

BAB II

DASAR TEORI

Bab ini membahas dari berbagai landasan teori dan referensi ilmiah yang mendasari dari perancangan dan implementasi sistem yang akan dibuat dalam tugas akhir ini. Penjabaran dilakukan dengan menyusun pemahaman teoritis dari berbagai komponen yang mendukung pada sistem yang dibuat, serta meninjau hasil-hasil penelitian terdahulu yang relevan pada tugas akhir ini.

2.1. Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka ini mencakup beberapa referensi yang telah dievaluasi terkait perancangan sistem *supervisory control and data acquisition* (SCADA) pada *Mini Air Chiller* berbasis PLC dalam rangka pembuatan proyek tugas akhir. Hasil dari tinjauan pustaka dapat dilihat pada **Tabel 2. 1** berikut ini.

Tabel 2. 1 Tinjauan Pustaka

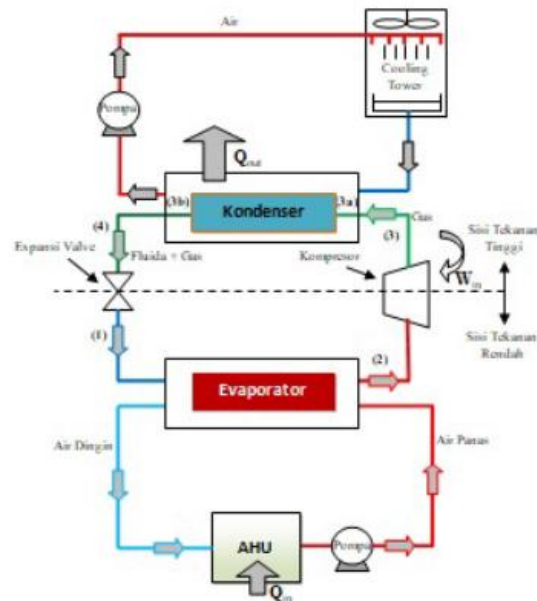
No	Judul Penelitian	Penulis/Tahun	Kesimpulan
1.	Perancangan <i>Human Machine Interface</i> Pada Plant Hvac Berbasis Scada	M. F. Rahman (2023)	Pengujian HMI yang dilakukan meliputi pengujian terhadap mode manual, mode auto, mode gangguan dan pengujian HMI melalui I Pembacaan sensor masih menunjukkan keakurasian yang baik dengan error selisih pembacaan actual
2.	Perancangan Program Plc Dan Scada Pada <i>Plant Hvac</i>	Mu’Affi, Subhan Faisal (2023)	Mengembangkan sistem HVAC dengan PLC dan SCADA yang mengatur suhu dan kelembaban secara otomatis, serta menyediakan monitoring <i>real-time</i> melalui HMI dan SCADA. Cocok sebagai media pembelajaran dan implementasi kontrol suhu.
3	Perancangan Sistem SCADA (<i>Supervisory Control and Data</i>	R. M. T. Angin, M. Arman and B.	Merancang sistem SCADA berbasis PLC untuk mengontrol dan memantau

Acquisition) pada Water Chiller Hidroponik Menggunakan PLC Siemens LOGO	Y. Prasetyo (2024)	water chiller, termasuk pengukuran suhu dan tekanan, dengan integrasi HMI untuk monitoring. Sistem meningkatkan kontrol dan pemantauan meskipun belum sepenuhnya <i>real-time</i>
---	-----------------------	---

2.2. Mesin Chiller

Mesin chiller merupakan mesin *refrigerant* yang menggunakan pendinginan secara tidak langsung sebagai metodenya, yang dimana proses tersebut menggunakan dua *refrigerant* yakni *refrigerant* primer dan *refrigerant* sekunder[6] [1]. Mesin chiller juga merupakan mesin yang mengambil kalor dari cairan pada siklus *refrigerant* kompresi uap/absorpsi. Mesin chiller merupakan alat mekanik yang dibuat untuk penghilang hawa panas yang menggunakan pendingin seperti *freon*, Chiller biasanya dipakai untuk sistem pendinginan di industrial seperti mesin pendingin, pendinginan udara dan pendinginan air[7].

Tugas akhir ini media yang akan didinginkan berupa air, sehingga sistem chiller yang digunakan yaitu *Mini Air Chiller*. *Mini Air Chiller* mempunyai fungsi dalam mendinginkan air pada evaporator. Air yang dingin dihasilkan kemudian akan didistribusikan pada mesin penukaran kalor. Sistem pendingin yang sering digunakan pada mesin chiller yaitu sistem pendingin kompresi uap. Sistem kompresi uap ini memang sistem pendingin yang banyak digunakan dalam berbagai pengaplikasian pada mesin pendingin, termasuk pada mesin chiller[8]. Chiller bekerja dengan prinsip kerja kompresi uap dan kondensi uap. Sistem *Mini Air Chiller* memiliki prinsip dasar siklus kompresi uap *refrigerant* yang ditunjukkan pada **Gambar2.1** siklus tersebut memiliki empat komponen utama yang menunjang sistem *Mini Air Chiller* yaitu evaporator, kondensor katup ekspansi, dan kompresor. Dengan fungsi yang berurutan untuk menyerap dan melepas panas, sehingga menghasilkan air dingin yang digunakan dalam proses pendinginan.



Gambar2. 1 Siklus Kompresi Uap Refrigerant

Sumber: [9].

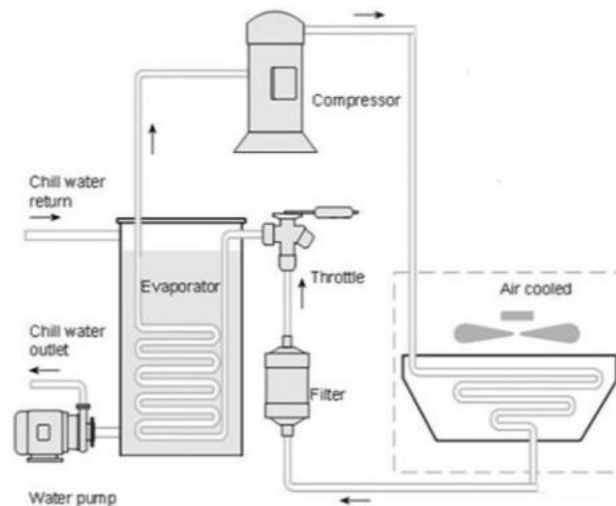
Proses pertama adalah *refrigerant* yang mengalir dari *compressor* menuju ke kondensor, pada kondensor *refrigerant* akan mengalami kondensasi yang mana panas akan hilang ke lingkungan. Setelah itu, *refrigerant* menjadi cair dan mengalir menuju katup ekspansi yang tekanan *refrigerant* tersebut akan ditekan menyebabkan penurunan suhu dan terjadi pendinginan. *Refrigerant* yang cair dan dingin akan menuju evaporator. Pada evaporator akan terjadi penyerapan panas pada udara ruangan yang membuat *refrigerant* menjadi gas, udara yang dingin akan dikembalikan lagi ke ruangan sementara *refrigerant* gas akan masuk ke kompresor untuk mengalami siklus pengulangan[10].

Mesin chiller dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa jenis berdasarkan media pelepas panas dan mekanisme kerja pendinginannya. Berdasarkan media pelepasan panas, chiller dibagi menjadi dua, yaitu:

a. *Air-cooled chiller*

Air-cooled chiller merupakan sistem pendingin yang digunakan untuk mendinginkan air dengan cara membuang panas ke udara terbuka melalui kipas dan *heat exchanger*. Berbeda dengan *water-cooled chiller* yang memerlukan menara pendingin (*cooling tower*), sistem *air-cooled* hanya membutuhkan

udara lingkungan untuk proses kondensasi[11]. Proses *Air-cooled chiller* dapat dilihat pada **Gambar 2.2**.



Gambar2.2 *Air-cooled chiller*

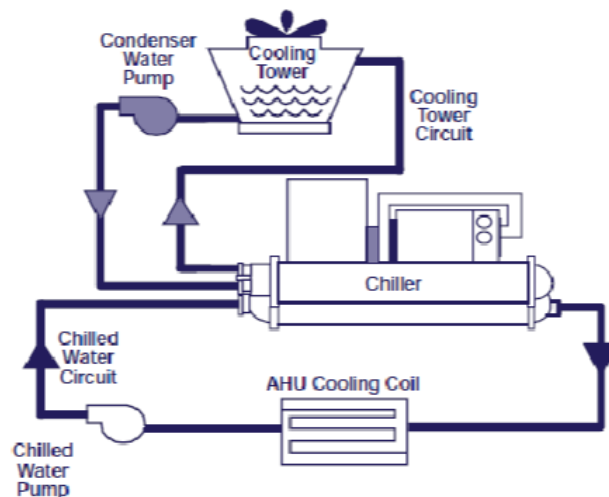
Sumber: [12]

Kondenser dengan pendinginan udara sehingga tidak membutuhkan air sebagai media pendingin. Kondenser ini melakukan pembuangan panas langsung ke udara luar. Keuntungan utama dari penggunaan kondenser berpendingin udara adalah tidak perlunya menyiapkan menara pendingin dalam sistem pendinginan. Ini membuat perawatan chiller menjadi lebih sederhana, karena tidak dibutuhkan pengolahan air, pembersihan saluran dalam kondenser, pemeliharaan mekanis menara pendingin, perlindungan dari suhu ekstrem rendah (dinegara beriklim empat musim), dan penyediaan air. Secara keseluruhan, ini juga akan mengurangi biaya operasional[12].

b. *Water-cooled chiller*

Water-cooled chiller merupakan sistem pendingin yang menggunakan air sebagai media pembuang panas melalui *cooling tower* (menara pendingin). Berbeda dari *air-cooled chiller* yang membuang panas langsung ke udara. Proses *water cooled chiller* dapat dilihat pada **Gambar 2.3**. Tipe pelepasan panas pada *refrigerant* yang memanfaatkan air. Air ini berfungsi untuk mendinginkan

kondenser yang menerima suplai dari *cooling water*. Di dalam chiller, jika suhu air yang keluar dari kondenser meningkat, maka suhu dan tekanan *refrigerant* juga akan meningkat. Sebaliknya, jika suhu air yang keluar dari kondenser menurun, maka suhu dan tekanan *refrigerant* pun akan menurun.



Gambar2.3 Water-cooled chiller

Sumber: [12]

Perubahan suhu dan tekanan *refrigerant* ini akan mempengaruhi kinerja kompresor. Kondenser sangat dipengaruhi oleh aliran air. Aliran yang terlalu tinggi dapat menyebabkan kecepatan air meningkat, serta mengakibatkan erosi, getaran, atau suara bising. Sementara aliran yang terlalu rendah dapat menurunkan efisiensi transfer panas dan berpotensi menurunkan performa chiller. Oleh karena itu, aliran air pada kondenser harus dijaga dalam kisaran tertentu, kecuali saat proses *start-up* [9].

2.3. Komponen Penyusun Mesin Chiller

2.3.1 Kompresor

Kompresor merupakan suatu alat mekanis yang digunakan untuk meningkatkan tekanan fluida gas dengan cara mengurangi volumenya. Dalam konteks sistem pendingin dan tata udara (HVAC), kompresor memiliki peran yang sangat vital sebagai komponen utama yang bertugas mengompresi *refrigerant*, memungkinkan terjadinya proses perpindahan panas dari satu

tempat ke tempat lain[13]. Kompresor diperuntukan dalam penghisapan fluida(*refrigerant*) dan mengkompresikan yang mengakibatkan tekanan uap *refrigerant* akan naik hingga tekanan yang diperlukan dalam proses pengembunan pada kondensor[14]. Kompresor memiliki beberapa jenis dan model hal tersebut dipengaruhi dengan *volume* dan tekanannya yang dibutuhkan. Kompresor juga dibagi menjadi dua yaitu, Kompresor positif yang mana gas yang diserap masuk kedalam silinder akan dikompresikan dan kompresor *nonpositive* yang mana gas yang dihisap masuk kedalam akan dipercepat dalam alirannya oleh *impeller* yang setelahnya akan diubah menjadi energi kinetik untuk menaikkan sebuah tekanan[15].



Gambar2.4 Kompresor

Sumber: [16]

Pada Tugas akhir ini menggunakan kompresor dengan tipe Secop SC15CL yang dapat ditunjukkan pada **Gambar2.4**. Pada tipe Secop SC15CL merupakan salah satu seri kompresor hermetik piston yang dirancang untuk aplikasi sistem pendingin dengan kapasitas sedang. Kompresor ini merupakan produk dari Secop GmbH. Kompresor ini banyak digunakan dalam unit *Mini Air Chiller*, *cold storage*, dan mesin pendingin industri ringan. Kompresor hermetic berfungsi untuk mengompresi *refrigerant* dari bentuk gas bertekanan rendah (setelah evaporasi) menjadi gas bertekanan tinggi yang selanjutnya didinginkan pada kondenser. Pada tipe hermetik ini, motor listrik dan mekanisme kompresor berada dalam satu cangkang tertutup rapat (hermetik),

sehingga lebih tahan terhadap kontaminasi lingkungan dan kebocoran *refrigerant*.

Prinsip kerja kompresor SC15CL serupa dengan kompresor piston pada umumnya, yaitu berdasarkan mekanisme bolak-balik (*reciprocating*) dari piston di dalam silinder. Piston digerakkan oleh motor listrik yang berada di dalam *casing* kompresor. Pada langkah hisap, piston bergerak turun sehingga tekanan dalam silinder menjadi lebih rendah dari tekanan di evaporator, dan *refrigerant* uap masuk ke dalam silinder melalui katup hisap. Pada langkah tekan, piston bergerak naik dan memampatkan *refrigerant* ke tekanan tinggi sebelum didorong keluar melalui katup buang menuju kondensor[16]. Adapun spesifikasi kompresor Secop SC15CL yang dapat dilihat pada **Tabel 2.2**.

Tabel 2. 2 Spesifikasi Kompresor Secop SC15CL[16].

Parameter	Nilai / Keterangan	
Tipe Kompresor	Hermetic compressor	reciprocating
Model	SC15CL	
Kapasitas Daya	1/2 PK (sekitar 0,5 HP)	
Tegangan Operasi	220-240 V AC	
Frekuensi	50 Hz / 60 Hz	
<i>Refrigerant</i> yang Didukung	R134a, R404A, R600a	
Daya Input	Sekitar 400-450 W	
Arus Start	Sekitar 5-7 A	
Arus Operasi	Sekitar 2-3 A	
Tekanan operasional	20-22 bar	

2.3.2 Kondensor

Kondensor merupakan tempat pertukaran kalor dari wujud gas *refrigerant* pada tekanan dan suhu yang tinggi menjadi wujud cairan[17]. Kondensor sering digunakan dalam sistem *chiller*, pada proses perubahannya maka kalor ataupun panas didalam gas *refrigerant* yang bertekanan tinggi akan dikeluarkan dari sistem tersebut. Fungsi kondensor melepas panas atau kalor yang diterima *refrigerant* pada evaporator dan kompresor selama mekanisme kompresi[14]. Kondensor yang digunakan pada tugas akhir ini ditunjukkan pada **Gambar 2.5**.



Gambar2. 5 Kondensor

Sumber: Dokumentasi Penulis

Kondensor ditempatkan pada posisi antara kompresor dan pengatur pendingin (pipa kapiler), posisi tersebut berhubungan dengan udara luar agar gas yang terdapat pada kondensor dapat didinginkan dengan suhu ruangan. Gas yang bersumber dari kompresor akan mengalami suhu dan tekanan yang tinggi, kemudian mengalir pada pipa kondensor gas akan turun suhu yang menyebabkan suhu kondensasi dan mengalami pengembunan. Wujud gas yang berubah menjadi cair bersamaan dengan suhu rendah sedangkan pada tekanan akan tetap tinggi[18].

Kondensor memiliki beberapa tipe menurut sistem pendinginannya, yaitu :

a. Tipe kondensor dengan proses pendinginan air (*water cooled*)

Tipe ini terbagi lagi ke beberapa tipe seperti *shell and tube*, *shell and coil* dan *double tube*. Pada tipe *shell and tube* (tabung dan pipa) digunakan pada air yang mengalir dan melewati bagian dalam pipa *refrigerant* yang kemudian dikondensasikan pada tabungnya. Kemudian pada tipe *shell and coil* (tabung dan koil) ada beberapa *spiral bare tube* yang tertutup dengan *shell* berlogam, air akan di sirkulasikan melewati *coil* dan terjadi kondensasi, *refrigerant* masuk di *shell* dan mengelilingi *coils*. Uap *refrigerant* memiliki suhu yang panas dan akan melalui atas *coils*. Sedangkan pada tipe *double tube* akan ada dua *tube* yang mana *tube* pertama akan ada didalam *tube* satunya. Air yang mengalir akan melewati pipa dalam dan *refrigerant* mengalir berlawanan dengan arah pada tabung antara ruang dalam dan luar *tube* tersebut.

b. Tipe kondensor dengan pendinginan menggunakan udara (*air cooled*)

Tipe ini memiliki beberapa faktor penting yang mendukung kapasitas kondensor yaitu; luas permukaan yang akan didinginkan, jumlah udara yang digunakan untuk pendinginannya, dan perbedaan suhu antara bahan pendinginnya dengan suhu ruang. Kondensor pendinginan udara, suhu panas akan dikurangi dengan udara yang dikonveksi secara natural atau paksa. Kondensor berbahan baku dari baja/tembaga/aluminium. *Tube* akan berbentuk seperti rusuk-rusuk agar meningkatkan perpindahan panas, biasanya kondensor tipe ini digunakan untuk kapasitas mesin/alat yang kecil.

c. Tipe kondensor pendinginan pengabungan antara air dan udara (*evaporative*)

Pada tipe ini merupakan gabungan antara kondensor dengan menara pendinginan yang dirangkai jadi satu rangka atau kondensor yang memanfaatkan air dan udara sebagai pendinginannya[17]. Spesifikasi *fan* kondensor dapat dilihat pada **Tabel 2.3**.

Tabel 2. 3 Spesifikasi *Fan* M4Q045-CA03-51[19]

Parameter	Nilai / Keterangan
Model	M4Q045-CA03-51
Pabrikan	ebm-papst
Jenis Motor	Shaded Pole AC Motor
Tegangan Input	230 V AC, 50 Hz
Daya Listrik	± 36W
Kecepatan Rotasi	± 1500 RPM
Torsi terukur	16-18.5Ncm
Aplikasi Umum	Fan axial untuk kondensor AC, cold room, chiller, evaporator, showcase cooler

2.3.3 Evaporator

Evaporator merupakan tempat di mana cair bertransformasi menjadi gas dengan cara menyerap panas dari air yang mengalir melalui evaporator. Setelah panas dari air diambil, air tersebut akan dialirkan ke AHU[9]. Evaporator pada sistem pendinginan sebagai alat yang mentransfer panas, fluida bekerja menyerap panas melewati perpindahan panas. Proses tersebut menyebabkan lingkungan suhunya menjadi dingin. Pada mesin pendingin evaporator berfungsi menjadi tempat perpindahan panas dari lingkungan ke fluida kerja[7].

Secara termodinamika, evaporator bekerja pada tekanan rendah dan suhu rendah sehingga memungkinkan menyerap kalor dari medium. Evaporator sangat menentukan performa pendingin secara keseluruhan. Keberhasilan dalam menurunkan suhu fluida yang dikondisikan akan sangat tergantung pada efisiensi perpindahan panas dalam komponen ini. Oleh karena itu, pemilihan jenis, desain, dan material evaporator sangat penting dalam perancangan pendingin[20].

Perpindahan panas pada evaporator melibatkan konduksi, konveksi, dan perubahan fase. Permukaan evaporator harus didesain agar memiliki luas permukaan kontak yang optimal dengan medium pendingin. Dalam beberapa sistem, seperti *cold storage* atau *eco-reefer container*, evaporator ditempatkan secara langsung dalam ruang dingin agar proses transfer panas berlangsung secara langsung[21]. Evaporator yang digunakan dalam sistem mesin chiller yaitu *immersed helic coil* yang dapat ditunjukkan pada **Gambar 2.6**. Dengan spesifikasi yang dapat dilihat pada **Tabel 2.4**.



Gambar2. 6 Evaporator

Sumber: [14]

Tabel 2. 4 Spesifikasi Evaporator Coil

Parameter	Nilai / Keterangan
Jenis Evaporator	Helical
coil Tube and Shell	
Bahan Pipa	Aluminium atau tembaga (copper)
Kapasitas Pendinginan	$\pm$ 100–180 Watt tergantung pada refrigerant dan flowrate
Aplikasi Umum	- Box freezer kecil - Showcase - Wine chiller - Medical mini fridge
Refrigerant Kompatibel	R600a, R134a, R290, R1234yf

2.3.4 Pipa Kapiler

Pipa kapiler adalah yang terkecil jika dibandingkan dengan jenis pipa lainnya dan digunakan untuk mengalirkan *refrigerant* yang memiliki bukaan tetap dalam sistem pendinginan. Ukuran diameter pipa kapiler bervariasi antara 0,8 mm hingga 2 mm dengan panjang sekitar 1 m. Fungsinya sebagai alat ekspansi pada **Gambar 2.7** digunakan untuk menurunkan tekanan dan mengubah fase dari gas ke fase cair, sehingga bisa mengatur aliran *refrigerant* yang berasal dari kondensor. Proses penurunan tekanan di dalam pipa kapiler dipicu oleh dua faktor. Pertama, *refrigerant* perlu melewati tahanan gesek yang ditimbulkan oleh permukaan pipa, yang menyebabkan penurunan tekanan. Kedua, massa aliran dan ukuran pipa (termasuk luas) tetap konstan, sehingga kecepatan *refrigerant* akan bertambah. Kenaikan kecepatan atau percepatan *refrigerant* akan menyebabkan penurunan tekanan. Pipa kapiler umumnya ditempatkan dengan cara dililit melingkar untuk mengoptimalkan ruang[12].



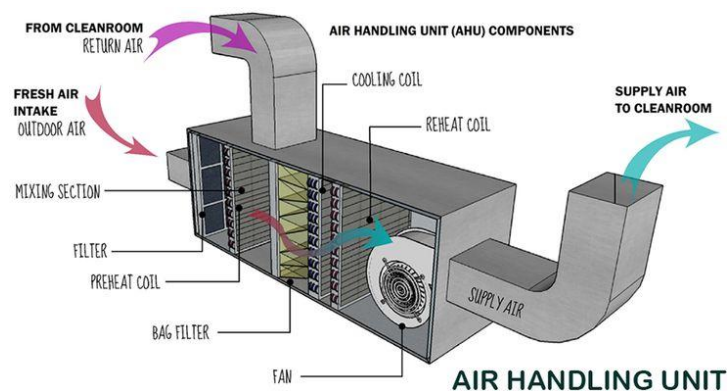
Gambar2. 7 Pipa kapiler

Sumber: [22]

Pipa kapiler biasanya dipakai untuk jenis sistem refrigerasi berkapasitas kecil hingga kapasitas sistem sebesar 10kW. Terlalu pendek pipa kapiler dapat berakibat temperatur evaporasi akan menjadi saat memasuki evaporator, apabila pipa kapiler terlalu Panjang dapat berakibat temperatur evaporasi akan menjadi terlalu rendah[22].

2.4. Air Handling Unit (AHU)

Air Handling Unit (AHU) merupakan bagian penting dalam sistem AC sentral sebagai alat penghantar udara yang telah dikondisikan dari sumber dingin ataupun panas ke ruang yang akan dikondisikan. AHU merupakan komponen pertukar kalor yang dimana air dingin hasil pendinginan oleh evaporator disirkulasikan ke koil yang sudah tersedia pada AHU, kemudian udara dinginnya di sirkulasikan oleh *blower*. Dengan kata lain, AHU adalah pusat pengolahan udara yang menentukan kualitas dan kenyamanan termal suatu ruang[23].



Gambar2. 8 Air Handling Unit (AHU)

Sumber: [2]

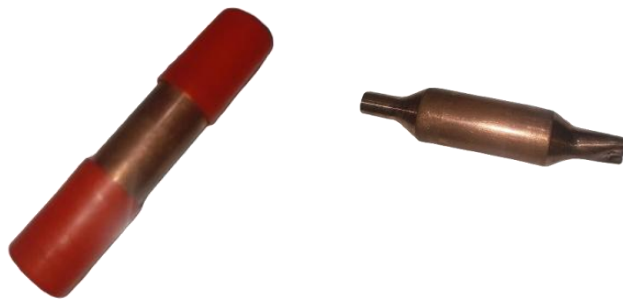
Komponen utama dalam AHU yang ditunjukkan pada **Gambar 2.8** antara lain filter udara, *cooling coil*, *heating coil*, *fan*, *damper*, dan dalam beberapa kasus dilengkapi dengan *humidifier* dan *heat recovery system*. Dalam operasionalnya, AHU menerima udara segar dari luar (*fresh air*), mencampurnya dengan udara resirkulasi dari ruangan, lalu mengkondisikan udara tersebut sebelum disalurkan ke ruang target[23]. Beberapa komponen inti dalam sistem AHU meliputi:

- Fan (blower)*: Mendorong udara ke seluruh sistem AHU dan memastikan aliran pada udara akan cukup dalam sirkulasi agar efisien;
- Filter* udara: Menyaring partikel debu, kotoran, hingga mikroorganisme. Membantu juga dalam peningkatan kualitas pada udara dalam ruangan dan melindungi sistem *Chiller* rusak akibat partikel;
- Cooling coil / Heating coil*: Mengatur suhu udara melalui proses pertukaran panas menggunakan *refrigerant* atau air dingin/panas;

- d) *Heater*: Sebagai pemanas didalam AHU yang memiliki fungsi dalam memanaskan udara[2].

2.5. *Dryer Filter*

Dryer filter atau *filter* pengering merupakan perangkat penting dalam sistem pendingin dan sistem udara bertekanan. Komponen ini berfungsi menyaring kotoran padat, menyerap kelembaban dari aliran fluida kerja, dan melindungi komponen lain seperti kompresor dan katup ekspansi dari kerusakan. Kelembaban dan juga zat asing merupakan kontaminan yang sering terjadi pada mesin pendingin seperti *chiller*, *dryer filter* seperti **Gambar 2.9** tidak dapat mengeringkan secara maksimal akan membuat reaksi pada pelumas, zat pendingin dan Panjang dari *filter* tersebut akan berpengaruh pada tekanan *refrigerant*[24].



Gambar2. 9 Dryer Filter

Sumber: Dokumentasi Penulis

Ukuran dan dimensi *filter-dryer* memengaruhi kinerja sistem, terutama terhadap nilai *Coefficient of Performance* (COP) dan konsumsi daya listrik. Studi eksperimen menunjukkan *filter-dryer* yang lebih kecil (misalnya 7 cm) dengan pipa kapiler yang sesuai menghasilkan COP lebih tinggi dibandingkan ukuran yang lebih besar[25]. *Filter-dryer* yang tidak berfungsi optimal dapat menyebabkan peningkatan tekanan dan superheat, penyumbatan pada katup ekspansi, serta beban kerja kompresor yang lebih berat. Hal ini berdampak negatif pada efisiensi sistem pendingin dan kenyamanan pengguna[26].

2.6. Relay

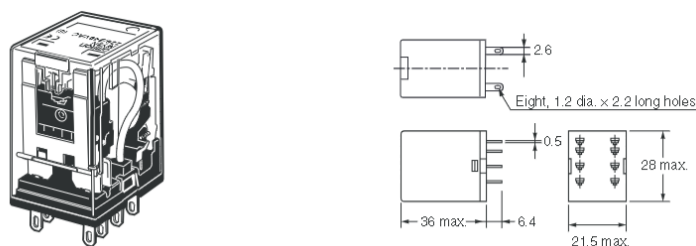
Relay adalah saklar yang dikontrol menggunakan listrik dan komponen *Electromechanical* yang memiliki 2 bagian utama yaitu kumparan magnet (*coil*)

dan mekanik (saklar/switch). Relay berfungsi berdasarkan dengan prinsip elektromagnetik dalam menjalankan kontakannya sehingga hanya dengan arus listrik yang kecil dapat menghantarkan daya listrik bertegangan tinggi[27].

Prinsip dasar relay klasik melibatkan kumparan elektromagnetik, ketika dialiri arus listrik, akan menghasilkan medan magnet untuk menarik tuas (*armature*) yang menggerakkan kontak saklar. Kontak ini bisa berupa tipe *Normally Open* (NO) yang baru terhubung ketika kumparan aktif atau *Normally Closed* (NC) yang terputus ketika kumparan aktif. Perpindahan kontak memungkinkan relay mengendalikan sirkuit daya tinggi tanpa langsung menghubungkan rangkaian kontrol dengan beban[28].

2.6.1. Relay MY2N

Relay MY2N adalah jenis elektromekanis relay yang memiliki dua buah kontak (*Double Pole Double Throw / DPDT*) dan sering digunakan dalam sistem otomasi untuk mengendalikan sirkuit listrik berdasarkan sinyal kendali bertegangan rendah. Komponen ini umumnya digunakan dalam kontrol panel, rangkaian pengendali motor, serta sistem interkoneksi PLC dan HMI. Relay seperti **Gambar 2.10** bekerja dengan memanfaatkan medan magnetik yang dihasilkan oleh kumparan ketika dialiri arus listrik untuk menarik saklar internal (kontak) dan menghubungkan atau memutuskan aliran listrik pada rangkaian keluarannya.



Gambar2. 10 Relay MY2N

Sumber:[29]

Relay MY2N bekerja berdasarkan prinsip elektromagnetik. Ketika arus listrik mengalir ke koil, medan magnet yang dihasilkan menarik armatur

sehingga mengubah posisi kontak saklar. Hal ini memungkinkan relay untuk mengendalikan sirkuit dengan arus dan tegangan yang lebih besar menggunakan sinyal kontrol bertegangan rendah. Relay ini dapat mengalihkan dua sirkuit secara bersamaan (DPDT), sehingga cocok untuk aplikasi yang memerlukan pengendalian dua jalur listrik secara bersamaan[29]. Untuk spesifikasi Omron MY2N dapat dilihat pada **Tabel 2. 5**.

Tabel 2. 5 Spesifikasi Relay MY2N[29]

Parameter		Nilai / Keterangan
Tipe Relay		<i>Miniature Power Relay, DPDT (Double Pole Double Throw)</i>
Model		MY2N
Konfigurasi Kontak		<i>2 Pole (DPDT)</i>
Tegangan Coil		Variasi: 12 VDC, 24 VDC, 110 VAC, 220-240 VAC
Arus Kontak Maksimum		10 A
Tegangan Maksimum	Kontak	250 VAC / 30 VDC
Daya Coil		Sekitar 900 mW
Waktu Operasi (<i>Operate Time</i>)		Sekitar 10-20 ms
Material Kontak		<i>Silver alloy</i>

2.7. Sensor Suhu RTD PT100

RTD merupakan sensor suhu yang dalam penggunaannya memanfaatkan perubahan pada resistansi elektrik yang terdapat pada material tertentu dengan perubahan suhu[30]. Sensor suhu RTD PT 100 adalah sensor yang dapat *monitoring* suhu dalam suatu keadaan mesin/peralatan yang mana suhu nya berubah-ubah/tidak stabil[31]. RTD adalah singkatan dari *Resistance Thermal Detector* adalah sensor

suhu yang dapat digunakan dalam pengukuran suhu dalam kondisi lingkungan yang kritis. RTD dapat menangkap perubahan suhu dalam presisi yang tinggi dan secara akurat dalam *real-time*. Disebut RTD PT100 karena sensor ini memiliki impedansi 100 Ω pada suhu 0°C dan sekitar 0,385 Ω perubahan resistansi tiap 1°C perubahan suhu[32]. Elemen yang digunakan dalam RTD adalah dari plat platinum (PT) atau lainnya seperti, tembaga (Cu), dan Nikel (Ni). RTD adalah platinum (PT) karena memiliki resistivitas yang stabil dan linear terhadap suhu dalam rentang tertentu. RTD menjadi salah satu sensor yang sering digunakan dalam sistem otomatisasi maupun proses kontrol, sensor suhu ini memanfaatkan resistansi elektrik yang berubah pada material dengan bersamaan berubahnya suhu[30]. RTD PT100 digunakan pada kisaran suhu -200 Celsius sampai dengan 650 Celcius.



Gambar2. 11 Sensor Suhu RTD PT100

Sumber:[32]

Pada sistem kerja dari RTD dilandaskan pada perubahan dari resistivitas dari material yang ada pada elemen dari RTD ketika adanya perubahan suhu. Panas atau dingin yang dihasilkan akan berbanding lurus dengan tahanan dari jenis elemen yang ada pada sensor RTD tersebut. kemudian tahanan akan diterima oleh transduser kemudian transduser mengubahnya menjadi sinyal fisik yang dikirimkan ke TRC (*Temperature Recorder Control*). RTD PT100 yang dapat dilihat pada **Gambar 2.11** mengukur suhu dengan cara mengukur perubahan resistansi platina yang sangat presisi. Ketika suhu naik, resistansi platina juga naik secara linier dalam rentang tertentu. Perubahan resistansi ini kemudian dikonversi menjadi nilai suhu menggunakan kurva kalibrasi standar. Sensor ini memiliki karakteristik

linieritas yang baik dan tingkat akurasi tinggi, sehingga banyak digunakan dalam aplikasi industri dan penelitian [33]. Sedangkan untuk spesifikasi RTD PT100 disajikan pada **Tabel 2.6**.

Tabel 2. 6 Spesifikasi Sensor Suhu RTD PT100[34].

Spesifikasi	Keterangan
Tipe Sensor	RTD PT100 (Platinum Resistance Thermometer)
Resistansi pada 0°C	100 Ω
Rentang Suhu Operasi	-50°C hingga 400°C
Akurasi (Kelas Toleransi)	$\pm 0.3^\circ\text{C}$
Konstruksi Kawat	3-wire
Bahan Elemen	Platinum (Pt)
Bahan Selubung	Stainless Steel 316/316L
Output	Resistansi (Ω), atau 4-20 mA (dengan transmitter)

2.8. Transmitter

Transmitter adalah alat yang berfungsi untuk mengubah pembacaan sensor menjadi sinyal standar yang mampu dibaca oleh sistem kontrol. Electric transmitter mengirimkan signal dari pengukuran/sensor ke suatu sistem kontrol. Transmitter RTD PT100 seperti pada **Gambar 2.12** bekerja dengan membaca perubahan resistansi pada sensor PT100 akibat variasi suhu dan mengubahnya menjadi sinyal listrik standar (umumnya 4–20 mA) untuk sistem *monitoring* atau otomatisasi industri.



Gambar2. 12 Transmitter RTD PT100

Sumber:[34]

Prinsip pada transmitter mengedepankan akurasi, kestabilan, serta kemampuan kerja di lingkungan berat, menjadikan PT100 dengan transmitter standar industri sebagai solusi utama dalam pengukuran suhu presisi[35]. Disajikan spesifikasi transmitter RTD PT 100 yang dapat dilihat pada **Tabel 2.7**.

Tabel 2. 7 Spesifikasi Transmitter RTD PT100[34]

Parameter	Nilai / Keterangan
Input Sensor	RTD PT100 (100 Ω @ 0°C, IEC 751, Class B)
Rentang Pengukuran	-50°C sampai +400°C (tergantung tipe transmitter, dapat diprogram)
Tipe Output	4–20 mA (2-wire)
Akurasi Output	$\pm 0,1\%$ dari skala penuh
Supply Tegangan	12–35VDC
Kapasitas Beban	Maksimal 500 Ω
Material Housing	Alloy/Aluminium, IP67, tahan korosi, tahan cuaca
Temperatur Operasi	-40°C sampai +120°C (modul head); sampai 170°C (bagian sensor/probe)

2.9. Wisner Wpt-71g Pressure Sensor

Sensor tekanan Wisner WPT-71G adalah *pressure transmitter* yang berfungsi untuk mengukur tekanan fluida berupa gas atau cairan non-korosif dengan *output* sinyal listrik standar 4-20 mA. Sensor ini menggunakan teknologi *piezoresistif* dengan elemen sensor tekanan yang sensitif terhadap perubahan tekanan, kemudian mengubahnya menjadi sinyal listrik yang dapat diproses oleh sistem kontrol atau

monitoring. WPT-71G banyak digunakan dalam aplikasi industri, seperti sistem kompresor udara, pengolahan air, sistem pendingin, dan bidang otomasi mekanik[36].



Gambar2. 13 Sensor tekanan Wisner WPT-71G

Sumber:[37]

Wisner WPT-71G seperti **Gambar 2.15** menggunakan sensor tekanan tipe piezoresistif yang bekerja berdasarkan perubahan resistansi elemen sensor akibat tekanan yang diterima. Tekanan proses diteruskan ke membran pengukur yang akan mengalami defleksi sesuai besarnya tekanan. Perubahan defleksi ini menyebabkan perubahan resistansi pada elemen *piezoresistif*, yang kemudian dikonversi menjadi sinyal listrik proporsional oleh rangkaian elektronik internal. Sensor ini biasanya menggunakan teknologi dua kabel (*two-wire*) yang menggabungkan suplai daya dan sinyal output dalam satu jalur kabel[36].

Pada wisner WPT-71G sudah memuat terkait pressure transmitter yang merupakan Alat instrumentasi yang memiliki peran penting dalam mengubah informasi dari sensor jadi sinyal yang bisa dibaca oleh kontroler, recorder atau indikator yang lain. Transmitter ini bekerja dengan cara mengubah dari suatu perubahan sensor menjadi listrik melalui sistem pneumatic dengan pengukuran 3-15 psi dan sistem transmisi elektronik dengan rentang 4-20mA atau 1-5VDC. Pressure transmitter adalah alat yang diperuntukkan dalam dunia industri dalam mengukur tekanan di fluida, baik gas atau cairan. Pressure transmitter juga memiliki fungsi dalam pendeteksian tekanan statis dari fluida, yang kemudian akan mengkonversikannya menjadi sinyal listrik dalam rentang 4-20mA atau 1-5VDC yang kemudian ditransmisikan ke kontroler atau laptop untuk pengolahan data yang didapatkan pressure transmitter. Transmitter ini juga digunakan dalam pengukuran tekanan pada tangka, penggunaan sensor tekanan udara pada kompresor dengan

spesifikasi output dan kapasitas yang disesuaikan dengan kebutuhan, dari rentang output dan ambang batas tekanan kerja yang sudah ditentukan pada industri[38].

Pressure transmitter memiliki output analog (0-5V, 0,5-4,5V dan 4-20mA) dalam pengaplikasiannya sensor tersebut dipasang pada jalur tekanan seperti saluran udara pada kompresor, pipa fluida, dan sistem hidrolik diperuntukkan dalam pemantauan kondisi tekanan supaya tetap dalam batas aman dan sesuai dengan yang dibutuhkan. Sinyal yang dikeluarkan pressure transmitter selanjutnya dikonversikan ke dalam satuan fisik dalam tekanan seperti(Psi, Bar dan pascal) melalui proses kalibrasi dan perhitungan matematis dalam mikrokontroller dan sistem akuisisi data. Adanya sensor tersebut sistem dapat dilakukan dalam pemantauan dan pengendalian tekan yang real-time, yang dapat meningkatkan keandalan dan efisiensi dalam prosesnya[39]. Sedangkan untuk spesifikasi Wisner WPT-71G disajikan pada **Tabel 2.8** dibawah ini.

Tabel 2. 8 Spesifikasi Wisner WPT-71G[37]

Parameter	Nilai / Keterangan
Tipe Sensor	Pressure Transmitter (Pressure Sensor) tipe Gauge
Model	Wisner WPT-71G
Tipe Output	4-20 mA (2-wire atau 3-wire), 0-5 V, 1-5 V, 0-10 V (opsional sesuai konfigurasi)
Tegangan Suplai	DC 12 - 36 V
Akurasi	$\pm 0.5\%$ dari full scale
Material Body	Stainless steel
Aplikasi	Pengukuran tekanan gas dan cairan dalam industri, kontrol proses, monitoring tekanan dalam sistem

2.10. Water Flow Sensor YF-S201

Sensor water flow adalah perangkat sensor dipakai dalam pengukuran debit air, elemen yang sering digunakan pada *flow meter* adalah *water flow*. Tipe sensor mempunyai rotor dan *transducer hall effect* pada dalamnya yang digunakan pendeteksian putaran rotor apabila aliran melewati dan menghasilkan pulsa digital yang kebanyakan akan sebanding pada banyaknya air yang melewati[40]. Sensor YF-S201 yang terlihat pada **Gambar 2.14** adalah alat pengukur aliran air berbasis prinsip *Hall Effect* yang digunakan untuk mendeteksi jumlah air yang mengalir melalui sebuah pipa. Sensor ini memiliki *impeller* (kincir kecil) yang akan berputar seiring dengan laju aliran air. Setiap kali magnet dalam *impeller* melewati sensor *Hall Effect*, akan dihasilkan sinyal pulsa yang dapat dikonversi menjadi satuan debit air (liter/menit).



Gambar2. 14 Water Flow Sensor YF-S201

Sumber: [41]

Sistem kerjanya sama dengan *water flow sensor* lainnya, hanya saja pada *water flow sensor* ini bahan dasar menggunakan metal atau kuningan sehingga lebih awet dan tahan lama. Sistem kerja *water flow sensor* atau sensor flow air ini akan mengeluarkan *output* berupa signal pulsa, dalam *water flow sensor* terdapat *roater* yaitu semacam baling baling untuk pengukuran aliran air yang lewat. Peristiwa yang terjadi pada *hall* efek yaitu dengan adanya medan magnet terhadap partikel bermuatan yang bergerak, sehingga ketika ada arus listrik yang mengalir pada divais maka pergerakan pembawa muatan akan akan berbelok ke salah satu arah yang akan menghasilkan medan listrik. Medan listrik yang semakin besar akan

mengakibatkan gaya Lorentz yang bekerja pada partikel menjadi nol. Perbedaan antara dua sisi divais tersebut dinamakan potensial *hall*. Potensial *Hall* sebanding dengan medan magnet dan arus listrik yang melewati *device*[24]. Disajikan juga untuk spesifikasi yang dapat dilihat pada **Tabel 2.9**.

Tabel 2. 9 Spesifikasi Water Flow YF- S201[42]

Parameter	Nilai / Keterangan
Model	YF-S201
Tegangan Operasi	4.5 V – 18 V DC (normal 5 V – 18 V)
Arus Maksimum	15 mA @ 5 V
Output	5 V TTL pulse signal
Rentang Aliran Air	1 – 30 Liter per menit
Akurasi	±10%
Pulses per Liter	450 pulses/liter
Tekanan Maksimum Air	2.0 MPa (20 bar)
Suhu Operasi	-25°C sampai +80°C
Kelembapan Operasi	35% – 80% RH
Aplikasi Umum	Pengukuran aliran air dalam sistem irigasi, mesin kopi, pengelolaan air, industri makanan, dll.

2.11. Power Supply (catu daya)

Power Supply sebutan yang sering digunakan untuk catu daya yang merupakan perangkat elektronika untuk pemasok sumber daya untuk satu perangkat ataupun lebih. Umumnya catu daya suatu sistem dalam penyerah *filter* yang mengubah AC menjadi DC[43]. *Power Supply* menjadi perangkat yang sangat penting dalam suatu sistem yang dikarenakan menjadi sumber tegangan dalam mengaktifkan rangkaian agar terjamin tegangan yang keluar stabil. *Power supply* terdiri atas trafo, *voltage* dan penyerah, yang ditetapkan untuk perangkat yang mengubah dalam satu bentuk penyerah dan menghaluskan tegangan energi listrik. Komponen utama *power supply* terdiri dari; diode, kondensator dan transformator, selain menggunakan

komponen tersebut ada juga sumber *power supply* yakni sumber AC dan DC. Sumber AC merupakan tegangan bolak-balik, sedangkan sumber DC merupakan tegangan yang searah[44]. *Power supply* yang dapat dilihat pada **Gambar 2.15** menggunakan inputan tegangan AC 110V/220V pada tegangan *output* DC sebesar 24V, daya maksimal yang didapatkan 50 watt[45]. *Power supply* ada dua jenis yakni; memakai trafo linier dan memakai *switch mode power supply* atau sering disebut SMPS.



Gambar2. 15 Power Supply

Sumber:[2]

Saat ini peralatan elektronik membutuhkan peningkatan dalam pengefisiensi dengan memaksimalkan penggunaan konsumsi energi listrik terhadap teknologi yang membuat penggunaan *power supply* SMPS banyak. SMPS kepanjangan dari *Switch-Mode Power Supply* merupakan *power supply* jenis yang menyerahkan langsung (*rectify*) dan filter dari tegangan *input* AC dalam mendapatkan *output* berupa tagangan DC, yang kemudian tegangan DC akan *di switch ON* dan *OFF* dengan frekuensi yang tinggi dengan sirkuit frekuensi tinggi sehingga menghasilkan arus AC yang mampu melalui transformator frekuensi yang tinggi. SMPS adalah catu elektronik yang meliputi regulasi *switching* dengan menyesuaikan kebutuhan keluaran dari tegangan tersebut. SMPS merupakan daya pengubah dalam meneruskan daya yang didapatkan dari sumber agar beban mendapatkan daya yang ideal, fungsi dalam pengubahan tersebut agar penyediaan pada tegangan keluaran dalam level yang berbeda akan dibandingkan dengan

tegangan dari masukan[46]. Untuk spesifikasi dari *power supply* ditunjukkan pada **Tabel 2.10.**

Tabel 2. 10 Spesifikasi Power Supply[2]

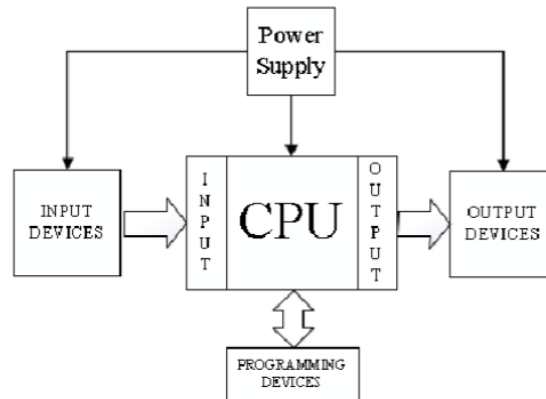
Parameter	Nilai / Keterangan
Tegangan Input	100-120 VAC
Tegangan	24V
Daya Output	120 Watt
Arus	5A

2.12. Programmable Logic Controller (PLC)

Programmable Logic Controller (PLC) merupakan komputer elektronik digital yang dirancang untuk melakukan kendali otomatis terhadap proses industri. PLC mudah digunakan yang memiliki fungsi kendali untuk berbagai tingkat kesulitan beraneka ragam, PLC bekerja dengan cara membaca *input* digital atau analog, kemudian memprosesnya berdasarkan logika yang diprogram, dan mengeluarkan sinyal *output* untuk mengendalikan mesin atau perangkat lainnya. PLC telah menjadi tulang punggung sistem otomasi industri karena kemampuannya dalam menangani proses yang kompleks, *real-time*, serta fleksibel dalam pemrograman[47].

PLC ini dibuat untuk menggantikan rangkaian relay sekuensial dalam sistem kendali. Selain fitur pemrograman, perangkat ini juga dapat dikelola dan dioperasikan oleh individu yang tidak memiliki latar belakang khusus dalam pengoperasian komputer. PLC dilengkapi dengan bahasa pemrograman yang gampang dimengerti dan dapat beroperasi setelah program yang telah disusun dengan menggunakan perangkat lunak yang sesuai dengan tipe PLC tersebut dimasukkan. Perangkat ini berfungsi berdasarkan *input* yang diterima dan bergantung pada kondisi dan waktu tertentu yang selanjutnya akan mengaktifkan atau menonaktifkan *output*. Kondisi yang dinyatakan dengan angka 1 menunjukkan bahwa keadaan yang diinginkan telah tercapai, sementara kondisi 0 menunjukkan bahwa keadaan tersebut tidak tercapai. PLC juga memiliki aplikasi dalam

pengendalian sistem yang memiliki banyak *output*[48]. PLC terdiri dari beberapa elemen utama, yang meliputi:



Gambar2. 16 Komponen PLC

Sumber:[6]

1. *Input*: Bertugas untuk menerima sinyal yang masuk. Sumber sinyal ini bisa berasal dari sensor, tombol tekan, serta perangkat lainnya;
2. *Central Processing Unit (CPU)*: CPU berfungsi sebagai pengendali utama PLC. Tugas CPU adalah untuk mengeksekusi instruksi sesuai dengan program yang telah ditetapkan;
3. *Output*: Bertindak sebagai pengirim sinyal keluar yang akan diteruskan ke beban. Beban ini dapat berupa motor, katup, lampu, dan lain-lain;
4. *Power Supply*: Catu daya atau *Power Supply* mempunyai peranan untuk menyediakan daya kepada perangkat yang memerlukan voltase tertentu. Catu daya mengubah tegangan dari sumber listrik menjadi daya yang dibutuhkan;
5. *Programming Device*: alat eksternal di mana program PLC akan dirancang, dan program tersebut kemudian diunggah ke dalam memori PLC. Contoh perangkat ini adalah komputer[6].

2.12.1. PLC Schneider Modicon TM241CE24T

PLC yang digunakan pada tugas akhir ini menggunakan PLC Schneider Modicon TM241CE24T merupakan salah satu model dari seri PLC Schneider Electric yang dirancang pada aplikasi otomasi mesin dan *industri* dengan kebutuhan kontrol yang kompleks dengan komunikasi *multi-protocol*. PLC dengan seri Modicon M241 untuk kontrol mesin yang memiliki performa yang

tinggi. Model TM241CE24T dirancang secara khusus untuk mendukung fleksibilitas dalam aplikasi industri yang membutuhkan respon waktu nyata (*real-time*) dan pengendalian digital berkecepatan tinggi. PLC ini menggunakan *output* tipe transistor (*sink*) yang memungkinkan operasi *switching digital* yang cepat dan akurat, menjadikannya ideal untuk sistem kontrol berbasis logika diskrit[49].



Gambar2. 17 PLC Schneider Modicon TM241CE24T

Sumber: [49]

Schneider TM241CE24T seperti pada **Gambar 2.17** mempunyai I/O onboard 24 titik yang mana terdiri dari 14 *input digital* dan 10 *output digital*. PLC juga dilengkapi dengan fitur komunikasi industri seperti Ethernet, port USB mini-B, dua port serial (RS485/RS232), dan port *CANopen*. Komunikasi tersebut dapat terintegrasi dengan PLC dengan berbagai perangkat lain seperti HMI, Interfer, SCADA, dan *cloud server* sistem pengindustrian seperti *Internet of Things* (IoT), TM241CE24T memiliki fitur unggulan yang mana keberadaan *web server* internal yang dapat mengakses konfigurasi dan pemantauan secara jarak jauh melalui jaringan lokal ataupun internet[50]. Untuk Tabel spesifikasi dapat di lihat pada **Tabel 2.11**.

Schneider Modicon TM241CE24T memiliki 5 jenis Bahasa pemrograman yang sesuai dengan standar IEC 61131-3 dan semua dapat digunakan didalam aplikasi EcoStruxure™ Machine Expert [24]. Bahasa tersebut digunakan secara fleksibel, bahkan dapat dijadikan satu dengan *project* untuk menyesuaikan

kebutuhan sistem yang beragam. Jenis Bahasa pemrograman yang didukung oleh Schneider Modicon TM241CE24T, seperti *ladder diagram*, *function block diagram*, *structured text*, *Sequential Function Chart*, *Instruction List*[49].

Tabel 2. 11 Spesifikasi PLC Schneider Modicon TM241CE24T[51]

Parameter	Nilai / Keterangan
Model	Modicon M241 TM241CE24T
Jenis Output	Digital Output, Transistor (Sink)
Jumlah I/O Onboard	Total: 24 I/O (14 Digital Input + 10 Digital Output Transistor)
Memori Program	128 MB Flash, 64 MB RAM
Kecepatan CPU	32-bit RISC Processor, 22 ns per instruction
Port Komunikasi	- 1x Ethernet 10/100 Mbps (Modbus TCP, Ethernet/IP) - 1x USB Mini-B (programming) - 2x Serial (RS232/RS485, Modbus RTU Master/Slave) - 1x CANopen
Modul Ekstensi	Mendukung hingga 7 modul eksternal TM3
Programming Software	EcoStruxure™ Machine Expert (dahulu SoMachine)
Bahasa Pemrograman	IEC 61131-3: LD, FBD, ST, SFC, IL
Power Supply	24V DC (rata-rata konsumsi 3.4 W tanpa modul ekstensi)

2.12.2. TM3AI8 Modul

Modul Analog Input TM3AI8 adalah modul ekspansi analog yang dikembangkan oleh Schneider Electric Modicon TM3 untuk memperluas pengendalian terhadap seri PLC M221, M241, M251, dan M262. Modul

tersebut memiliki fungsi yang akan menjadi penghubung dari sinyal analog dari sensor/aktuator ke sistem kontrol PLC, sehingga pembacaan dan pengendalian *variable* proses seperti suhu, tekanan ataupun level cairan akan terbaca secara presisi dan *real-time*. Modul dapat dilihat pada **Gambar 2.18** ini mendukung berbagai standar sinyal seperti 0-10V dan 4-20mA.



Gambar2. 18 TM3AI8 Modul

Sumber:[52]

Pengaplikasian pada tugas akhir mesin chiller ini, modul TM3AM6 menjadi komponen yang penting dalam menghubungkan sensor lapangan dengan logika pengendalian[52]. Sedangkan untuk spesifikasi modul TM3AM6 pada **Tabel 2.12**.

Tabel 2. 12 Spesifikasi TM3AI8 Module Schneider[52]

Parameter	Nilai / Keterangan
Model Number	TM3AI8
Tipe Produk	Input/Output Analog Module
Jumlah Input Analog	8 kanal (Current: 0...20 mA, 4...20 mA; Voltage: 0...10 V, -10...+10 V)
Resolusi Input	12 bit (tegangan), 11 bit + tanda (arus)

Impedansi Input	$\leq 50 \Omega$ untuk arus, $\geq 1 M\Omega$ untuk tegangan
Tegangan Operasi	24 V DC (range 20.4 – 28.8 V DC)
Output Ripple	20 mV
Kompatibilitas	Modicon M221, M241, M251, M262

2.12.3. Struktur Memori PLC Schneider TM241

Struktur memori pada PLC Schneider dirancang untuk mengatur data masukan, keluaran, dan variabel internal secara sistematis sehingga program dapat berjalan dengan efisien. Memori PLC ini umumnya dibagi menjadi beberapa area utama, yaitu *input image table* untuk menyimpan status input yang diterima dari sensor atau perangkat lapangan, *output image table* untuk menyimpan status keluaran yang akan dikirim ke aktuator, serta area memori internal seperti merker atau memory bit untuk menyimpan flag atau variabel logika sementara. Struktur memori PLC Schneider dibagi menjadi beberapa area utama:

1. Memori Input

Area ini menyimpan status masukan yang dibaca dari perangkat lapangan seperti sensor, saklar, atau transduser. PLC TM241 menggunakan format alamat %I untuk *input digital* (misalnya %I0.0) dan %IW untuk input analog (misalnya %IW0).

2. Memori Output

Area yang digunakan untuk menyimpan variabel internal atau flag logika yang tidak terhubung langsung ke perangkat fisik. PLC M241 menggunakan %M untuk bit internal (misalnya %M0) dan %MW untuk word internal (misalnya %MW10). Area ini digunakan untuk logika sementara, penyimpanan hasil perhitungan, atau pengaturan status proses.

3. Memori Internal (memori Bit dan Word)

Area yang digunakan untuk menyimpan variabel internal atau flag logika yang tidak terhubung langsung ke perangkat fisik. PLC TM241

menggunakan %M untuk bit internal (misalnya %M0) dan %MW untuk word internal (misalnya %MW10).

4. *Timer & Counter*

PLC TM241 memiliki area memori khusus untuk timer dan counter. Timer diberi awalan %T (misalnya %T1) sedangkan counter menggunakan %C (misalnya %C5). Area ini untuk operasi berbasis waktu dan pencacahan.

5. *Register Sistem (System Bits & Words)*

Area ini menyimpan variabel sistem seperti status PLC, *clock pulse*, status error, dan parameter komunikasi. Alamat dimulai dengan %S untuk bit dan %SW untuk word. Misalnya %S6 adalah system bit yang berubah logika setiap detik (1 Hz), sedangkan %SW49 menyimpan nilai suhu CPU PLC[53].

2.13. *Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA)*

Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) adalah sistem kontrol terdistribusi yang digunakan untuk memantau, mengendalikan, dan mengumpulkan data dari perangkat dan proses industri secara *real-time*[54]. SCADA memungkinkan operator untuk mengawasi sistem industri melalui *Human Machine Interface (HMI)* yang terhubung dengan *Programmable Logic Controller (PLC)* atau *Remote Terminal Unit (RTU)*. SCADA menjadi sistem yang mengumpulkan semua data yang terdapat pada lapangan yang selanjutnya dikirimkan kepada komputer yang ada dipusat dan akan diolah, diatur dan dikontrol untuk semua data tersebut. Sistem SCADA digunakan juga dalam suatu sistem *plant* yang dapat mengendalikan, pengawasan, perekaman dan juga pengambilan setiap data pada tingkatan yang kompleksitas tinggi dan dapat menangani sampai ribuan I/O pada pusat[55].

Agar dapat menjalankan fungsi tersebut, operator dibantu oleh sistem SCADA yang telah terintegrasi yang berada di dalam suatu ruang khusus yang dikenal sebagai *Control Center*. Ruang ini dilengkapi dengan perangkat komputer yang disebut *Master Station*. *Master station* mempunyai fungsi dalam pemantauan,

pengendalian dan pengukuran data secara terpadu dalam satuan waktu tertentu pada sistem yang luas. Sistem SCADA memiliki fungsi utama yang memastikan akurasi dan konversi data[56]. Sistem SCADA merupakan berbagai unit dari perangkat yang saling berkomunikasi satu dengan yang lain dalam pengontrolan, pemrosesan, pemantauan untuk mengumpulkan dari berbagai data yang didapatkan. Prinsip dasar sistem SCADA terdapat dua, yakni; Pengontrolan dan pemantauan pada perangkat yang terdapat pada lapangan dengan jaringan jarak jauh, Kemudian SCADA dapat bekerja dalam mengumpulkan data, transmisi data ke data selanjutnya dan sinyal pada kontrol yang akan dimunculkan pada antarmuka/layar yang terdapat di kantor pusat[57].

Pembagian peran pengguna pada SCADA merupakan elemen penting untuk menjaga keamanan dan efektivitas operasional sistem. SCADA dirancang untuk mengelola proses industri secara otomatis dan terpusat, sehingga dibutuhkan pengaturan akses yang jelas bagi setiap pengguna agar tidak terjadi kesalahan operasional atau pelanggaran keamanan. Sistem SCADA memiliki tiga peran utama, yaitu Manager, Engineer, dan Operator.

- A. Manager: Seorang Manager memiliki peran utama dalam melakukan pengawasan terhadap kinerja peralatan dan proses industri. Melalui visualisasi parameter yang ditampilkan pada antarmuka SCADA, Manager dapat memantau performa sistem secara menyeluruh dan meninjau data hasil akuisisi tanpa harus mengoperasikan alat secara langsung. Akses Manager bersifat *read-only*, yang berarti hanya terbatas pada pengamatan dan analisis tanpa kemampuan melakukan perubahan konfigurasi sistem. Data yang diperoleh dari sistem digunakan untuk analisis efisiensi, evaluasi performa operasional, serta pengambilan keputusan strategis dalam peningkatan produktivitas. Manager berperan dalam memastikan bahwa keseluruhan sistem berjalan sesuai target, tanpa mengganggu stabilitas teknis maupun keamanan operasional SCADA.
- B. Engineer: Peran Engineer dalam sistem SCADA sangat penting karena bertanggung jawab terhadap aspek teknis dan pemeliharaan sistem.

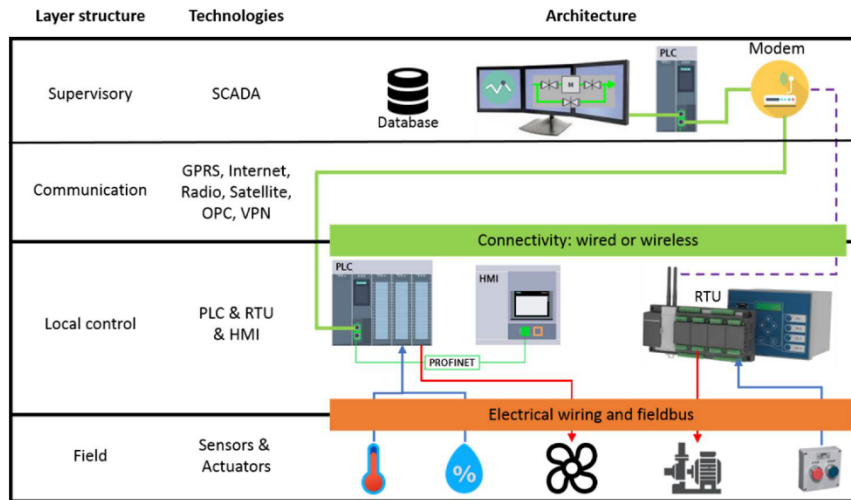
Engineer memiliki hak akses yang paling luas di antara pengguna lainnya, mencakup kemampuan untuk mengoperasikan alat, memantau parameter, serta melakukan akuisisi dan analisis data dari peralatan yang terhubung. Engineer juga dapat melakukan konfigurasi ulang sistem, pengaturan parameter kontrol, serta pembaruan perangkat lunak untuk menjaga performa dan keamanan sistem tetap optimal. Selain itu, data yang diperoleh dari proses akuisisi digunakan untuk menyempurnakan metode pengendalian sistem atau menangani masalah teknis (*troubleshooting*) apabila terjadi gangguan.

- C. Operator: Operator adalah pengguna yang bertanggung jawab langsung terhadap pengoperasian harian sistem SCADA. Peran ini mencakup kegiatan seperti menjalankan alat, memantau parameter operasional, serta menanggapi alarm atau kondisi abnormal pada sistem. Operator memiliki hak akses untuk mengendalikan peralatan dan memantau proses produksi, namun tidak diperkenankan melakukan akuisisi data teknis atau mengubah konfigurasi sistem yang bersifat kritis. Tugas utama Operator adalah menjalankan proses sesuai prosedur yang ditetapkan oleh Engineer serta memastikan sistem tetap stabil dan aman selama beroperasi[58].

Pembagian hak akses ini, setiap peran dalam sistem SCADA memiliki batas tanggung jawab dan wewenang yang jelas. Penerapan struktur ini mendukung prinsip *Role-Based Access Control* (RBAC) yang diatur dalam SNI IEC 62443-3-3, di mana setiap pengguna hanya dapat mengakses fungsi sesuai perannya. Hal ini tidak hanya meningkatkan keamanan sistem, tetapi juga memastikan akuntabilitas dan efisiensi operasional dalam lingkungan kontrol industri[59].

2.13.1. Arsitektur SCADA

Sistem SCADA modern biasanya terdiri dari enam elemen utama:



Gambar2. 19 Arsitektur SCADA

Sumber: [2]

- Human Machine Interface (HMI):** Antarmuka grafis yang menampilkan data dari sensor dan status pergerakan *control* kepada operator. Melalui HMI operator dapat melihat kondisi pemrosesan secara virtual dan memberikan perintah kontrol secara *real-time* ke perangkat yang berada di lapangan dengan SCADA.
- Master Terminal Unit (MTU):** Sebagai unit pusat (*master*) dalam arsitektur *master slave* SCADA, MTU yang mengumpulkan data dari RTU dan perangkat di lapangan, melakukan *monitoring* dan kontrol dari seluruh proses secara terpusat dan menyajikan data dan status *plant* ke operator melalui HMI[56]. Di lain sisi MTU juga memiliki tugas mengumpulkan dari RTU dari tempat yang jauh dan mengirimkan sinyal kontrol ke *plant* yang jaraknya berjauhan[60].
- Remote Terminal Unit (RTU):** Perangkat yang menghubungkan sensor dan *actuator* di lapangan dengan pusat kendali pada SCADA. RTU dalam sistem SCADA berperan sebagai *slave*, RTU juga mengumpulkan data dari berbagai sensor seperti tekanan, suhu, dan aliran yang kemudian mengirimkan data pada pusat kendali, RTU dapat menerima perintah dari kontroler yang ada di pusat kendali dalam pengopersian aktuator. RTU melakukan pengolahan data setelah itu

akan dikirimkan ke MTU, RTU berkomunikasi dengan MTU agar mendapatkan data yang diperlukan[61].

- d. *Programmable Logic Controller* (PLC): PLC digunakan sebagai pelengkap dari RTU, terutama pada *control proses* yang kompleks, PLC menjalankan logika kontrol berdasarkan program yang telah dibuat, mengolah data yang di dapatkan dari sensor. Data dari PLC akan dikirimkan ke sistem SCADA agar dapat dipantau dan dikendalikan.
- e. Jaringan Komunikasi (LAN, WAN, *Wireless*, Modbus, *Ethernet/IP*): Menghubungkan seluruh elemen SCADA. Perangkat yang terhubung ke RTU atau PLC berkomunikasi dengan pusat kendali SCADA dengan melalui jaringan komunikasi melalui kabel (Ethernet, serial) maupun nirkabel (radio, satelit). Jaringan memungkinkan data sensor dan perintah kontrol dapat mengalir secara terus menerus dengan *real-time*[6].
- f. *Field Service*: Berperan langsung dalam pengambilan dan pengumpulan data dari proses serta kontrol di lapangan, lapisan ini mencakup berbagai perangkat seperti sensor, *transmitter actuator*, relay serta elemen lainnya yang berinteraksi langsung. Pada lapisan *Field Layer* mengirimkan sinyal secara langsung ke PLC/RTU melalui kabel/protokol komunikasi seperti Modbus RTU.

2.13.2. Komunikasi Serial dalam SCADA

Komunikasi serial adalah pengiriman data secara berurutan (bit demi bit) melalui satu jalur transmisi. Komunikasi serial sering digunakan dalam menghubungkan berbagai perangkat seperti PLC, sensor, modul I/O dan RTU *master controller* menggunakan *protocol* komunikasi serial yang paling umum adalah Modbus RTU. Cara kerja komunikasi serial Setiap *byte* data dipecah menjadi aliran bit yang dikirim melalui satu jalur data, baik secara *asynchronous* (tanpa sinyal *clock* bersama antara pengirim-penerima, seperti UART/RS-232) maupun *synchronous* (menggunakan *clock* bersama, seperti SPI/I2C). Jenis-jenis komunikasi serial, yaitu:

- a. UART (*Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*): Perangkat keras (*hardware*) atau modul dalam mikrokontroler atau komputer yang digunakan untuk komunikasi data secara *asinkron* antar perangkat elektronik, seperti sensor, komputer, PLC, atau modul komunikasi. UART bekerja pada prinsip *serial communication* di mana data dikirimkan secara bit per bit, dimulai dari bit *start*, diikuti oleh data, dan diakhiri dengan bit *stop*. Aplikasinya biasanya pada mikrokontroler [62].
- b. RS 232/RS 485: Dua jenis yang paling umum dalam dunia industri dan otomasi adalah RS-232 dan RS-485. Keduanya mendefinisikan standar fisik untuk pengiriman sinyal data, bukan protokolnya. Protokol seperti Modbus RTU menggunakan salah satu dari dua media ini sebagai saluran komunikasi[63].
- c. I2C (*Inter-Integrated Circuit*): Protokol komunikasi serial sinkron yang digunakan untuk komunikasi jarak pendek antara mikrokontroler dan perangkat periferal, seperti sensor, EEPROM, RTC, LCD, dan lain-lain. Protokol ini diciptakan oleh *Philips Semiconductor* (sekarang NXP) dan telah menjadi standar umum pada banyak platform mikrokontroler[64].
- d. SPI (*Serial Peripheral Interface*): Protokol komunikasi serial sinkron yang memungkinkan komunikasi cepat antara satu *master* (biasanya mikrokontroler) dan satu atau lebih perangkat *slave* (seperti sensor, memori, dan *display*). SPI dikembangkan oleh Motorola dan banyak digunakan dalam sistem *embedded* dan IoT karena kecepatannya yang tinggi dan efisiensi komunikasi[65].

2.13.3. Protokol Modbus

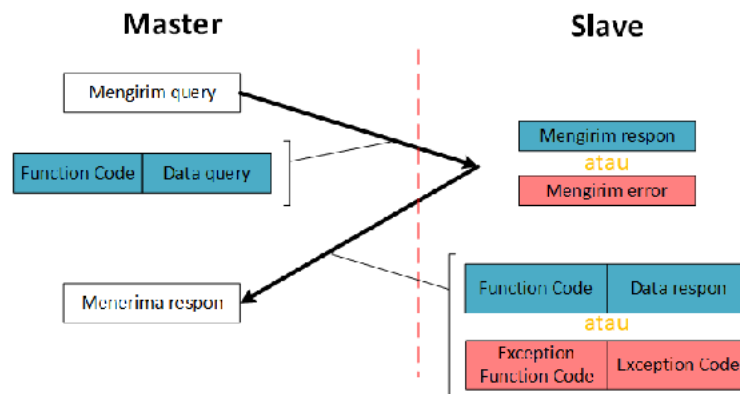
Protokol modbus adalah *protocol* komunikasi dibuat oleh Modicon yang diterapkan untuk PLC. Modbus diperuntukan dalam mengirim sinyal dari perangkat instrumentasi dan kontrol yang kembali pada controller utamanya. Sering digunakan dalam penghubung *computer* pengawasan

dengan RTU kontrol pengawas dan data akusisi (SCADA). Pada protocol komunikasi memiliki 2 versi protocol modbus yakni: Modbus RTU dan Modbus ASCII[66]. Protokol komunikasi jaringan dengan berstandarkan internasional yang digunakan pada bidang industry bersifat *open source*, berbagai media antarmuka dapat berjalan secara sederhana dan efisien. Seiring dengan waktu berjalan protocol modbus komunika ini berkembang sangat luas dan produk sekarang telag di kembangkan Dengan memakai *protocol* tersebut. Pada modbus mempunyai 3 variasi komunikasi yang bervariasi seperti Modbus RTU menggunakan RS232/RS485, Modbus ASCII yang menggunakan koneksi serial. Dan Modbus TCP yang melalui jaringan RJ 45[67].

Protokol modbus ini memperizinkan komunikasi dua arah antara perangkat yang jaringannya sama. Namun ada pertimbangan apabila memakai protocol Modbus sebagai berikut :

- a. Protokol terbuka
- b. Penghubungan dengan jaringan indutri relaatif mudah
- c. Transfer data raw bits atau words dapat melakukan dengan semua perangkat[66].

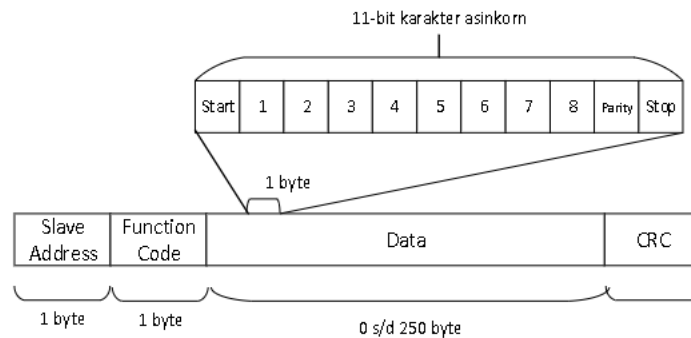
Perangkat yang bertugas mengirim dat dinamakan *master* dan sedangkan yang menerimanya dinamakan *slave*, pada master bersifat aktif mengirimkan permintaan yang meliputi *function code* dan data. Pada *slave* yang bersifat pasif hanya merespon permintaan dari master dengan memberikan pesan data response pada kondisi yang normal maupun ketika *exception code* ketika terjadi *error*. Adapun proses transaksi dari master *pada slave*[63]. Hubungan *master slave*, komunikasi selalu terjadi berpasangan satu perangkat harus memulai untuk meminta dan kemudian menunggu respons dan perangkat yang memulai adalah *master* dan bertanggungjawab dalam memulai setiap interaksinya. Isi dalam permintaan dan tanggapannya ini, memiliki lapisan jaringan tempat pesan-pesan tersebut dikirim, ditentukan oleh berbagai lapisan protokolnya.



Gambar2. 20 Proses Transaksi *Master* dan *Slave* pada Modbus

Sumber[63]

Cara pengambilan data Modbus yang pertama Komunikasi Modbus selalu diawali dengan *query* dari *Master*, dan *Slave* memberikan respon dengan mengirimkan data atau melakukan aksi sesuai perintah dari *Master*. *Master* hanya melakukan satu komunikasi dalam satu waktu. *Slave* hanya akan melakukan komunikasi jika ada perintah (*query*) dari *Master* dan tidak bisa melakukan komunikasi dengan *Slave* yang lain. Kemudian, Perangkat yang mengirim permintaan informasi disebut Modbus *master* dan perangkat yang menerima permintaan informasi disebut Modbus *slave*. *Master* atau *slave* dapat berupa PLC, HMI, mikrokontroler dan lain-lain. *Master* bersifat aktif yaitu memulai komunikasi antara lain membaca data, menulis data, mengetahui status *slave* dan mengirimkan permintaan atau *query* yang terdiri dari *function code* dan data. Sedangkan *slave* bersifat pasif yang hanya merespon jika ada permintaan dari master. Jika data *query* dari *master* diterima dengan benar oleh *slave*, maka *slave* akan mengirim pesan respon ke *master* yang terdiri dari *function code* dan *data response*.



Gambar2. 21 Format data *frame Modbus RTU*

Sumber :[68]

Frame Modbus terdiri atas :

- a. *Slave Address*: Alamat *slave* yang pertama yang terdiri dari 1 byte
- b. *Function Code*: Perintah untuk dilakukan *slave*. Pada *function code* memiliki fungsi yang akan menjadi pembeda dengan menyesuaikan dari tipe data dan tipe perintahnya seperti apa. Tipe data dikategorikan dalam bilangan distrik ataupun analog, berbeda dengan jenis perintah yang mana dapat menulis atau membaca dari data tersebut. Data yang didapatkan akan tersimpan di register dan *coil* pada alamat yang berbeda. Hal tersebut dapat di lihat pada [63].

Function Code	Perintah	Jenis Data
01 (01 hex)	Read	Discrete Output
05 (05 hex)	Write Single	Discrete Output
15 (0F hex)	Write Multiple	Discrete Output
02 (02 hex)	Read	Discrete Input
04 (04 hex)	Read	Analog Input
03 (03 hex)	Read	Analog Output
06 (06 hex)	Write Single	Analog Output
16 (10 hex)	Write Multiple	Analog Output

Gambar2. 22 *Function Code Modbus*

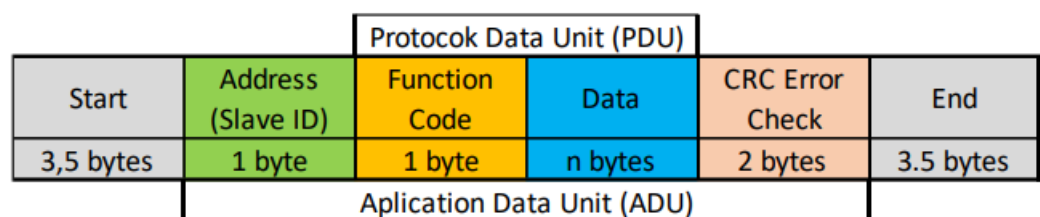
Sumber :[63]

- c. *Byte Data*: Variasi dari jumlah *byte* data yang tergantung dengan jumlah data yang tertulis ke slave. *Byte* data berisikan alamat register, jumlah, dan data tertulis pada alamat register
- d. *Cyclic Redundancy Check (CRC)*: Algoritma yang memastikan integritas data dalam melakukan pengecekan kesalahan pada data yang tersimpan dan terkirim.

2.13.4. Modbus RTU

Remote Terminal Unit (RTU) adalah tipe dari modbus yang sering digunakan dalam komunikasi serial, pada modbus RTU bekerja pada layer data link OSI model yang mana pada *layer* fisiknya akan memakai RS 232 dan RS 485. Frame Modbus RTU terdapat *start bit*, *slave ID*, *function code*, *data*, *Cyclic Redundant Check (CRC)*, dan *end bit*. *Start bit* merupakan awalan dari frame dengan ukuran 1 bit, slave ID merupakan alamat perangkat dari slave dengan ukuran 8 bit (1 *byte*), *function code* merupakan kode fungsi perintah dalam pembacaan/register dengan ukuran 8 bit (1 *byte*), pada data merupakan perintah/data balasan dengan ukuran 0-250 *byte*, kemudian CRC merupakan

Cyclic Redundancy Check untuk deteksi *error* dengan ukuran 16 bit (2 *byte*), dan *End bit* merupakan Penanda akhir frame (*stop bit*) dengan ukuran 1 bit [68]. Protokol komunikasi modbus RTU menggunakan sistem *polling* yakni sisi master memanggil dan sisi *slave* menjawab.



Gambar2. 23 Format *Frame Modbus RTU*

Sumber:[63]

Fungsi dari setiap *block frame* Modbus RTU sebagai berikut:

- a. *Start*: Sebagai penanda *frame* baru

- b. *Address*: sebagai pengalamatan dari slave (1 sampai 247), dengan alamat 0 dipakai untuk *broadcast*
- c. *Function Code*: Sebagai perintah yang harus dikerjakan/dilakukan slave
- d. *Data*: Isinya berkaitan dengan alamat register, jumlah data, dan data yang akan dituliskan jumlah *byte* data bergantung pada jumlah data yang dituliskan pada *slave*
- e. *CRC Error Check*: Sebagai pendeteksi kerusakan data yang dikirimkan
- f. *End*: Sebagai penanda bahwa frame data berakhir[66]

RegisterModbus RTU memiliki beberapa akses data pada protocol ini, antaranya:

Nama Register	Tipe Objek	Akses	Keterangan
Coils	Single bit	Read Write	Master read write coil
Discrete input	Single bit	Read only	Slave update request
Input register	16 bit word	Read only	Slave update request
Holding register	16 bit word	Read Write	Master read write

Gambar2. 24 Register Modbus RTU

Sumber:[66]

- a. *Coils*: merupakan register yang menyimpan nilai 1/0 (*ON/OFF*), *Coils* memiliki tipe objek berupa *single bit*. Register ini bersifat *read-write*, artinya *master* dapat membaca maupun menulis (mengatur) status *coil* tersebut. Biasanya digunakan untuk mengontrol aktuator seperti pompa, relay, dan motor dalam sistem industri.
- b. *Discrete Input*: untuk membaca status input digital dari perangkat-perangkat seperti sensor batas, tombol tekan, atau sensor level. Sama seperti coils, tipe objeknya adalah *single bit*, tetapi berbeda dari *coils*, register ini bersifat *read only*. Artinya, *master* hanya dapat membaca nilainya, sementara slave-lah yang memperbarui data ini secara otomatis berdasarkan kondisi fisik perangkat yang terhubung.
- c. *Input Register*: untuk membaca data analog yang dikonversi ke bentuk digital oleh perangkat *slave*, misalnya sensor suhu, tekanan, atau arus

listrik. Register ini bertipe objek *16-bit word*, dan bersifat *read only*, sehingga hanya bisa dibaca oleh master, sedangkan data di dalamnya diperbarui oleh *slave* secara periodik. Input register sangat penting dalam sistem pemantauan yang memerlukan akurasi, karena data yang ditampungnya berupa nilai digital hasil konversi dari sinyal analog.

- d. *Holding Register*: Salah satu register paling fleksibel dalam protokol Modbus RTU karena dapat digunakan untuk menyimpan dan mengatur nilai-nilai penting seperti set point, timer, parameter PID, atau output analog. Tipe objeknya adalah *16-bit word*, dan bersifat *read-write*, yang artinya *master* dapat membaca maupun menulis nilai pada register ini. *Holding register* banyak digunakan untuk komunikasi dua arah antara SCADA dan *slave*.

2.13.3. RS 485

Protokol komunikasi RS 485 dikembangkan oleh *Electronic Industries Alliance* (EIA) digunakan dalam memenuhi komunikasi jarak jauh dan multiperangkat untuk pengaplikasian dalam bidang industry. Jarak yang dapat ditempuh dalam komunikasi data yaitu 1,2 Km dan RS 485 dapat digunakan 32unit perangkat menggunakan dua kabel tanpa memerlukan ground yang sama dengan yang lainnya[62]. Penyebutan secara lengkap RS-485 merupakan EIA/TIA-485 yaitu *Standard for Electrical Characteristics of Generators and Receivers for use in a Balanced Digital Multipoint System* yaitu standar komunikasi serial asinkron yang berstandar industri[58]. RS 485 memakai *diferensial balanced transmission* yang mana mengubah tegangan TTL ke selisih tegangan antara output A dan B yang menyebabkan efek *noise* berkurang [20]. Pada metode transmisi tersebut memiliki 2 sinyal yakni A dan B yang memiliki tegangan yang berbeda, apabila terdapat *input low line* A akan berguna sebagai referensi pada sinyal B. Setiap Perangkat seperti kontoler dan sensor mengirimkan data dapat memeriksa jalurnya. Sebagai media pengiriman data menggunakan jalur tersebut ada trafik data yang sedang ada ataupun tidak. Apabila jalurnya

sedang digunakan sehingga peralatan perlu menanti hingga jalurnya sudah kosong atau tidak dalam pengiriman data[58].

RS 485 menggunakan topologi *daisy chain* yang mana slave terkoneksi pada master yang mana menjadi satu jalur. Perangkat bisa dikonfigurasi master ataupun slave menggunakan satu master dan perangkat slave lebih dari satu, yang disebabkan semua perangkat tersebut berbagi bus yang sama yang dapat bermanfaat untuk menghindari perangkat *slave* yang *noise* ketika *slave* meminta sebuah data. RS485 dalam persinyalannya secara diferensial yang cukup menggunakan 2 kabel dan kesamaan, pada sinyanya diferensial berjalan dengan menaruh sinyal pada 1 kabel dan sebaliknya dari sinyal pada kabel yang lainnya [21]. Proses pengiriman data supaya sampai yang dituju maka sebelumnya diawali pada *Slave ID* yang selanjutnya melalui daya yang akan dikirimkan. Apabila peralatan yang lain tidak mempunyai ID yang sama pada *Slave ID* lalu perangkat akan menolaknya, apabila *Slave ID* dikirimkan sudah sesuai melalui ID dengan peralatan akan diterima dan di proses kedepannya[58].

Tabel 2. 13 Spesifikasi RS 485

Parameter	Nilai / Keterangan
Standar Resmi	TIA/EIA-485 (Electronic Industries Association)
Jenis Komunikasi	Serial, Asynchronous, Differential
Topologi Jaringan	Multi-point (bisa hingga 32 node transmit/receive, atau lebih dengan repeater)
Jarak Maksimal	Hingga 1200 meter
Kecepatan Maksimal	Hingga 10 Mbps untuk jarak < 15 meter
Level Logika	$\pm 5V$ diferensial (antara A dan B)
Mode Transmisi	Half-duplex (umum), Full-duplex (menggunakan dua jalur)

Jumlah Node	32 unit (tanpa repeater), hingga 256 (dengan driver khusus atau repeater)
Protokol Umum di Atas RS485	Modbus RTU, Profibus DP, BACnet MS/TP
Tegangan Common Mode	-7V hingga +12V
Aplikasi Umum	PLC–HMI, inverter–controller, BMS, monitoring suhu, sistem SCADA

2.14. *Human Machine Interface*

Human Machine Interface (HMI) adalah sistem atau antarmuka yang menghubungkan manusia (operator) dengan sistem kontrol otomatis seperti *Programmable Logic Controller* (PLC) atau *Distributed Control System* (DCS). HMI memungkinkan pengguna untuk memantau, mengontrol, dan mengelola proses industri secara visual dan interaktif melalui layar panel sentuh, komputer, atau perangkat *mobile* yang bersifat *real time* [70]. Tujuan penggunaan HMI adalah untuk memperbaiki interaksi antara operator dan mesin melalui tampilan di layar monitor. Dalam sektor manufaktur, HMI adalah tampilan Antarmuka Pengguna Grafis (GUI) yang dihadapi oleh operator mesin atau pengguna yang memerlukan informasi dari mesin[71]. HMI memiliki kemampuan untuk visualisasi, yaitu memantau data dari mesin yang terhubung melalui metode komunikasi tertentu. HMI akan menunjukkan gambaran kondisi yang berupa peta mesin produksi di layar monitor, sehingga bagian mana dari mesin yang sedang beroperasi dapat terlihat[72].

Secara umum, HMI tidak terhubung langsung dengan peralatan yang dikendalikan, melainkan melalui perantara *server* data. *Server* data dapat berupa program OPC atau *driver* khusus yang dirancang untuk PLC. OPC adalah komunikasi standar industri untuk konektivitas sistem yang memanfaatkan teknologi Microsoft COM dan DCOM dalam pertukaran data antara komputer, atau juga bisa dengan *server* OPC menetapkan pengaturan umum untuk antarmuka,

sehingga aplikasi dapat menerima data dalam format yang identik meskipun sumber data berasal dari berbagai pengendali[72].

HMI didesain untuk menghubungkan antara manusia dengan mesin. Dalam konteks arsitektur, mengacu pada cara manusia berinteraksi dengan mesin. Arsitektur HMI melibatkan beberapa elemen penting dalam desain, diantaranya:

a. Visualisasi

HMI harus memiliki *interface* yang jelas agar hal yang disampaikan HMI ke manusia dapat dimengerti dengan mudah. Visualisasi mencakup ampilan desain grafis, diagram, ikon dan teks yang mudah dimengerti.

b. Interaksi

HMI harus mendukung segala bentuk interaksi yang disampaikan dan diterima oleh manusia dan mengelolanya. Media interaksi HMI yang umum digunakan seperti tombol, layar sentuh, suara, sistem komunikasi.

c. Keamanan dan keselamatan

Kejadian tidak menyenangkan bisa terjadi dimanapun dan kapanpun, termasuk dalam HMI. Oleh karena itu perlu diperhatikan dalam aspek ini demi kebaikan bersama. Seperti penggunaan akses darurat ketika terjadi kecelakaan kerja dan penggunaan otorisasi untuk menghindari penyalahgunaan[15].



Gambar2. 25 Wainetek MT6071iE

Sumber:[73]

Perangkat HMI yang digunakan dalam pembuatan tugas akhir yang dapat dilihat pada **Gambar 2.25** adalah Waintek MT6071iE yang menyediakan fitur layar sentuh dengan kemampuan komunikasi yang luas, kompatibel dengan berbagai PLC dan protokol industri. MT6071iE menyediakan *interface* visual yang intuitif untuk memantau dan mengendalikan proses industri secara *real-time*. Operator dapat mengakses data, mengubah parameter, dan menerima alarm melalui layar sentuh. Mendukung komunikasi dengan berbagai PLC dan perangkat lain melalui protokol serial RS-232 dan RS-485, memungkinkan integrasi mudah dalam sistem otomasi. Spesifikasi dari Waintek MT6071iE dilihat pada **Tabel 2.13**.

Tabel 2. 14 Spesifikasi Waintek MT6071iE[73]

Parameter	Nilai / Keterangan
Model	MT6071iE
Processor	32-bit RISC Cortex-A8 600 MHz
Memori RAM	128 MB
Layar	7 inci TFT LCD, resolusi 800 x 480 piksel, 16 juta warna
Panel Sentuh	4-wire resistive touch panel, akurasi $\pm 2\%$
Port USB	USB Host 2.0 x 1, USB Client 2.0 (Micro USB)
Port Komunikasi Serial	COM1: RS-232 (9 pin Male D-sub), COM2 & COM3: RS-485 2W/4W (9 pin Female D-sub)
Power Supply	DC 24 V $\pm$ 20% (sekitar 19.2 V – 28.8 V), konsumsi puncak arus hingga 2 A
Software Pemrograman	EasyBuilder Pro (versi 4.10.04 ke atas)
Kompatibilitas Protokol	Mendukung berbagai protokol komunikasi serial untuk integrasi dengan PLC dan perangkat lain
Konektivitas Ethernet	Tidak tersedia pada model MT6071iE (tersedia pada seri MT8071iE)

2.15. EasyBuilder Pro

EasyBuilder Pro adalah perangkat lunak *Human Machine Interface* (HMI). Software waintek ini digunakan untuk merancang antarmuka antara pengguna dan mesin (HMI) yang mendukung berbagai jenis PLC. Dengan menggunakan EasyBuilder Pro, pengguna dapat memvisualisasikan data proses, mengendalikan mesin, serta memonitor sistem industri secara *real-time*[70].



Gambar2. 26 EasyBuilder Pro

Sumber: Dokumentasi Penulis

EasyBuilder Pro pada **Gambar 2.26** banyak digunakan dalam industri manufaktur, otomatisasi proses, dan monitoring sistem produksi. Dengan kemudahan pemrograman dan integrasi yang baik, software ini membantu teknisi dan engineer dalam mendesain interface yang *user-friendly* dan fungsional untuk pengendalian dan pengawasan proses industri. EasyBuilder Pro memiliki serangkaian fitur komprehensif yang mendukung perancangan HMI yang fungsional:

- a. *Konektivitas Multi-Protokol*: kemampuannya untuk berkomunikasi dengan berbagai jenis PLC dan perangkat kontrol lainnya melalui beragam protokol komunikasi industri. Ini termasuk, namun tidak terbatas pada, Modbus RTU/TCP, Siemens MPI/Profinet, Allen-Bradley Ethernet/IP, Omron FINS, Mitsubishi FX, dan fitur tersebut memungkinkan itegrasi HMI Waintek hamper semua arsitektur sistem otomatisasi yang ada.
- b. *Desain Antarmuka Grafis Intuitif*: Perangkat lunak ini menyediakan *interface drag-and-drop* yang mudah digunakan untuk mendesain layar HMI. Pengguna dapat menambahkan berbagai objek grafis seperti tombol, indikator, meter,

grafik tren, tabel data, teks, dan gambar. Tersedia juga perpustakaan objek yang kaya, serta kemampuan untuk mengimpor aset grafis kustom, Ini mempermudah pembuatan tampilan yang informatif dan menarik secara visual.

- c. Pencatatan Data (*Data Logging*): Perangkat lunak ini mendukung fungsi pencatatan data historis dari PLC atau perangkat lain ke memori HMI, kartu SD, atau USB drive. Data ini dapat digunakan untuk analisis tren, pelaporan produksi, atau *troubleshooting* di kemudian hari. Data dapat ditampilkan dalam bentuk grafik tren atau tabel historis langsung di HMI[70].

2.16. EcoStruxure Machine Expert

EcoStruxure Machine Expert adalah *software* yang digunakan oleh Schneider electric dalam membuat pemrograman untuk beberapa PLC Schneider, software tersebut diperuntukan dalam pembuatan ladder diagram PLC dan mengecek program yang sudah dibuat. konfigurasi PLC yang dipakai di definisikan ke dalam software untuk menyesuaikan jumlah dari I/O, protokol komunikasi dan fungsi berdasarkan *hardware*. EcoStruxure Machine Expert yang disajikan pada **Gambar 2.27** digunakan juga dalam mensimulasikan program PLC yang telah dibuat dan dihubungkan dengan software HMI yang digunakan, sehingga proses pengecekan program dapat dilaksanakan dengan baik[74].



Gambar2. 27 EcoStruxure Machine Expert

Sumber: Dokumentasi Penulis