Frekuensi (Hz): Mengatur kecepatan putaran pompa air. Sedangkan Speed: *Input* untuk menentukan *setpoint* kecepatan pompa. Mengatur ini akan mempengaruhi debit air (LPM) yang terbaca di sensor Flow Meter.

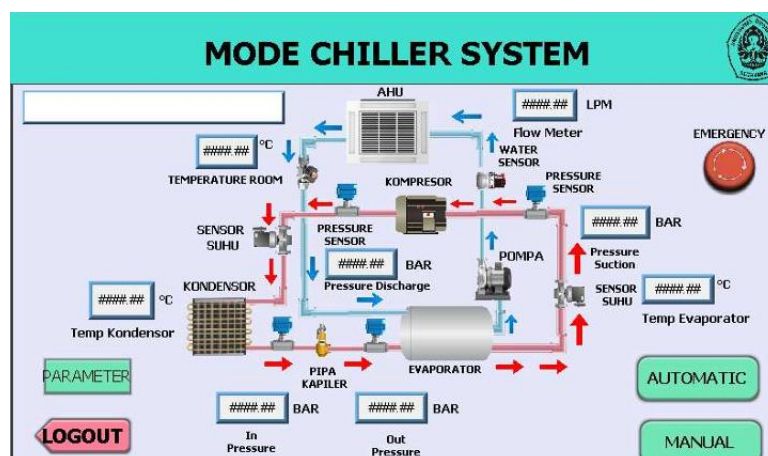
11. LOGOUT, untuk keluar dari main menu dan akan keluar juga sebagai pengguna (Operator, Manager, dan Engineer).

12. Jika dalam mode Manual, pastikan seluruh tombol komponen (Kompresor, Pompa, Fan) telah di-OFF-kan melalui HMI.
13. Jika dalam mode Otomatis, sistem akan berhenti sesuai logika program atau dapat dimatikan manual.
14. Tekan tombol *Push Button* OFF pada panel fisik untuk memutus daya kontrol sistem.
15. Turunkan tuas MCB untuk memutus aliran listrik utama jika alat tidak akan digunakan dalam waktu lama.

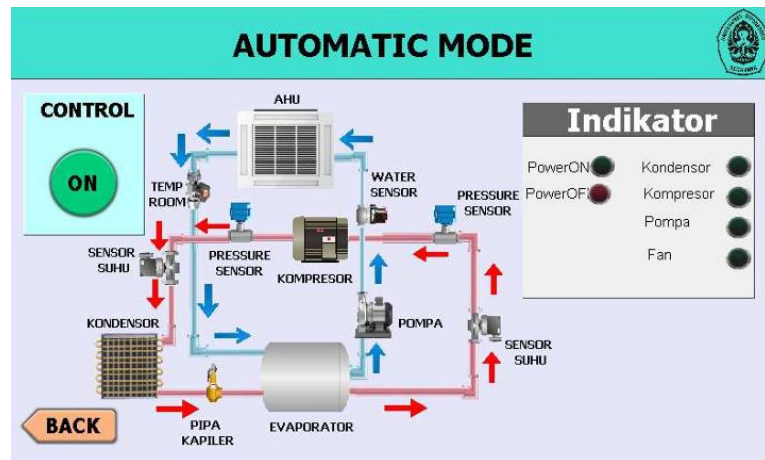
4.1.3 Pengaturan User pada HMI

Pengaturan *user access* pada sistem ini bertujuan untuk memberikan tingkat keamanan dan pengendalian hak akses pengguna. Fitur ini diterapkan untuk setiap pengguna hanya dapat melakukan aktivitas sesuai dengan perannya, sehingga mencegah terjadinya kesalahan dalam pengoperasian sistem oleh pihak yang tidak memiliki wewenang. Fitur pengaturan *user* diimplementasikan melalui HMI Weintek, yang memiliki sistem autentikasi berbasis *username dan password*, serta pembagian level hak akses (*user level*). Dalam sistem SCADA *Mini Air Chiller*, pengguna dibagi menjadi tiga level utama:

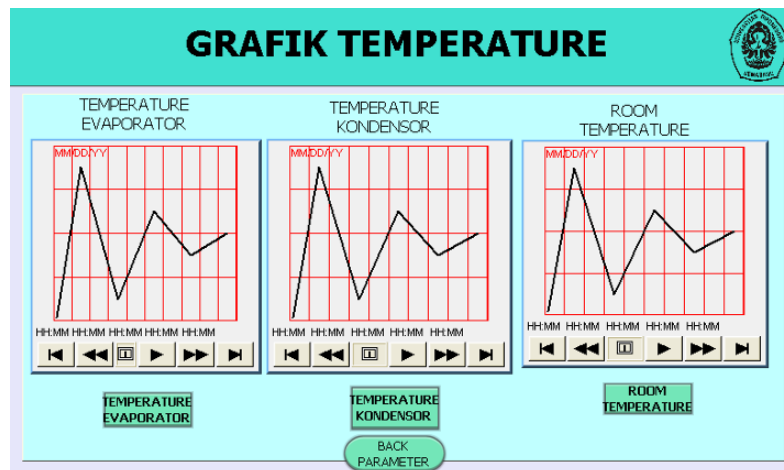
- A. Engineer: memiliki akses penuh (pengaturan sistem, parameter, mengatur setpoint, memonitoring alat, akusisi data dan juga visualisasi grafik). Pada **Gambar 4.13** dapat di lihat juga tampilan HMI untuk pengguna Engineer.



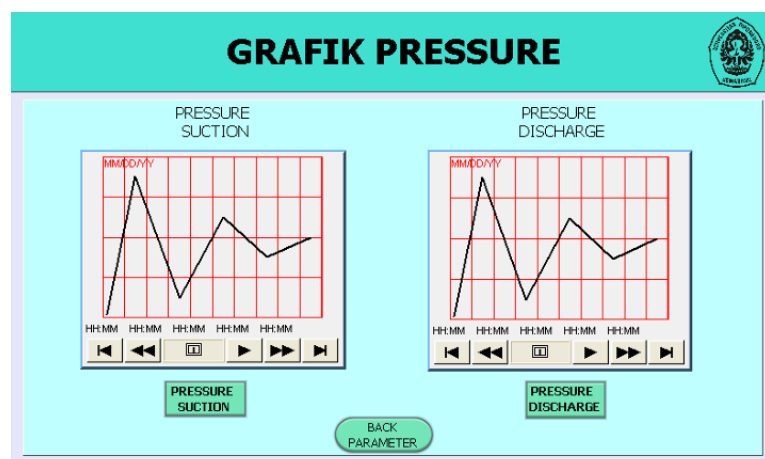
(a)



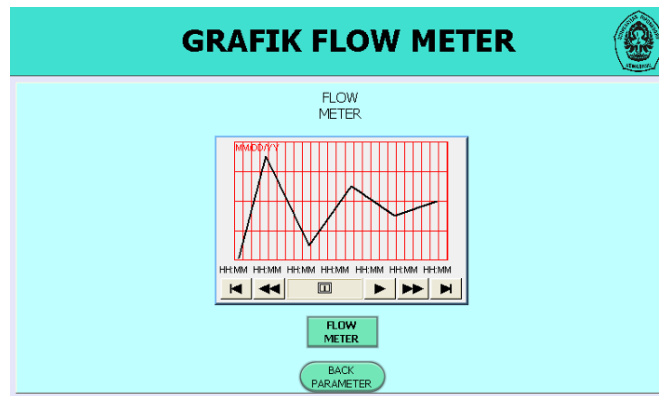
(b)



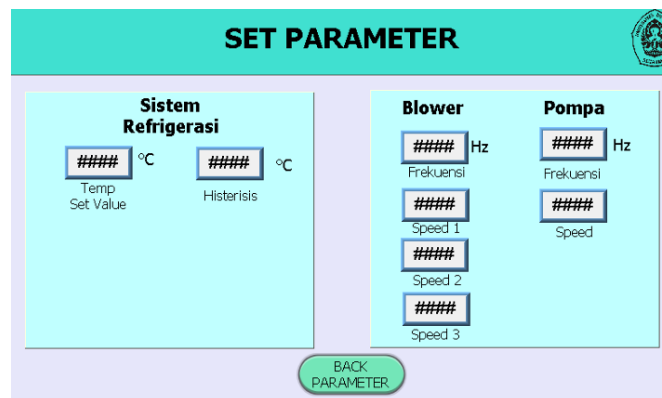
(c)



(d)



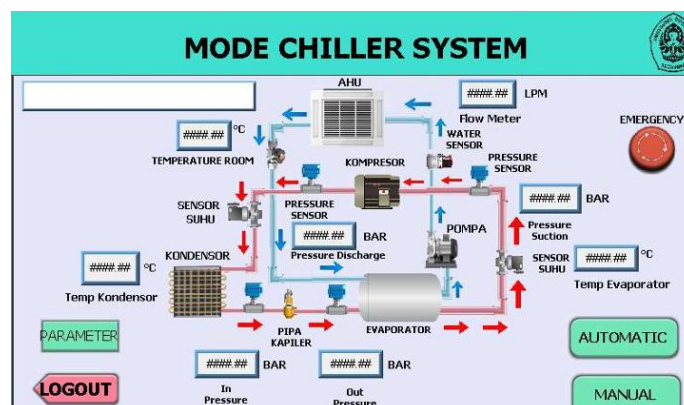
(f)



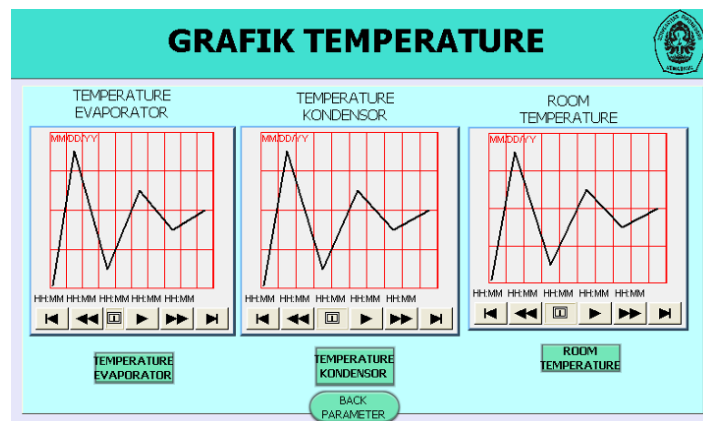
(g)

Gambar 4. 13 Tampilan HMI untuk Peran Engineer, (a) Main Menu, (b) Automatic Mode, (c-g) Setting Parameter & Graph

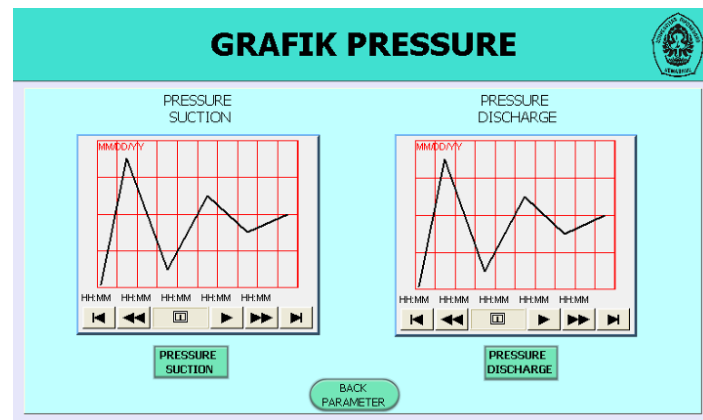
B. Manager: memiliki akses menengah (pemantauan data grafik maupun angka, dan analisis). Dapat di lihat pada **Gambar 4.14**.



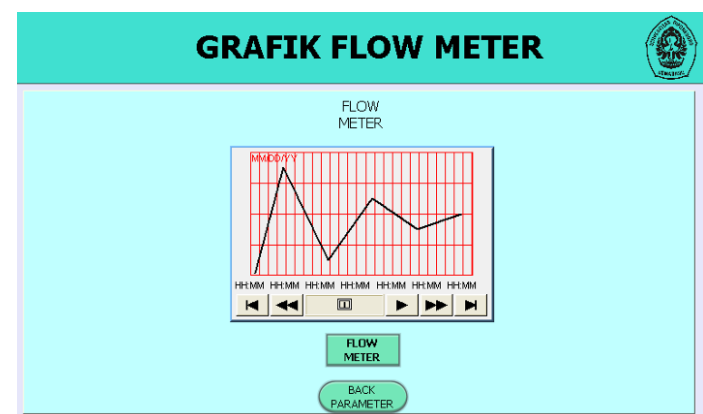
(a)



(b)



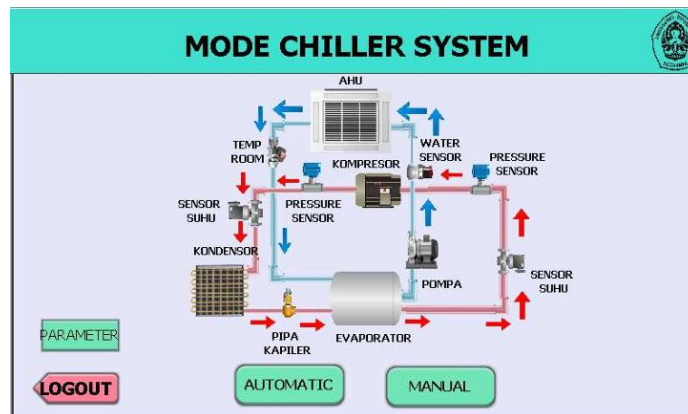
(c)



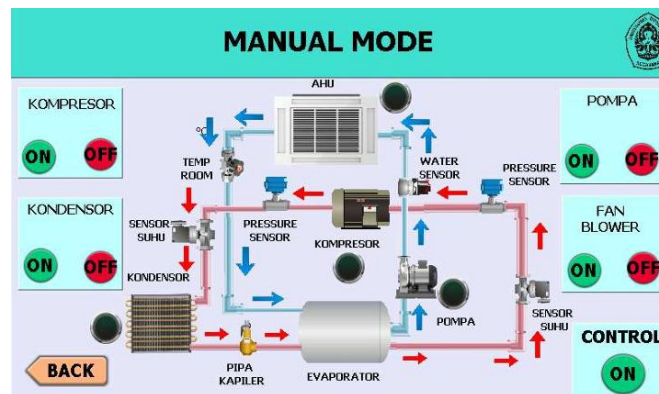
(d)

Gambar 4. 14 Tampilan HMI untuk Peran Manager, (a) Main Menu, (b-d) Graph

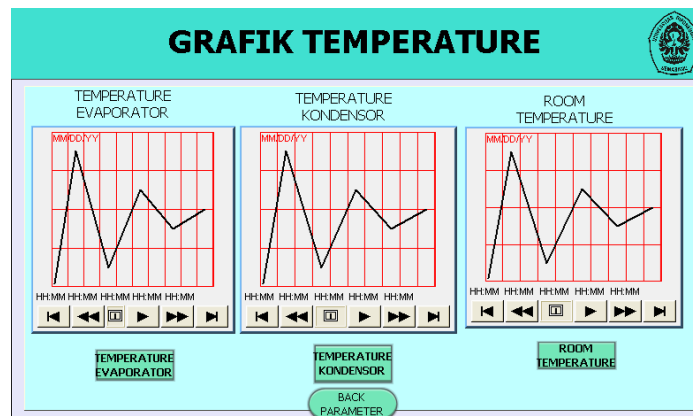
- C. Operator: Memiliki akses terbatas. Pengguna ini hanya dapat menjalankan sistem, memantau kondisi operasional, dan melakukan kontrol dasar seperti ON/OFF. Dapat dilihat pada **Gambar 4.15**.



(a)



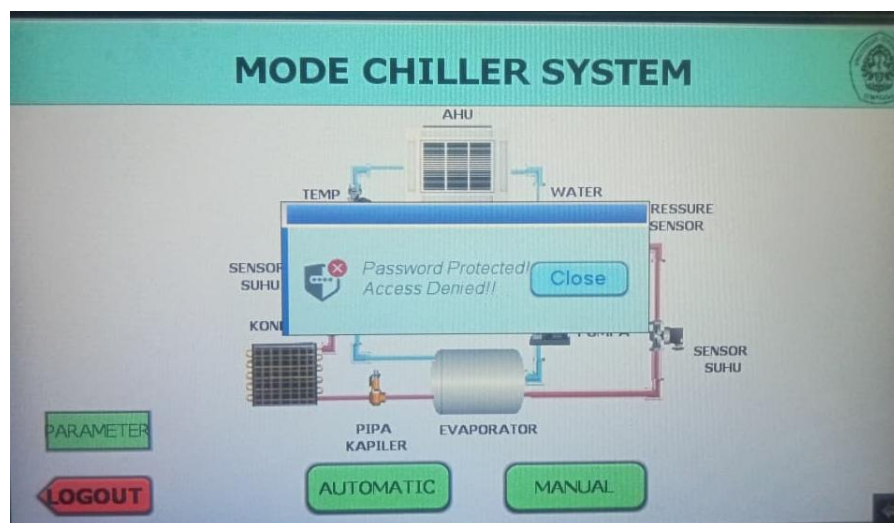
(b)



(c)

Gambar 4. 15 Tampilan HMI untuk Peran Operator, (a) Main Menu, (b) Manual Mode(c)Graph Pengaturan dari fitur *user access* sebagai berikut:

- a. Saat sistem SCADA dijalankan, tampilan awal HMI menampilkan halaman *login* yang meminta *username dan password*.
- b. HMI akan memverifikasi data *login* berdasarkan basis data *user* yang telah disimpan pada sistem.
- c. Jika proses login berhasil, sistem akan menampilkan halaman dan menu sesuai *level user*:
- d. Menu yang tidak diizinkan akan disembunyikan atau dinonaktifkan (*disabled*).
- e. Fungsi kontrol tertentu hanya aktif bagi pengguna dengan izin khusus.
- f. Jika login gagal (*password salah atau user tidak terdaftar*), sistem menampilkan notifikasi “*Access Denied*”. Dapat dilihat pada **Gambar 4.16**



Gambar 4. 16 Tampilan Access Denied

4.1.4 Mengatur Set Parameter melalui HMI

Berikut adalah langkah-langkah dan mekanisme untuk Mengatur Set Parameter melalui HMI (*Human Machine Interface*) pada sistem *Mini Air Chiller*:

1. Pertama, *Login* sebagai Engineer dan masukkan Passwordnya, lalu tekan tombol LOGIN

2. Dari tampilan utama (*Overview*) sistem pada layar HMI, tekan tombol **PARAMETER**. Tombol ini akan mengarahkan Anda ke halaman khusus untuk melihat nilai ukur, grafik, dan melakukan pengaturan *setpoint*.
3. Kemudian Engineer dapat menginput Nilai yang terdapat pada halaman **SET PARAMETER** tersebut, yang dapat dilihat pada **Gambar 4.17**



Gambar 4. 17 Tampilan Input pada Set Parameter

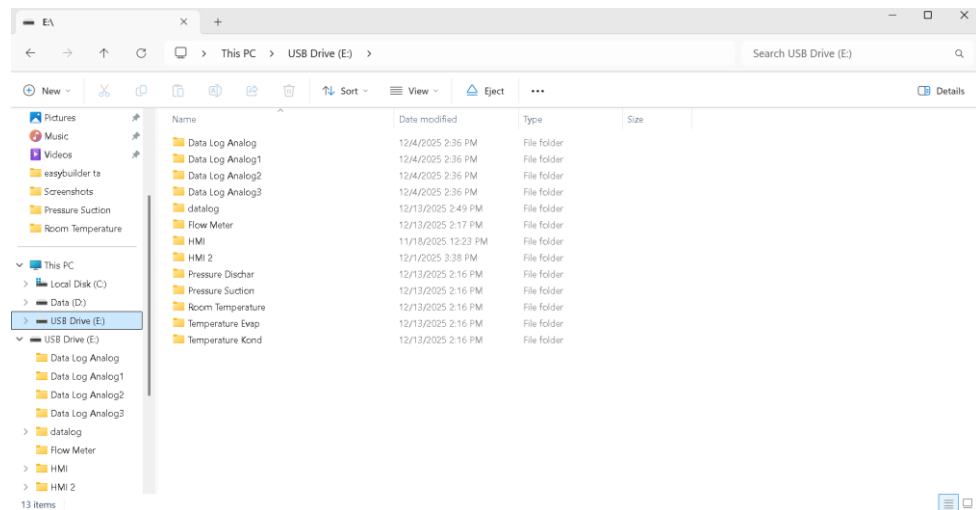
4.1.5 Mengambil Data Logging

Data Logging (Pencatatan Data) merupakan fitur vital dalam sistem SCADA dan HMI yang dirancang. Fitur ini memungkinkan sistem untuk merekam riwayat operasional mesin untuk keperluan analisis dan pemeliharaan.

Berikut adalah detail mengenai mekanisme dan fungsi pengambilan data logging pada sistem tersebut:

1. Pertama, pengambilan menggunakan Flashdisk. Jadi pastikan flashdisk terpasang ke port USB yang terdapat pada panel HMI fisik (terletak di bagian belakang atau bawah panel).
2. Lakukan LOGIN kembali menggunakan akun Engineer atau Manager. Hal ini wajib dilakukan karena tombol akses data atau backup biasanya dikunci untuk user biasa demi keamanan data.
3. Masuk ke halaman tampilan Data History atau *Trend Display* sesuai apa yang akan dilihat pada layar HMI
4. Tekan tombol **BACKUP** setiap data yang akan di analisis atau dilihat pada HMI.

5. Cabut Flashdisk dari HMI, lalu masukkan ke port USB pada Laptop/PC Anda.
6. Buka File Explorer di Laptop, lalu buka drive Flashdisk Anda.



Gambar 4. 18 Tampilan *File Explorer*

7. Cari folder sesuai yang ingin di buka. Di dalamnya, Anda akan menemukan file data *logging*.
8. Pastikan file tersebut berekstensi .csv atau.dtl. File ini sekarang dapat Anda buka dan olah menggunakan Microsoft Excel.

4.2 Pengujian Komponen

Pengujian komponen ini berfungsi untuk mengetahui kondisi komponen yang digunakan, dan memastikan komponen tersebut sesuai dengan spesifikasi yang ada dari manufaktur komponen tersebut.

4.2.1 Pengujian *Power Supply* 24 V

Power supply adalah komponen yang berfungsi untuk memberikan daya keseluruhan komponen yang terhubung dengan daya yang sesuai dengan spesifikasi *power supply*. Pada *power supply* ini menghasilkan daya sekitar 24 V. Untuk memastikan daya yang dikeluarkan serupa, diambil data tegangan yang dihasilkan *power supply*, datanya adalah sebagai berikut.

Tabel 4. 1 Data Pengukuran Tegangan *Power Supply* 24 V

No.	Tegangan Menurut Spesifikasi	Tegangan Hasil Pengukuran	Selisih	Error (%)
1.	24 V	23,8 V	0,2	0.83%
2.	24 V	23,9 V	0,2	0.83%
3.	24 V	23,9 V	0,1	0.42%
4.	24 V	23,8 V	0,2	0.83%
5.	24 V	23,9 V	0,1	0.42%
Rata-rata Error				0.666%

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan terhadap power supply 24VDC, Diperoleh tegangan keluaran yang dihasilkan 23.9 V dengan arus yang dikeluarkan stabil saat mengalir pada PLC dan HMI. Nilai tersebut menunjukkan bahwa penurunan tegangan yang terjadi sangat kecil, yaitu kurang dari 0.5% dari nilai nominalnya. Sehingga masih dapat di toleransi untuk sistem.

4.2.2 Pengujian Komunikasi HMI – PLC Schneider TM241CE24T

Pengujian Komunikasi HMI dan PLC Schneider TM241CE24T untuk memastikan bahwa kedua perangkat dapat berkomunikasi secara dua arah, yakni PLC mengirimkan data hasil pembacaan ke HMI, kemudian HMI dapat mengirimkan perintah kontrol ke PLC.

Tabel 4. 2 Data Hasil Komunikasi HMI – PLC Schneider TM241CE24T

No.	Kondisi HMI	Kondisi PLC	Respon Waktu (ms)
1.	Kompresor (On)	Kompresor (On)	12
2.	Kondensor (On)	Kondensor (On)	12
3.	Pompa(On)	Pompa (On)	12
4.	<i>Fan Blower</i> (On)	<i>Fan Blower</i> (On)	13
5.	Kompresor (Off)	Kompresor (Off)	13

6.	Kondensor (Off)	Kondensor (Off)	13
7.	Pompa(Off)	Pompa (Off)	12
8.	<i>Fan Blower</i> (Off)	<i>Fan Blower</i> (Off)	12
Rata-rata Respon Waktu (ms)			12.4

Berdasarkan pengujian komunikasi HMI dan PLC berhasil diterapkan, dengan HMI yang dapat mengirimkan dan membaca data PLC dengan *real time* dan setiap status atau nilai PLC di tampilkan pada antarmuka HMI tanpa jeda yang signifikan dapat di lihat pada **Tabel 4.2** menunjukkan rata-rata waktu responnya 12.4ms. Nilai tersebut menunjukkan bahwa komunikasi antara HMI dan PLC sangat cepat.

4.3 Pengujian Keseluruhan Alat

Pengujian keseluruhan alat bertujuan agar alat dapat berfungsi dengan baik sebagai sistem pengendali *water level* dengan teknologi SCADA dan HMI.

4.3.1 Pengujian Respon Alat

Dengan adanya pengujian ini untuk memastikan SCADA dan antarmuka yang telah dirancang bekerja secara responsif. Hal tersebut untuk menjamin perintah yang di berikan oleh pengguna bekerja tanpa delay yang mengganggu, sehingga sistem dapat bekerja. Setelah dilakukan pengujian waktu respon alat menggunakan HMI, adalah hasil sebagai berikut:

Tabel 4. 3 Data Respon Alat

No. Sampel (HMI)	Respon Alat (ms)
1	12
2	12
3	13
4	12
5	13

6	14
7	13
8	12
9	14
10	13
Rata-rata (ms)	12.8



Gambar 4. 19 Dokumentasi Test Respon Sistem

Berdasarkan hasil dari pengujian yang telah dilakukan terhadap respon alat pada sistem SCADA ini, diperoleh data yang dapat dilihat pada **Tabel 4.3** juga menunjukkan data yang variasi waktu respon yang sangat kecil, dengan kisaran 12-14ms, dengan deviasi hanya sebesar 2ms menunjukkan bahwa jalur komunikasi kabel/protokol sangat stabil, beban pemrosesan pada PLC dan HMI seimbang tidak ada gangguan pada pemrosesan yang menyebabkan adanya lonjakan waktu respon.

Ketika terjadi perubahan nilai sensor, HMI juga menampilkan pembaharuan nilai sensor secara langsung tanpa jeda yang lama. Hal tersebut menunjukkan

bahwa respon yang di kirimkan dan diterima berjalan dengan sangat baik. Pengujian juga melibatkan hasil stopwatch yang menunjukkan 12 ms yang sinkron dengan data pada tabel, meverifikasi bahwa data yang dicatat.

4.3.2 Pengujian Akusisi Data

Pengujian akusisi data ini dilakukan untuk memastikan proses pertukaran data antara PLC Schneider TM241CE24T, HMI Weintek, dan sistem SCADA berlangsung dengan stabil tanpa gangguan. Sistem SCADA *Mini Air Chiller*, Komunikasi data menjadi aspek penting dalam keberhasilan sistem dalam monitoring dan kontrol otomatis. Semua data dari sensor suhu (RTD PT100), sensor tekanan (WPT-71G), dan sensor aliran (YF-S201) yang di kirimkan ke PLC untuk di olah, Kemudian akan dilanjutkan ke HMI dan SCADA melalui protokol komunikasi Modbus RTU.

Pengujian akusisi data bertujuan untuk pengamatan apakah nilai pembacaan sensor yang dikirimkan dari PLC dapat di tampilkan dengan benar pada HMI dan SCADA, serta untuk memastikan perintah kendali dapat di lanjutkan kembali ke PLC dan actuator tanpa adanya *delay* atau *error* komunikasi.

Tabel 4. 4 Data Hasil *Pressure Suction*

No	Jenis Sensor	Nilai Sensor di PLC (bar)	Nilai di SCADA (bar)	Selisih Pembacaan	Error
1	Pressure Suction	11.96	11.96	0	0%
2	Pressure Suction	11.97	11.98	0.01	0.0835%
3	Pressure Suction	11.99	11.99	0	0%
4	Pressure Suction	12.00	12.00	0	0%
5	Pressure Suction	12.02	12.02	0	0%

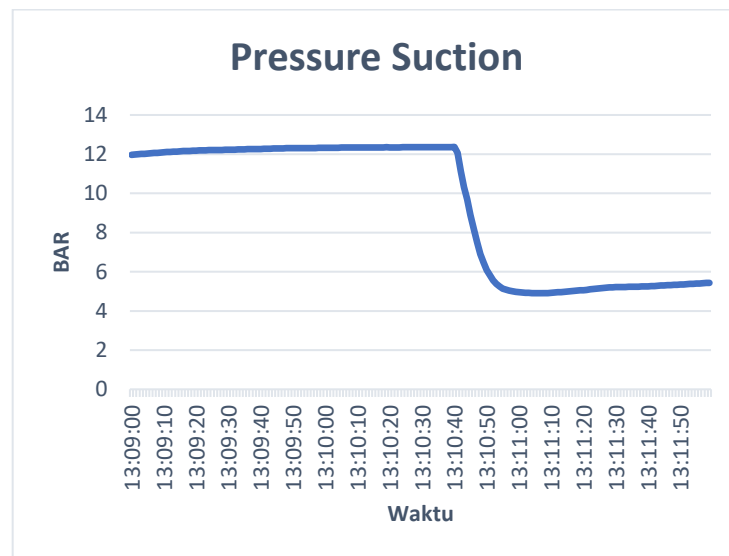
Hasil Pengujian yang dapat dilihat pada **Tabel 4.4** menunjukkan bahwa dari 5 sampel yang diambil dalam pengujian, 4 sampel (80%) menunjukkan kecocokan (selisih 0) antara nilai di PLC dan SCADA. Hal tersebut membuktikan komunikasi yang digunakan sangat stabil. Untuk sedikit penyimpanga pada sampel ke-2, yang

mana PLC membaca 11.97 sedangkan pada SCADA membaca 11.98 dimana selisih 0.01. Deviasi tersebut sangat kecil, penyebabnya adalah pembulatan decimal pada perangkat easybuilder, namun hal tersebut tidak mempengaruhi pembacaan. Untuk rata-rata *error* yang dihasilkan adalah 0.0167%, angka tersebut sangat jauh, membuktikan sistem akuisisi pada *pressure suction* datanya sangat presisi.



Gambar 4. 20 Grafik HMI Pressure Suction

Berdasarkan hasil pengujian akuisisi data pada sensor tekanan (*pressure suction*) yang digunakan dalam sistem, diperoleh bahwa pembacaan nilai tekanan dari sensor Wisner WPT-71G dapat diterima dan ditampilkan secara *real-time* pada tampilan HMI. Sensor ini berfungsi untuk mendeteksi tekanan hisap pada sisi input kompresor.



Gambar 4. 21 Grafik Data *Pressure Suction*

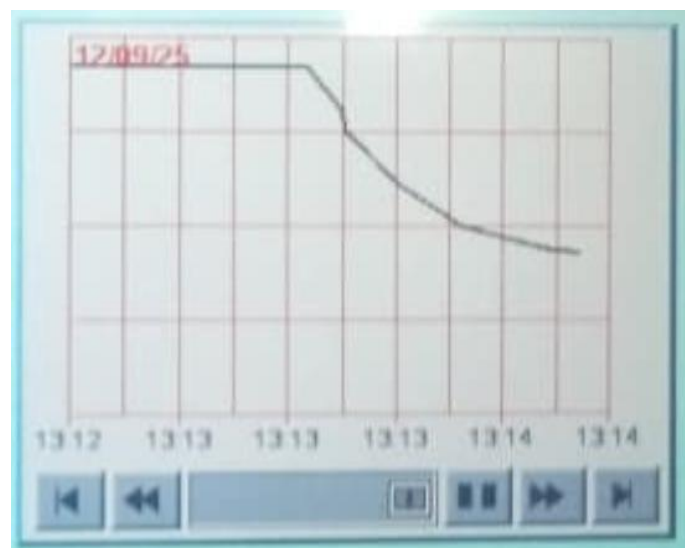
Kedua grafik menunjukkan bentuk gelombang (*waveform*) yang identik. Garis pada HMI **Gambar 4.20** mereplikasi persis data aktual yang diplot di Excel **Gambar 4.21**. Hal tersebut membuktikan Nilai tekanan *suction* yang terbaca di HMI identik dengan hasil pembacaan di PLC, menunjukkan bahwa proses akuisisi data berjalan sinkron tanpa adanya *delay* atau kesalahan komunikasi. Hal ini diperkuat oleh tampilan grafik yang halus tanpa lonjakan nilai (*spike*) yang menandakan stabilitas sinyal sensor dan keakuratan pada input PLC.

Tabel 4. 5 Data Hasil *Pressure Discharge*

No	Jenis Sensor	Nilai Sensor di PLC (bar)	Nilai di SCADA (bar)	Selisih Pembacaan	Error
1	Pressure Discharge	22.88	22.88	0	0%
2	Pressure Discharge	22.95	22.96	0.01	0.0436%
3	Pressure Discharge	23.02	23.02	0	0%
4	Pressure Discharge	20.45	20.45	0	0%
5	Pressure Discharge	12.85	12.86	0.01	0.0778%

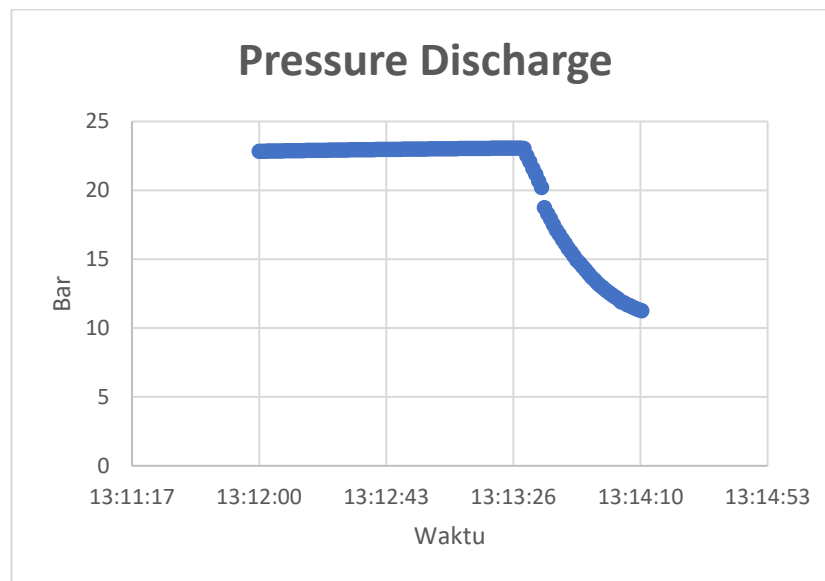
Berdasarkan **Tabel 4.5** dapat dilihat dari 5 sampel data yang diambil, 3 sampel (60%). Menunjukkan selisih 0 antara PLC dan SCADA, hal tersebut

menunjukkan stabilitas akusisi data yang tinggi. Terdapat penyimpangan sangat kecil pada sampel ke-2 dan sampel ke-5, dimana terjadi slesih sebesar 0.01. Deviasi tersebut kemungkinan besar disebabkan oleh pembulatan digit decimal pada antarmuka SCADA. Di lihat pada **Gambar 4.22** dan **Gambar 4.23** menunjukkan tren penurunan tekanan 22.49 menjadi 20.65, yang membuktikan SCADA mampu mengikuti perubahan data dinamis secara akurat dan *real-time*.



Gambar 4. 22 Grafik HMI *Pressure Discharge*

Hasil pengujian yang dilakukan pada sensor tekanan (*pressure Discharge*), diperoleh pembacaan nilai tekanan dari sensor Wisner WPT-71G dapat diterima dan ditampilkan pada HMI. Sensor tersebut berfungsi untuk pengukuran tekan yang keluar dari kompresor pada tekanan tinggi sistem.



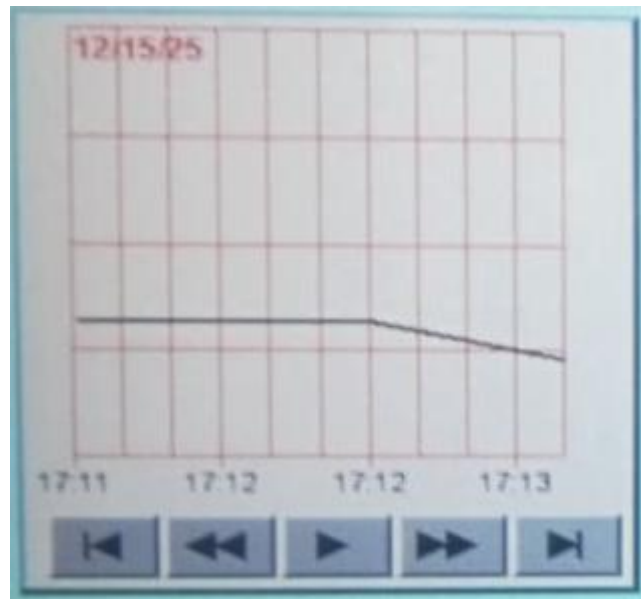
Gambar 4. 23 Grafik Data *Pressure Discharge*

Berdasarkan **Gambar 4.22** (Grafik HMI) dan **Gambar 4.23** (Grafik Data *Logging*) Data yang ditampilkan di HMI sama dengan data yang terekam di PLC, tanpa keterlambatan tampilan atau perbedaan nilai. Grafik trend display HMI menunjukkan pola yang halus dan responsif, menandakan bahwa sinyal sensor diterima dengan baik, tanpa *noise* atau *delay* komunikasi. Selain itu, fitur *data logging* pada sistem SCADA mencatat data tekanan secara periodik dengan interval waktu yang konstan, memperlihatkan konsistensi antara data *real-time* dan *historis*. Hal ini menegaskan bahwa sistem akuisisi databerjalan dengan stabil.

Tabel 4. 6 Data Hasil Temperature Evaporator

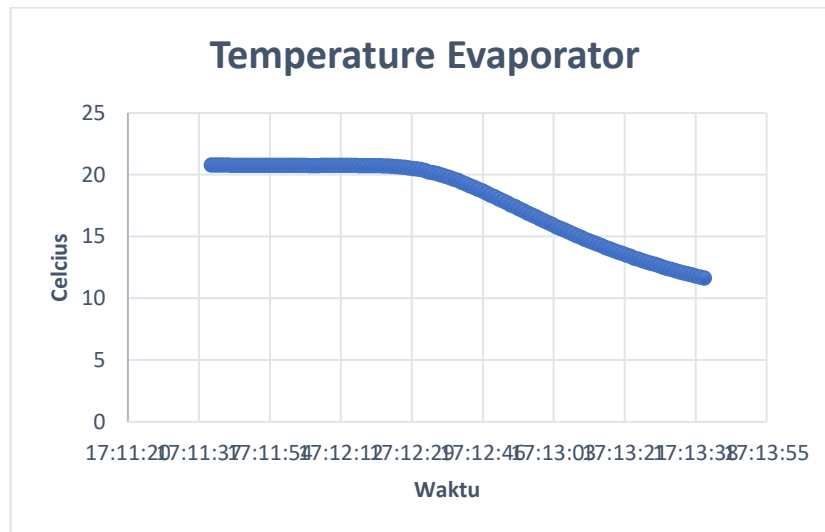
No	Jenis Sensor	Nilai Sensor di PLC (°C)	Nilai di SCADA (°C)	Selisih Pembacaan	Error
1	Temperature Evaporator	20.76	20.76	0	0%
2	Temperature Evaporator	20.71	20.72	0.01	0.0483%
3	Temperature Evaporator	19.26	19.26	0	0%
4	Temperature Evaporator	15.55	15.56	0.01	0.0643%
5	Temperature Evaporator	12.62	12.62	0	0%

Pada **Tabel 4.6** menunjukkan 5 sampel data yang diambil, 3 sampel (60%) menunjukkan selisih 0 antara PLC dan SCADA. Hal tersebut menunjukkan bahwa pada sebagian besar waktu, data terkirim tanpa perubahan nilai. Pada sampel ke-2 dan ke-4 terdapat deviasi sebesar 0.01. Deviasi tersebut disebabkan oleh perbedaan metode pembulatan digit decimal terakhir antara PLC dan SCADA.



Gambar 4. 24 Grafik HMI Temperature Evaporator

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan terhadap sensor suhu (*Temperature Evaporator*), diperoleh bahwa data hasil pembacaan dari sensor RTD PT100 dapat diterima PLC dan ditampilkan secara *real-time* pada HMI. Sensor suhu di sini digunakan suhu air yang keluar dari evaporator pada sistem, yang berfungsi sebagai parameter kritis dalam sistem chiller karena dapat menunjukkan efektivitas penyerapan panas.



Gambar 4. 25 Grafik Data Temperature Evaporator

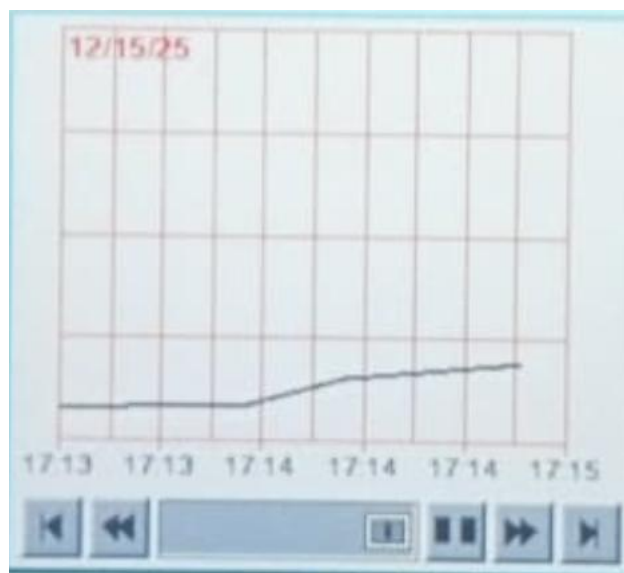
Berdasarkan **Gambar 4.24** (Grafik HMI) dan **Gambar 4.25** (Grafik Data Logging) menunjukkan tren suhu yang sedang turun, Hal ini membuktikan bahwa HMI berhasil memvisualisasikan data aktual dari PLC secara *real-time* tanpa distorsi. Resolusi grafik pada HMI cukup baik untuk menampilkan perubahan gradien suhu yang halus, tidak patah-patah secara ekstrem.

Tabel 4. 7 Data Hasil Temperature Kondensor

No	Jenis Sensor	Nilai Sensor di PLC (°C)	Nilai di SCADA (°C)	Selisih Pembacaan	Error
1	Temperature Kondensor	20.86	20.86	0	0%
2	Temperature Kondensor	23.84	23.84	0	0%
3	Temperature Kondensor	26.90	26.90	0	0%
4	Temperature Kondensor	28.51	28.51	0	0%
5	Temperature Kondensor	28.51	28.52	0.01	0.0351%

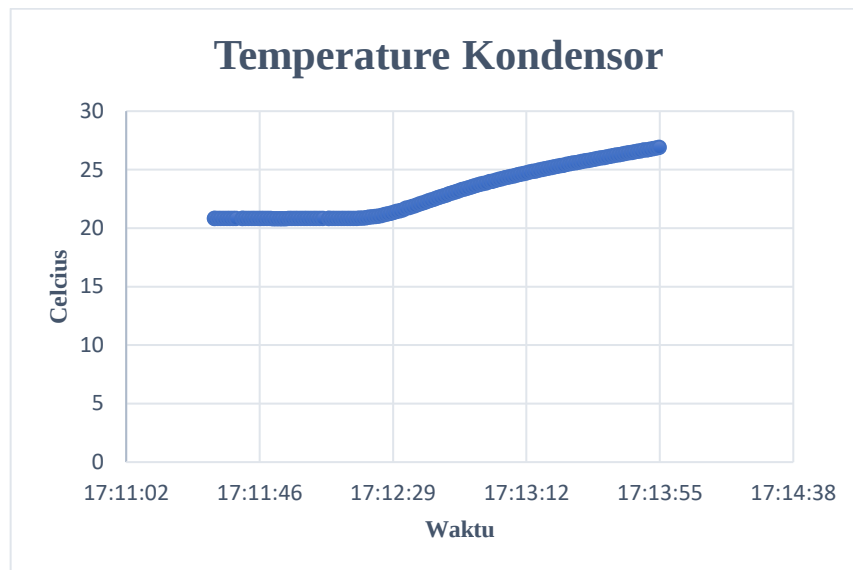
Pada **Tabel 4.7** terdapat 5 sampel yang diambil, 4 sampel (80%) menunjukkan selisih 0 antara pembacaan di PLC dan tampilan di HMI. Hal tersebut menunjukkan bahwa komunikasi data pada modbus bekerja sangat stabil. Pada sampel ke-5, tercatat deviasi sangat kecil sebesar 0.01, Hal ini dipengaruhi oleh perbedaan metode pembulatan pada Easybuilder saat menangani angka dibelakang koma, selisih yang sangat kecil tersebut juga tidak berdampak signifikan.

Data menunjukkan bahwa suhu pada kondensor sedang mengalami penurunan. Sistem SCADA berhasil mengikuti perubahan dinamis secara real-time tanpa adanya keterlambatan data yang menyebabkan nilai tertinggal dari kondisi sebenarnya.



Gambar 4. 26 Grafik HMI Temperature Kondensor

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan terhadap sensor suhu (*Temperature Condenser*), diperoleh bahwa sensor RTD PT100 mampu memberikan pembacaan suhu yang akurat dan *real-time* melalui SCADA, Sensor suhu pada kondensor ini digunakan untuk mengukur suhu air pada area keluaran panas dari sistem sebelum air masuk kembali ke siklus evaporator. Pemantauan suhu kondensor sangat penting untuk memastikan proses pelepasan panas (*heat rejection*) dari refrigeran ke lingkungan berjalan optimal. Jika data ini tidak akurat, sistem *overheating* mungkin tidak terdeteksi, yang dapat menyebabkan kerusakan pada kompresor atau penurunan efisiensi sistem pendingin.



Gambar 4. 27 Grafik Data Temperature Kondensor

Berdasarkan **Gambar 4.26** (Grafik HMI) dan **Gambar 4.27** (Grafik Data Logging) Nilai suhu kondensor yang ditampilkan di HMI sama dengan nilai yang tercatat di PLC, menandakan bahwa komunikasi Modbus RTU berjalan lancar dan sinkron. Grafik suhu pada HMI menunjukkan respon yang cepat dan halus, tanpa *delay* tampilan, sehingga proses akuisisi data berlangsung *real-time* dan stabil.

Selain itu, data suhu kondensor juga tersimpan di sistem *data logging* SCADA dan menunjukkan hasil yang sama dengan grafik trend *real-time*. Kesamaan ini membuktikan bahwa proses pembacaan, transmisi, dan pencatatan data berlangsung sinkron tanpa kehilangan informasi.

Tabel 4. 8 Data Hasil Temperature Room

No	Jenis Sensor	Nilai Sensor di PLC (°C)	Nilai di SCADA (°C)	Selisih Pembacaan	Error
1	Temperature Room	22.02	22.03	0.01	0.0454%

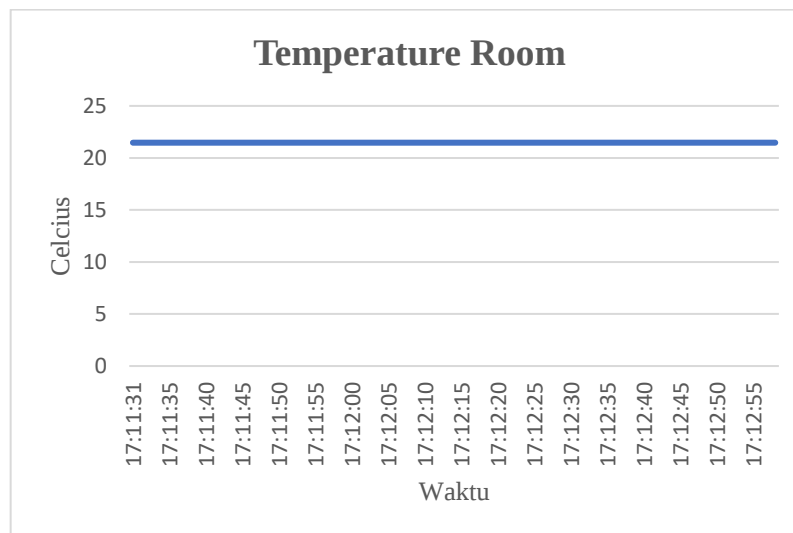
2	Temperature Room	22.05	22.05	0	0%
3	Temperature Room	22.07	22.07	0	0%
4	Temperature Room	22.10	22.10	0	0%
5	Temperature Room	22.12	22.12	0	0%

Berdasarkan **Tabel 4.8** terdapat 5 sampel percobaan yang diambil, yang mana 4 sampel (80%) menunjukkan selisih nilai 0 antara PLC dan HMI, Maka menunjukkan performa akusisi data yang paling stabil. Hanya sampel ke-1 yang menunjukkan selisih sangat kecil sebesar 0.01, selisih yang sangat kecil tersebut karena adanya perbedaan pembulatan digit terakhir pada saat data pertama kali ditarik oleh SCADA. Data menunjukkan kenaikan suhu yang stabil, maka sistem SCADA berhasil menampilkan kenaikan suhu secara presisi dan *real-time* tanpa keterlambatan.



Gambar 4. 28 Grafik HMI Temperature Room

Berdasarkan hasil pengujian akusisi data pada sensor suhu (*temperature room*), diperoleh bahwa sensor RTD PT100 mampu membaca dan mengirimkan data suhu udara di sekitar sistem, yang akan ditampilkan pada HMI secara *real-time*.



Gambar 4. 29 Grafik Data Temperature Room

Berdasarkan **Gambar 4.28** (Grafik HMI) dan **Gambar 4.29** (Grafik Data Logging) Visualisasi pada HMI berhasil merepresentasikan kondisi lingkungan yang statis. Perubahan suhu ruangan berkorelasi secara tidak langsung dengan suhu kondensor dan evaporator, Ketika suhu kondensor meningkat, suhu ruangan cenderung ikut naik sedikit karena adanya perpindahan panas dari unit pendingin ke udara sekitar. Namun, karena peningkatannya hanya sekitar 1–2°C, dapat disimpulkan bahwa disipasi panas sistem berjalan efisien dan ruangan tetap berada dalam kondisi termal yang stabil.

Data suhu ruangan yang ditampilkan di HMI sama dengan data yang direkam oleh PLC, menunjukkan bahwa komunikasi data antara perangkat berjalan sinkron tanpa *delay*. Grafik suhu ruangan memiliki pola garis lurus dengan sedikit variasi, menandakan bahwa sistem SCADA mampu membaca dan menampilkan perubahan suhu lingkungan dengan akurasi tinggi.

4.4 Analisis Alat keseluruhan

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan, dapat dianalisis beberapa point - point mengenai kinerja alat *Mini Air Chiller* yang telah dilengkapi dengan sistem SCADA:

1. Respon sistem secara *real-time* yang mana alat mampu bekerja secara *real-time* dengan *delay* (jeda waktu) yang sangat minimum. Hal tersebut berdasarkan pengujian respon alat **Tabel 4.3**, rata-rata waktu yang dibutuhkan sistem untuk mengirim data dari sensor hingga tampil di HMI adalah 12.8 ms (milidetik). Hal ini menunjukkan komunikasi antara PLC dan HMI sangat responsif.
2. Akurasi akusisi data yang presisi, yang mana Sistem SCADA mampu membaca dan mentransmisikan data dari sensor lapangan dengan tingkat kesalahan yang nyaris nol. Hal tersebut berdasarkan perbandingan nilai antara pembacaan PLC dan tampilan SCADA dimana rata-rata error dibawah 0.1% untuk semua parameter.
3. Visualisasi grafik tren yang ditampilkan merupakan representasi dari kondisi aktual pada alat. Hal tersebut berdasarkan analisis antara kedua grafik HMI dan grafik Data dimana menunjukkan pola gelombang yang sama , ketika penurunan suhu yang drastic ataupun lonjakan tekanan tanpa adanya distorsi pada grafik.
4. Penerapan akses pengguna (*User Management*) berfungsi dengan efektif dalam melindungi sistem. Ada pembagian hak akses Engineer (*Full Access*), Manager (*Monitoring*), dan Operator (*Control Only*) mencegah perubahan parameter kritis oleh pihak yang tidak berwenang.