

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Berikut tinjauan pustaka yang telah dilakukan oleh penelitian sebelumnya:

Tabel 2.1 Tinjauan Pustaka

No	Peneliti	Judul	Keterangan
1	M. Amin, Raja Harahap, dan Zulfadli Pelawi (2023)	Rancang Bangun Sistem Kendali Dan Monitoring Pengolahan Air Limbah Berbasis PLC	Merancang sebuah sistem kendali otomatis yang dapat mengatur proses pengolahan air limbah secara manual maupun otomatis dengan menggunakan teknologi Programmable Logic Controller (PLC). Sistem yang dibangun terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu input berupa sensor level switch untuk mendeteksi ketinggian air dan selektor switch untuk memilih mode operasi; bagian proses menggunakan PLC LE3U sebagai pengendali utama; dan output berupa pompa serta relay yang bertugas mengalirkan air sesuai proses yang diatur.
2	Fendi Achmad, Subuh Isnur Haryudo, dan Daeng Rahmatullah (2020)	Rancang Bangun Human Mechanic Interface Autonics Logic Panel S070 Sebagai Media Belajar dan Pembelajaran Instalasi Motor Listrik	Penelitian ini mengembangkan dan menguji kelayakan media pembelajaran berbasis Trainer Human Mechanic Interface Autonics LP-S070 untuk mata kuliah Instalasi Motor Listrik. Menggunakan metode Research and Development (R&D), media ini diuji dari segi unjuk kerja, validasi oleh ahli, dan respons mahasiswa. Hasilnya menunjukkan media ini sangat layak digunakan, dengan skor validasi isi 89,58%, konstruk 87,8%, dan uji coba mahasiswa 83,04%. Trainer ini efektif

			mendukung pembelajaran praktis dan interaktif melalui sistem kontrol berbasis HMI-PLC dan software Smart Studio.
3	Trainings Blog (2023)	<i>Advantages and Disadvantages of PLC</i>	PLC merupakan komputer industri yang dirancang untuk mengontrol dan memantau proses manufaktur secara real-time. Komponen utama PLC terdiri dari CPU, modul input/output, dan sistem pemrograman yang memungkinkan interaksi antara perangkat keras dan perangkat lunak dalam mengoperasikan berbagai proses industri. Keunggulan PLC meliputi fleksibilitas tinggi dalam perubahan sistem, keandalan dalam lingkungan industri, skalabilitas, kemampuan operasi real-time, integrasi dengan berbagai perangkat, kemampuan diagnostik,
4	Muhrinsyah Fatimura (2016)	Analisis Kualitas Air Boiler Berdasarkan Standar ASME pada Pabrik Kelapa Sawit PT. Tunjuk Langit Sejahtera Jambi	Menganalisis kualitas air boiler berdasarkan standar ASME , khususnya nilai pH ideal di kisaran 10,5–11,5. Hasilnya menunjukkan sebagian besar parameter air boiler, termasuk pH, sudah memenuhi standar, meskipun beberapa sampel melebihi batas yang ditentukan. Hal ini penting karena parameter pH yang sesuai standar akan mencegah pembentukan kerak dan korosi, menjaga efisiensi perpindahan panas, serta memperpanjang umur peralatan boiler. Sebaliknya, air boiler yang tidak sesuai standar ASME berpotensi menyebabkan kerusakan peralatan, menurunkan efisiensi energi, dan meningkatkan biaya operasional secara keseluruhan.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Programmable Logic Controller

Programmable Logic Controller (PLC) merupakan perangkat kontrol digital yang dirancang khusus untuk mengotomasi proses-proses industri. PLC bekerja dengan membaca sinyal input dari berbagai sensor, memproses sinyal tersebut berdasarkan program logika yang telah ditanamkan, dan menghasilkan sinyal output untuk mengontrol perangkat lain seperti motor, pompa, atau katup. PLC memiliki keunggulan dalam hal kecepatan eksekusi, keandalan dalam lingkungan industri, serta fleksibilitas pemrograman.



Gambar 2.1 Tampilan PLC
(Sumber: <https://www.autonics.com/id/model/LP-A070-T9D6-C5R>)

Dalam sistem kontrol Water Treatment Plant (WTP) ini, PLC digunakan sebagai pusat kendali utama. Semua input seperti pembacaan pH, TDS, dan level air ditangkap oleh sensor, kemudian diteruskan ke PLC melalui komunikasi RS-485. PLC akan membandingkan nilai aktual terhadap setpoint yang telah ditentukan. Berdasarkan hasil komparasi tersebut, PLC mengambil keputusan logis, seperti menghidupkan *dosing pump* untuk menaikkan pH air, mengaktifkan sirkulasi pompa, atau mengontrol solenoid valve untuk mengisi air ke dalam tangki. Keputusan ini dilakukan secara otomatis dan presisi, mengurangi ketergantungan terhadap operator manual.

Selain itu, PLC juga mengelola logika interlock, yakni sistem pengaman yang memastikan perangkat hanya bekerja dalam kondisi aman. Misalnya, pompa dosing tidak akan beroperasi jika level air dalam drum soda ash terlalu rendah. Dengan pemrograman yang tepat, PLC memastikan setiap proses berjalan dalam urutan dan kondisi yang benar. Spesifikasi PLC Autonics LPA070 dapat dilihat pada tabel 2.2

sebagai berikut :

Tabel 2.2 Spesifikasi PLC

Parameter	Keterangan
Model	LP-A070-T9D6
Input	16-Point
Rated input voltage	24VDC
Rated input current	X0 to X8: 10mA X9 to XF: 4mA
Input format	Source input
Response time	0.5 ms
Common method	16-point/1COM
Output	16-point
Max.load current	0.1/1-point,1.6A/1COM
Min.load current	1mA
External connection	16-pin connector (shared with input)
Serial interface	RS232C, RS422 (Half Duplex)
Ethernet interface	Ethernet: IEEE802.3(U),10/10Base-T, connector RJ45
Ram	DDR2 133 MHz 256 MB
Flash	256 MB
External storage	Micro SD max.32GB (FAT16/32)

2.2.2 Human Machine Interface (HMI)

Human Machine Interface (HMI) adalah perangkat antarmuka yang memungkinkan manusia berinteraksi dengan sistem kontrol industri secara mudah dan intuitif. Melalui HMI, operator dapat memantau kondisi sistem secara real-time, mengatur parameter operasional, serta menerima notifikasi kesalahan atau

alarm. HMI biasanya dilengkapi dengan tampilan grafis, numeric display, dan kontrol panel virtual yang memudahkan penggunaan.



Gambar 2.2 Tampilan HMI

(Sumber: <https://www.autonics.com/id/model/LP-A070-T9D6-C5R>)

Dalam sistem ini, digunakan HMI Autonics LP-A070 yang dikonfigurasi untuk membaca data dari PLC menggunakan protokol komunikasi Modbus RTU. Data seperti nilai pH, TDS, level air, status pompa, dan alarm ditampilkan di layar. Operator dapat dengan mudah mengetahui kondisi aktual proses dan melakukan penyesuaian apabila diperlukan, seperti mengubah nilai setpoint pH atau memulai siklus pengisian air otomatis. Selain itu, HMI juga berfungsi menampilkan status ON/OFF indikator melalui tampilan lampu virtual.

HMI berperan penting dalam meningkatkan kecepatan respon operator terhadap perubahan kondisi proses, sekaligus mengurangi risiko kesalahan akibat pengawasan manual. Dengan tampilan data yang real-time dan akurat, operator dapat mengambil keputusan lebih cepat dan tepat dalam menjaga kualitas pengolahan air. Spesifikasi perangkat HMI yang digunakan dalam sistem ini dirangkum pada tabel 2.3 sebagai berikut :

Tabel 2.3 Spesifikasi HMI

Parameter	Keterangan
Model	LP-A070-T9D6
Screen Size	7.0 inch
Resolution	800 × 480 pixels
Pixel Pitch (WXH)	0.19 X 0.19 mm
Display Area	154.4 x 993.44 mm

LCD view angle (Top/bottom/left/right)	Within 50°/60°/65°/65° of each
Backlight	White LED
Backlight life cycle	≥ 50.000 Hours
Sound	Magnetic buzzer (≥85dB)
Number of user screen	100 pages
Font	Bitmap font: 8x8.8x16.16x16.32x32 Pixel, vector font : 5 to 625 pixel

2.2.3 Power Supply 24VDC

Power Supply Unit (PSU) berfungsi untuk menyediakan sumber daya listrik DC yang stabil untuk berbagai perangkat kontrol seperti PLC, HMI, sensor, dan modul komunikasi. PSU pada sistem ini mengkonversi listrik AC dari jaringan umum menjadi DC 24V, yang merupakan standar tegangan operasional untuk peralatan otomasi industri.



Gambar 2.3 PSU 24VDC

(Sumber: <https://www.se.com/id/id/product/ABLS1A24050/regulated-power-supply-100240v-ac-24v-5-a-single-phase-optimized/>)

Keberadaan PSU sangat krusial dalam menjaga stabilitas sistem. Fluktuasi tegangan atau kegagalan suplai daya dapat menyebabkan kesalahan logika pada PLC, kehilangan data pada HMI, atau kerusakan sensor. Oleh karena itu, PSU dirancang dengan proteksi tertentu seperti overload protection dan overvoltage

protection untuk menjaga keandalan operasional.

Dalam implementasi sistem WTP, PSU 24V digunakan untuk memberi daya pada PLC Autonics, HMI, Intelligent Industrial Controller, serta Supmea TDS Controller, sehingga semua perangkat dapat berkomunikasi dan beroperasi secara sinkron tanpa gangguan. Spesifikasi power supply 24 vdc yang digunakan dalam sistem ini dirangkum pada tabel 2.4 sebagai berikut :

Tabel 2.4 Spesifikasi power supply

Parameter	Keterangan
Seri	ABLS1A24050
Dimensi	124 x 32 z 110 mm
Input Tegangan	100 - 240 VAC (50/60) / 110 - 340 VDC
Arus Input Maksimum	1.4 A pada 230 VAC / 2,4 A pada 100 VAC
Output Tegangan	24 VDC
Arus output maksimum	5A
Proteksi	Overload, Overvoltage, Short Circuit

2.2.4 Industrial Intellegent Controller

Industrial Intelligent Controller berperan penting dalam sistem pengolahan air (Water Treatment Plant/WTP) dengan fungsi utama membaca dan mengontrol parameter pH secara real-time. Perangkat ini tidak hanya berfungsi sebagai monitor tingkat keasaman atau kebasaan air, tetapi juga mampu mengendalikan aktuator seperti dosing pump untuk menyesuaikan pH sesuai kebutuhan proses. Sebagai bagian dari sistem otomasi industri, Industrial Intelligent Controller terintegrasi dengan sensor pH dan dilengkapi unit display serta kontrol, yang mampu menghasilkan sinyal analog standar (4–20 mA). Sinyal ini selanjutnya dapat dikomunikasikan ke PLC atau HMI untuk memungkinkan pemantauan dan pengendalian parameter pH secara otomatis dan presisi dalam keseluruhan sistem.



Gambar 2.4 Industrial Intelligent Controller

(Sumber: http://alibaba.com/product-detail/GWQ-EC200-RS485-interface-smart-online_62093609080.html)

Dalam konteks sistem pengolahan air (Water Treatment Plant/WTP), alat ini akan diintegrasikan ke dalam sistem pH controller untuk menjaga kestabilan nilai pH pada rentang yang telah ditentukan. Nilai pH sangat penting karena menyangkut kualitas air, baik untuk kebutuhan proses industri maupun konsumsi. Proses integrasi dilakukan dengan menghubungkan output sinyal dari alat ini ke input analog PLC, lalu data akan ditampilkan secara real-time di HMI Autonics. Dengan sistem tersebut, pengguna tidak hanya dapat memantau nilai pH tetapi juga mengendalikan perangkat eksekusi seperti dosing pump yang menambahkan bahan kimia untuk menyesuaikan nilai pH air. Spesifikasi pH controller yang menjadi komponen utama dalam proses pengukuran dan kontrol kadar keasaman larutan dapat dilihat dalam Tabel 2.4 berikut :

Tabel 2.5 Spesifikasi pH Controller

Parameter	Keterangan
Model	GWQ-pH6.0 Controller
Fungsi Utama	Pengukuran pH/ORP & suhu, transmisi sinyal 4-20mA, RS485
Rentang Pengukuran pH	0–14 pH
Rentang Pengukuran ORP	-1000 hingga +1000 mV (hingga 2000/+2000 custom)
Akurasi	±0.02 pH / ±1 mV
Resolusi	0.01 pH / 1 mV
Stabilitas	≤ 0.02 pH / 24 jam; ≤ 3 mV / 24 jam

Input Impedansi	$\geq 10^{12} \Omega$
Kompensasi Suhu	-10 hingga 130°C (manual/otomatis, NTC10K/PT1000)
Output Analog	4–20 mA isolasi, max loop 750 Ω
Output Digital	RS485 (Modbus-RTU)
Alarm Relay	2 relay (NO/NC) AC250V, 3A
Power Supply	AC220V $\pm 10\%$, 50/60Hz
Layar	LCD Monokrom 2.4 inch (128x64)
Komunikasi	RS485, 4-20mA
Kalibrasi	3 titik (4.00, 6.86, 9.18) untuk pH / 2 titik untuk ORP
Ukuran Panel	92.5 $\times$ 92.5 mm (cut-out)
Protokol Komunikasi	Modbus RTU

2.2.5 Supmea Controller

Supmea EC Controller adalah alat instrumen digital yang digunakan untuk memantau dan mengukur nilai konduktivitas listrik (Electrical Conductivity/EC) dalam cairan. Nilai EC berkaitan erat dengan *Total Dissolved Solids* (TDS), karena TDS merupakan total konsentrasi zat terlarut dalam air, yang dapat diestimasi melalui pengukuran konduktivitas.



Gambar 2.5 Supmea Controller

(Sumber: <https://www.supmeaauto.com/ec-sensor-and-meter/tds210-b-conductivity-meter>)

Hubungan antara EC dan TDS umumnya bersifat linear dan dapat dikonversi

menggunakan faktor koreksi tertentu, seperti:

$TDS \text{ (mg/L)} = EC \text{ (}\mu\text{S/cm)} \times \text{faktor konversi}$. faktor konversi umumnya antara 0.5 – 0.7, tergantung pada jenis larutan dan suhu. Dalam sistem *Water Treatment Plant* (WTP), Supmea EC Controller berperan penting untuk mengawasi kualitas air pada berbagai tahapan proses, terutama karena TDS merupakan indikator utama kelayakan air, di mana nilai rendah (0–50 ppm) menandakan air sangat murni, dan nilai yang tinggi menunjukkan keberadaan mineral, logam berat, atau senyawa kimia dalam jumlah signifikan. Arus output supmea controller 4–20 mA, serta nilai EC dalam satuan $\mu\text{S/cm}$ yang artinya mikrosiemens/centimeter yang dibaca secara real-time, lalu ditransmisikan ke PLC seperti Autonics LP-A070 menggunakan protokol Modbus RTU melalui koneksi RS-485.

Konfigurasi alamat Modbus, baud rate umumnya 9600 – 19200 (tergantung device yang digunakan) serta pengaturan register Modbus pada HMI, sehingga nilai TDS hasil konversi dari EC dapat ditampilkan secara numerik display di layar HMI. Operator dan foreman dapat melakukan pemantauan secara langsung atau mengaktifkan kontrol otomatis seperti dosing pump atau solenoid valve jika nilai TDS melebihi batas yang ditentukan, guna menjaga kestabilan kualitas air dan mencegah kerusakan pada peralatan industri.

Penjelasan dan rumus ini didasarkan pada referensi ilmiah dari jurnal Perancangan Alat Ukur *Total Dissolved Solids* (TDS) Air Dengan Sensor Konduktivitas Secara Real Time oleh Ronaldi Zamora dkk., yang menyatakan hubungan linear antara EC dan TDS sebagai dasar konversi yang umum digunakan dalam pemantauan kualitas air. Untuk mengetahui kemampuan teknis dan fitur yang dimiliki oleh pH controller yang digunakan, dapat dilihat pada Tabel 2.6

Tabel 2.6 Spesifikasi Supmea Controller

Parameter	Keterangan
Model	SUP-TDS210-B
Fungsi Utama	Pengukuran & kontrol EC/TDS/Resistivity
Rentang Pengukuran	0.00–2000 $\mu\text{S/cm}$ (maks. 20000 $\mu\text{S/cm}$)

Akurasi	±1% FS
Resolusi	0.01 μ S/cm
Kompensasi Suhu	NTC10K/PT1000, -10–130°C (manual/otomatis)
Output Analog	4–20 mA isolasi, max 750 Ω
Output Digital	RS485 (Modbus-RTU)
Relay Output	2 relay AC250V/3A
Power Supply	AC220V±10%, 110VAC, 24VDC
Layar	2.8 inch LCD backlight
Komunikasi	RS485
Dimensi	100×100×150 mm (cutout: 92.5×92.5 mm)
Proteksi	IP54
Elektroda yang Didukung	SUP-TDS7001 / 7001-H
Tipe Sel K	K = 0.01 / 0.1 / 1.0
Bahan Elektroda	SS316L
Temperatur Operasi	0–60°C (operasi), -15–65°C (penyimpanan)
Aplikasi	RO, pengolahan air limbah, industri makanan, laboratorium, dll.

2.2.6 Sensor pH

Parameter pH merupakan salah satu indikator penting yang menentukan tingkat keasaman atau kebasaan air. Untuk melakukan pengukuran pH secara kontinu dan akurat, digunakan sensor pH tipe PH5013A PTFE yang diproduksi oleh Supmea. Sensor ini termasuk dalam kategori elektroda kombinasi yang bekerja berdasarkan prinsip elektrokimia, yaitu dengan mendeteksi aktivitas ion hidrogen (H^+) dalam larutan. Berikut sensor pH probe yang digunakan pada gambar 2.7



Gambar 2.6 PH5013A PTFE

(Sumber: <https://www.supmeaauto.com/ph-sensor-and-meter/ph5013a-ptfe-ph-sensor>)

PH5013A memiliki material badan sensor berbahan Polytetrafluoroethylene (PTFE) yang dikenal tahan terhadap bahan kimia korosif, sehingga sangat sesuai untuk diaplikasikan pada lingkungan industri yang ekstrem seperti pengolahan air limbah, proses kimia, maupun pengolahan air bersih. Sensor ini mampu menghasilkan sinyal analog sebagai keluaran, yang selanjutnya dikoneksikan ke pH controller. pH controller tersebut kemudian mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital dan dapat diintegrasikan melalui protokol komunikasi RS485 dengan standar Modbus RTU. Untuk mengetahui kemampuan teknis dan fitur yang dimiliki oleh sensor pH yang digunakan, dapat dilihat pada Tabel 2.7

Tabel 2.7 Spesifikasi pH sensor

Parameter	Keterangan
Product	PTFE pH sensor
Model	SUP-PH5013A
Measurement range	0 ~ 14 pH
Zero potential point	7 ± 0.5 pH
Slope	> 95%
Internal impedance	150-250 M Ω (25°C)
Practical response time	< 1 min
Installation size	Upper and Lower 3/4NPT Pipe Thread

Temp compensation	NTC 10 K Ω /Pt100/Pt1000
Heat resistance	0 ~ 60°C for general cables
Pressure resistance	3 bar at 25 °C
Connection	Low-noise cable

2.2.7 Sensor TDS



Gambar 2. 7 Sensor SUP-TDS8002

(Sumber: <https://www.supmeaauto.com/ec-sensor-and-meter/sup-tds8002-digital-conductivity-sensor>)

Total Dissolved Solids (TDS) merupakan parameter penting dalam pengukuran kualitas air, yang menunjukkan jumlah zat padat terlarut dalam air, termasuk garam anorganik dan senyawa organik. Untuk mendeteksi parameter tersebut secara akurat, sistem Water Treatment Plant (WTP) ini menggunakan sensor SUP-TDS8002 yang dikembangkan oleh Supmea. Sensor ini merupakan tipe digital conductivity sensor yang dapat menghitung nilai TDS berdasarkan konversi dari pengukuran konduktivitas listrik dalam air.

Sensor ini bekerja dengan prinsip pengukuran konduktivitas listrik, di mana nilai konduktivitas akan dikonversi menjadi nilai TDS secara otomatis. Dengan dukungan teknologi digital dan komunikasi Modbus RTU melalui RS485, sensor ini dapat langsung terhubung dengan sistem PLC dan HMI untuk menampilkan data secara real-time.

Keunggulan lain dari SUP-TDS8002 adalah adanya fitur kompensasi suhu otomatis, yang memastikan pembacaan tetap akurat meskipun suhu air mengalami perubahan. Selain itu, desain sensor yang menggunakan metode tanpa elektroda

(electrode-less) membuatnya lebih tahan terhadap pengotoran dan korosi, sehingga lebih awet dan minim perawatan. Untuk mengetahui kemampuan teknis dan fitur yang dimiliki oleh sensor tds yang digunakan, dapat dilihat pada Tabel 2.8

Tabel 2.8 Spesifikasi sensor TDS

Parameter	Keterangan
Product	Digital conductivity sensor
Model	SUP-TDS8002
Measure range	(100~60000) uS/cm; (0.1~500.00) mS/cm;
Accuracy	±1.5%
Solution	1uS/cm;0.01mS/cm; 1ppm;0.01ppt
Material	POM(wet part)
Temperature range	(0~60.0) °C
Protocol	Modbus - RTU

2.2.8 Miniatur Circuit Breaker (MCB)

Miniature Circuit Breaker (MCB) merupakan alat proteksi listrik yang berfungsi memutuskan arus listrik secara otomatis saat terjadi kelebihan beban (overload) atau hubungan pendek (short circuit). MCB menjaga keamanan sistem dengan memutuskan aliran listrik sebelum kerusakan yang lebih serius terjadi.



Gambar 2.8 Miniatur Circuit Breaker (MCB)

(Sumber: <https://www.se.com/id/en/product/A9F74206/ic60n-miniature-circuit-breaker-2p-6a-c-curve/>)

Dalam instalasi sistem WTP, MCB digunakan untuk melindungi semua jalur suplai utama yang mengarah ke PSU, PLC, HMI, pompa, dan perangkat lainnya. MCB dengan kapasitas arus tertentu dipilih berdasarkan kebutuhan daya masing-masing sirkuit. Misalnya, MCB 6A digunakan untuk suplai kontrol, sedangkan MCB 16A digunakan untuk suplai pompa.

Penggunaan MCB dalam sistem kontrol sangat penting untuk menjaga keberlangsungan operasi dan mencegah downtime akibat kerusakan peralatan. Selain itu, MCB juga berfungsi sebagai alat isolasi manual saat dilakukan pemeliharaan atau perbaikan.

2.2.9 Kontaktor

Kontaktor adalah komponen elektromekanis yang berfungsi untuk menghubungkan dan memutuskan aliran listrik ke beban listrik besar seperti motor atau pompa dengan sinyal kontrol kecil. Kontaktor bekerja berdasarkan prinsip elektromagnetik serupa dengan relay, namun dengan kapasitas arus yang jauh lebih besar.



Gambar 2.9 Kontaktor

(Sumber: <https://www.se.com/id/en/product/LC1DT20M7/tesys-d-contactor-4p4-no-ac1-440-v-20-a-220-v-ac-50-60-hz-coil/>)

Dalam sistem WTP, kontaktor digunakan untuk mengoperasikan motor dosing pump dan pompa sirkulasi air. Saat PLC mengaktifkan sinyal kontrol, kontaktor menarik, sehingga beban listrik pompa mendapatkan suplai tegangan penuh. Ini memungkinkan PLC hanya perlu memberikan sinyal kecil untuk mengendalikan peralatan listrik berdaya besar.

Penggunaan kontaktor memberikan keandalan dan keamanan dalam sistem, serta memungkinkan kontrol jarak jauh untuk memutuskan aliran listrik bila terjadi kondisi abnormal, seperti overload atau kesalahan proses. Untuk mengetahui

kemampuan teknis dan fitur yang dimiliki oleh sensor tds yang digunakan, dapat dilihat pada Tabel 2.9

Tabel 2.9 Spesifikasi kontaktor

Parameter	Keterangan
Model	LC1D18M7
Seri	TeSys D
Tegangan Coil	220 VAC / 50HZ
Jumlah Kontak Utama	3 Kontak NO
Kontak Bantu	1 NO (13 - 14) + 1 NC (21 - 22)
Kapasitas Arus	18 A
Daya Motor Maksimal	7,5 kW, 400 VAC
Proteksi Tambahan	Thermal Overload Relay

2.2.10 Thermal Overload Relay (TOR)

Thermal Overload Relay merupakan salah satu perangkat proteksi penting dalam sistem kelistrikan industri, khususnya untuk melindungi motor listrik dari kondisi arus berlebih (overload) yang terjadi ketika motor bekerja melebihi kapasitas nominalnya dalam jangka waktu tertentu. Ketika motor mengalami kelebihan beban, suhu pada kumparan motor akan meningkat secara signifikan, yang jika dibiarkan dapat menyebabkan kerusakan permanen pada isolasi lilitan dan bahkan kegagalan fungsi motor. Untuk itu, thermal overload relay bekerja dengan prinsip pendeteksian panas melalui elemen bimetal, yang akan melengkung akibat pemuatan suhu dan memutus sirkuit kontrol jika ambang batas suhu terlampaui.



Gambar 2.10 Thermal Overload Relay (TOR)

(Sumber: <https://www.se.com/id/en/product/LRD08/tesys-lrd-thermal-overload-relays-2-5-4-a-class-10a/>)

Seperti ditunjukkan pada Gambar 2.10, terdapat tiga fitur utama pada Thermal Overload Relay (TOR). Pertama adalah tombol reset, yang berfungsi untuk mengembalikan kondisi TOR ke keadaan normal setelah terjadi trip. Indikasi trip biasanya ditandai dengan munculnya huruf “T” pada tampilan TOR, yang menunjukkan bahwa perangkat mendeteksi beban lebih (overload) dan secara otomatis memutus aliran ke motor. Untuk mengoperasikan kembali sistem, tombol reset harus ditekan hingga status kembali normal.

Fitur kedua adalah tombol STOP, yang digunakan untuk menghentikan motor atau pompa secara manual. Tombol ini umumnya ditekan dalam kondisi darurat, seperti ketika motor menunjukkan gejala overheating (misalnya suhu casing terlalu tinggi atau tercium bau terbakar), terdengar suara tidak normal, atau terjadi getaran berlebih yang dapat mengindikasikan adanya kerusakan mekanis maupun kelistrikan. Selain itu, tombol STOP juga dapat digunakan ketika arus listrik yang terukur mendekati ambang batas pengaman TOR, namun belum cukup memicu trip otomatis. Dengan menekan tombol ini, operator dapat secara manual menghentikan sistem guna mencegah kerusakan yang lebih serius.

Fitur ketiga adalah current setting dial, yaitu kenop pengatur arus nominal yang digunakan untuk menyesuaikan batas arus beban sesuai dengan spesifikasi motor atau peralatan yang digunakan. Penyetelan arus yang tidak sesuai dapat menyebabkan TOR sering mengalami trip, terutama jika nilai arus aktual melebihi batas yang diizinkan. Dalam perancangan alat pada tugas akhir ini digunakan TOR tipe LRD21, yang memiliki rentang pengaturan arus sebesar 12 hingga 18 Ampere, dan disesuaikan dengan beban motor yang digunakan pada sistem.

Dalam konteks sistem *Water Treatment Plant (WTP)*, *thermal overload relay* umumnya dipasang secara seri dengan kontaktor sebagai bagian dari sistem proteksi motor, misalnya untuk motor dosing pump, pompa sirkulasi, atau pompa booster lainnya. Saat arus listrik yang masuk ke motor melebihi batas toleransi yang telah disetel, elemen bimetal dalam relay akan merespons panas secara bertahap. Jika arus tinggi tersebut berlangsung cukup lama, relay

akan mengaktifkan mekanisme trip yang memutuskan arus ke kontaktor, sehingga motor berhenti bekerja dan terhindar dari kerusakan yang lebih besar akibat panas berlebih.

Keunggulan dari penggunaan thermal overload relay adalah mekanismenya yang pasif, andal, dan tidak memerlukan catu daya tambahan. Selain itu, alat ini relatif murah dan cukup akurat untuk aplikasi industri standar. Penyetelan (setting) relay dilakukan berdasarkan nilai arus nominal motor, dengan kisaran pengaturan biasanya berada $\pm 10\%$ dari nilai *full-load current* (FLC) motor. Dengan pengaturan yang tepat, thermal overload relay tidak hanya memberikan perlindungan optimal, tetapi juga menghindari pemutusan yang tidak perlu selama lonjakan arus sesaat (inrush current) saat motor pertama kali dinyalakan.

Secara keseluruhan, integrasi thermal overload relay dalam sistem kendali motor di WTP membantu memastikan keberlangsungan operasi secara aman, efisien, dan meminimalkan risiko downtime akibat kerusakan motor, sehingga mendukung kinerja sistem otomasi secara keseluruhan. Dapat dilihat pada tabel 2.10 spesifikasi thermal overload relay sebagai berikut :

Tabel 2.10 Spesifikasi thermal overload relay

Parameter	Keterangan
Model	LRD21
Seri	TeSys LRD
Tipe Proteksi	Thermal Bimetal
Rentang Arus	12 - 18 A
Reset Mode	Toggle H : Manual / A : Auto
Kontak Bantu	1 NO (97 - 98) 1NC (95 - 96)
Terminal Bantu	2T1, 4T2, 6T3
Tombol merah	Stop
Tombol Biru	Reset

2.2.11 Relay

Relay merupakan saklar elektromekanis yang berfungsi untuk menghubungkan atau memutuskan aliran listrik berdasarkan sinyal input, biasanya berasal dari PLC atau timer. Relay bekerja dengan menggunakan prinsip elektromagnetik, di mana arus listrik kecil pada kumparan mampu menggerakkan kontak mekanik untuk mengontrol arus yang lebih besar. Dengan demikian, relay menjadi komponen vital dalam sistem kontrol listrik, karena memisahkan sirkuit kontrol dari sirkuit daya.



Gambar 2.11 Relay

(Sumber: <https://www.se.com/id/en/product/RXM4AB2BD/miniature-plugin-relay-harmony-rxm-4-c-o-24-v-dc-6-a-with-led/>)

Dalam sistem Water Treatment Plant (WTP) ini, relay digunakan untuk mengendalikan perangkat-perangkat seperti pompa dosing, pompa sirkulasi, dan solenoid valve. Ketika PLC mengirimkan sinyal ON ke relay tertentu, maka kontak relay akan tertutup, menghubungkan listrik 220V AC untuk menyalakan motor atau valve. Dengan adanya relay, beban berat tidak langsung dikendalikan oleh PLC, sehingga memperpanjang umur dan keandalan PLC itu sendiri.

Selain itu, relay juga memungkinkan implementasi logika pengaman, seperti interlock antar peralatan. Sebagai contoh, relay dapat diatur agar pompa hanya menyala apabila level air dalam drum berada pada kondisi yang aman, sehingga menghindari kerusakan akibat kekeringan. Dapat dilihat pada tabel 2.11 untuk spesifikasi lengkap relay sebagai berikut :

Tabel 2.11 Spesifikasi relay

Parameter	Keterangan
Seri	RPM Series (Plug-in Relay)

Tipe Relay	Elektromekanis
Jumlah kontak	2 C/O (DPDT) 12V, 24V, 48V, 110V,
Tegangan Coil	220V AC/DC Ya, kontak aktif (Warna
Indikator Mekanik	Hijau/Kuning)
Test Button	Ya, Uji Manual

2.2.12 Solenoid Valve

Solenoid valve adalah katup yang dioperasikan secara elektrik menggunakan solenoida. Ketika kumparan solenoida diberi arus listrik, medan magnet yang dihasilkan menarik atau mendorong aktuatur untuk membuka atau menutup jalur fluida.



Gambar 2.12 Solenoid Valve

(Sumber: <https://alitaipneumatic.en.made-in-china.com/product/KObQXSGYfgVq/China-1-2-Inch-AC110V-2-Port-2-Position-Air-Pneumatic-Water-Solenoid-Valve.html>)

Dalam sistem WTP, solenoid valve digunakan untuk mengatur aliran air ke dalam drum soda ash atau ke storage tank. PLC mengendalikan pembukaan dan penutupan solenoid valve berdasarkan kondisi level air atau kebutuhan proses. Misalnya, ketika level air drum rendah, PLC mengaktifkan solenoid valve untuk mengisi air secara otomatis.

Penggunaan solenoid valve memungkinkan pengendalian aliran air menjadi presisi dan otomatis, mengurangi intervensi manual dan mempercepat respon sistem terhadap perubahan kondisi proses. Dapat dilihat tabel 2.12 spesifikasi lengkap solenoid sebagai berikut :

Tabel 2.12 Spesifikasi solenoid valve

Parameter	Keterangan
Jenis	Solenoid Valve
Tegangan	220 AC
Diameter	1 Inch
Bahan	Kuningan (brass)
Tekanan	0,02 - 0,8 Mpa
Arah Aliran	Satu arah

2.2.13 Terminal Block

Terminal block adalah komponen listrik yang berfungsi untuk menyambungkan dua atau lebih kabel secara aman dan terorganisir dalam suatu sistem rangkaian. Komponen ini biasanya berbentuk segmen kecil dengan blok isolasi yang dilengkapi terminal penghubung di dalamnya, sehingga memudahkan penyambungan kabel tanpa perlu penyolderan. Terminal block sering digunakan dalam panel kontrol, distribusi daya, atau aplikasi otomasi industri untuk mengelola kabel dengan berbagai ukuran. Selain memungkinkan koneksi yang stabil, terminal block juga mempermudah distribusi daya atau sinyal ke berbagai titik dalam sistem. Dengan desainnya yang sederhana namun efektif, terminal block meningkatkan keamanan sistem listrik karena mampu menjaga isolasi antar kabel dan mengurangi risiko korsleting. Alat ini juga mempermudah proses instalasi, pemeliharaan, dan modifikasi sistem karena koneksinya dapat dibongkar-pasang dengan mudah. Terminal block yang digunakan ada 2 sebagai berikut :



Gambar 2.13 Terminal Block

(Sumber: <https://www.dwyeromega.com/en-us/10-2-mm-width-din-rail-feedthrough-terminal-block/p/XBUT10-Series>)

2.2.14 Selector Switch

Selector switch adalah perangkat kontrol manual yang memungkinkan operator untuk memilih mode operasi sistem, misalnya mode Manual, Off, atau Auto. Saklar ini biasanya dipasang di panel kontrol dan terhubung langsung ke input PLC untuk menentukan mode kerja yang diinginkan.



Gambar 2.14 Selector Switch

(Sumber: <http://se.com/id/id/product/XB5AD73/selector-switch-3-positions-22-mm-plastic/>)

Dalam aplikasi ini, selector switch digunakan untuk memilih mode pengoperasian pompa dosing dan sirkulasi, apakah akan dikendalikan secara otomatis oleh PLC berdasarkan sensor, atau secara manual oleh operator. Hal ini memberikan fleksibilitas tambahan untuk maintenance, testing, atau saat terjadi gangguan sistem.

Penggunaan selector switch membantu meningkatkan fleksibilitas dan keamanan operasi, serta memberikan operator kemampuan intervensi langsung terhadap proses apabila diperlukan.

2.2.15 Pompa Sirkulasi

Pompa sirkulasi merupakan salah satu komponen utama dalam sistem Water Treatment Plant (WTP) yang berfungsi untuk mengalirkan air secara kontinu dalam sistem, sehingga proses pemantauan, dan pengolahan dapat berlangsung secara optimal. Pompa sirkulasi bekerja dengan prinsip memindahkan fluida dari satu titik ke titik lain dalam sistem tertutup, menciptakan sirkulasi air secara berkesinambungan.

Tujuan utama dari penggunaan pompa ini adalah untuk menjaga kestabilan aliran air selama proses pengolahan berlangsung, baik saat proses pencampuran bahan kimia, pengendapan, maupun sirkulasi kembali ke tangki utama.



Gambar 2.15 Pompa Sirkulasi

(Sumber: <https://gearbox-motor.en.made-in-china.com/product/swvaTIBOwoYS/China-Gphq-Ybx3-80m2-2-1-1kw-IP55-IP65-IEC-Standard-Ybx3-Series-Flameproof-Dust-Explosion-Proof-Three-Phase-Asynchronous-Motor.html>)

Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.13, pompa sirkulasi digunakan untuk mensirkulasikan air di dalam storage boiler. Fungsi utama dari sirkulasi ini adalah untuk mencampur atau mengaduk kembali air agar nilai pH tetap stabil dan merata di seluruh bagian tangki. Proses ini dilakukan melalui pipa sirkulasi, di mana air disedot dari bagian bawah tangki dan didorong kembali ke bagian atas secara berulang hingga nilai pH mencapai titik yang telah ditentukan (set value).

Dengan demikian, pemilihan pompa sirkulasi yang sesuai dengan kebutuhan sistem sangat berpengaruh terhadap keberhasilan proses otomatisasi pengolahan air. Kinerja pompa yang handal akan mendukung kestabilan parameter air, efisiensi kerja dosing pump, serta keseluruhan efektivitas sistem *Water Treatment Plant* (WTP). Pada Tabel 2.11 memuat informasi mengenai parameter-parameter teknis dari alat yang digunakan, seperti daya, tegangan, arus, serta perlindungan lingkungan sebagai berikut :

Tabel 2.13 Spesifikasi pompa sirkulasi

Parameter	Spesifikasi
Model	YBX3-80M2-2
Daya	1.1 kW
Tegangan	380 V
Arus	2.43 A
Frekuensi	50 Hz
Kecepatan	2840 rpm
Faktor Daya ($\cos \phi$)	0.83

Efisiensi	82.7%
Kelas Perlindungan	IP65
Tipe Enklosur	Ex d IIB T4 Gb (motor tahan ledakan)
Standar	JB/T 12628-2016
Tanggal Produksi	Maret 2023
Pabrikan	Jiangsu Wannan Motor Co., Ltd

2.2.16 Boiler

Boiler merupakan sebuah bejana tertutup yang digunakan untuk memanaskan air hingga menghasilkan uap dengan memanfaatkan energi panas dari proses pembakaran bahan bakar. Proses pemanasan ini terjadi di dalam ruang bakar, di mana panas dari pembakaran ditransfer melalui permukaan pemanas ke air yang terdapat di dalam boiler. Uap yang dihasilkan selanjutnya dimanfaatkan dalam berbagai proses industri, seperti pemanasan bahan, sterilisasi, penggerak turbin, ataupun sebagai pemanas ruangan.



Gambar 2.16 Boiler
(Sumber: <https://maxithermboilers.co.id/>)

Dalam sistem pengolahan air, boiler berfungsi sebagai unit utama yang menyediakan air panas atau uap untuk mendukung berbagai proses operasional. Pada PT Timah Industri, boiler digunakan untuk memanaskan air

yang kemudian dimanfaatkan sebagai bahan baku sekaligus media pemanas reaktor di unit produksi Methyl Tin Stabilizer (MTS). Air hasil pemanasan tersebut selanjutnya dicampurkan dengan produk antara produk intermediate dan amonia, yang kemudian diolah dalam reaktor secara berkelanjutan. Dengan demikian, keberadaan boiler tidak hanya terbatas pada penyediaan media pemanas, tetapi juga memegang peran penting dalam menjaga kestabilan temperatur pada sistem tertutup serta menyediakan energi termal yang konsisten, yang sangat diperlukan dalam proses industri yang berlangsung terus-menerus.

Agar boiler dapat beroperasi dengan aman, efisien, dan andal, maka proses perancangan, fabrikasi, dan pengujiannya harus mengacu pada standar internasional yang telah ditetapkan. Salah satu standar yang paling umum digunakan secara global adalah ASME (American Society of Mechanical Engineers) Boiler and Pressure Vessel Code (BPVC), khususnya ASME Section I, yang secara khusus mengatur persyaratan teknis untuk power boilers atau boiler bertekanan tinggi. Standar ini mencakup berbagai aspek mulai dari desain mekanis, pemilihan material, prosedur pengelasan, pengujian hidrostatik, hingga prosedur inspeksi keselamatan, sehingga dapat memastikan bahwa boiler mampu beroperasi dengan baik dalam kondisi tekanan dan suhu tinggi. Oleh karena itu, penggunaan boiler yang sesuai dengan standar ASME tidak hanya bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dan kinerja sistem, tetapi juga menjadi langkah penting dalam menjamin keselamatan operasional dan keberlanjutan sistem otomasi industri secara keseluruhan. Dapat dilihat spesifikasi jenis boiler yang digunakan pada tabel 2.14 sebagai berikut :

Tabel 2.14 Spesifikasi Boiler

Parameter	Keterangan
Boiler Model	WBS 1.0-1.2L
Serial Number	FB391
Max. Continuous Rating	1000 Kg/hr
Max. Allowabler Working Pressure	1.2 kPa
Max. Working Temperature	192 C

Hydrostatic Test	1.8 kPa
Date Of Hydrostataic Test	JULY.21.2010
Heating Surface	32.92
The Designation Number	ASME SECT 1

2.2.17 RS485



Gambar 2.17 USB to RS485
(Sumber: <https://tinyurl.com/mwc7epbr>)

Pada gambar 2.17 merupakan usb to rs485 converter alat yang digunakan untuk menghubungkan perangkat komputer dengan perangkat industri yang menggunakan komunikasi RS-485, seperti PLC, sensor, dan alat ukur. Alat ini mengubah sinyal USB menjadi sinyal diferensial RS-485 sehingga memungkinkan komunikasi data secara andal pada jarak jauh dan lingkungan industri. Converter ini sering digunakan dalam sistem berbasis Modbus RTU, serta mendukung komunikasi half-duplex dengan banyak perangkat slave. Dapat dilihat pada tabel 2.15 spesifikasi usb to rs485 yang digunakan sebagai berikut :

Tabel 2.15 Spesifikasi RS485

Parameter	Keterangan
Antarmuka Input	USB 2.0 (Type A)
Antarmuka Output	RS-485
Kecepatan Baud rate	300 - 921600 Bps
Protokol yang Didukung	Modbus RTU, Half-Duplex RS-485
Jenis Konektor	Terminal sekrup
Jarak transmisi	Hingga 1.200 meter (twisted pair cable)

Pin	A+, B- , GND
Jumlah Slave id	1 - 247
Tegangan operasi	5V
Proteksi	Sekering pemulihan otomatis 200mA ESD Protection
