

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Perkembangan teknologi *monitoring* berbasis *Internet of Things* (IoT) saat ini semakin banyak dimanfaatkan dalam pengukuran kualitas air. Salah satu penelitian yang relevan dilakukan oleh Arifin et al (2025) yang mengembangkan sistem *monitoring* pH, *Total Dissolved Solids* (TDS), dan kekeruhan air pada tandon berbasis IoT. Sistem ini memanfaatkan mikrokontroler NodeMCU ESP8266 yang terhubung dengan sensor untuk mengukur parameter kualitas air, kemudian data dikirimkan secara *real-time* ke platform *monitoring*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja dengan baik dalam menampilkan data secara langsung dengan tingkat keakuratan yang cukup tinggi, serta memiliki latensi pengiriman data yang rendah. Selain itu, sistem juga memungkinkan pengguna untuk melakukan pemantauan dari jarak jauh melalui aplikasi berbasis IoT, sehingga lebih efisien dibandingkan metode konvensional (Arifin et al., 2025).

Sejalan dengan penelitian tersebut Hasmita, Saharuddin (2023) juga mengembangkan sistem *monitoring* kualitas air berbasis IoT dengan memanfaatkan sensor pH dan TDS yang terintegrasi dengan NodeMCU ESP8266. Sistem ini memungkinkan data hasil pengukuran dikirim dan dipantau secara *real-time* melalui aplikasi Blynk pada *smartphone*, sehingga pengguna dapat mengetahui kondisi kualitas air dari jarak jauh. Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat mampu bekerja dengan baik dalam mengukur parameter pH dan TDS pada berbagai sampel air, di mana sebagian besar sampel berada dalam kategori baik, sedangkan beberapa seperti air laut dan campuran cuka teridentifikasi tidak layak. Selain itu, seluruh komponen pada sistem dapat berfungsi sesuai dengan rancangan, sehingga alat dinilai layak digunakan sebagai sistem *monitoring* kualitas air berbasis IoT (Hasmita, Saharuddin, 2023).

Meskipun IoT memberikan kemudahan dalam *monitoring* jarak jauh, pada implementasi di bidang industri masih banyak penelitian yang menggunakan sistem berbasis PLC karena dinilai lebih stabil. Salah satunya adalah penelitian Saputra et al (2025) yang membahas sistem *monitoring* kualitas air menggunakan PLC

sebagai pengendali utama. Sistem ini memanfaatkan sensor pH untuk mengukur tingkat keasaman dan sensor kekeruhan (*turbidity*) untuk mengetahui tingkat kejernihan air, di mana data dari sensor diproses oleh PLC dan ditampilkan melalui HMI atau visualisasi WinCC. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja secara stabil dalam pemantauan kontinu serta memberikan hasil yang cukup akurat, sehingga lebih cocok digunakan pada lingkungan industri dibandingkan sistem berbasis mikrokontroler (Saputra et al., 2025).

Selanjutnya, penelitian oleh Ridwan et al (2023) juga menunjukkan penerapan PLC dan visualisasi WinCC pada proses koagulasi di instalasi pengolahan air bersih. Sistem ini menggunakan sensor pH sebagai parameter utama untuk mengontrol dosis bahan kimia (koagulan). Data sensor dibaca secara kontinu, kemudian diproses oleh PLC dan ditampilkan pada HMI/visualisasi WinCC dalam bentuk *real-time*. Sistem juga dilengkapi kontrol otomatis yang dapat menyesuaikan proses berdasarkan nilai pH, sehingga kualitas air tetap terjaga. Hasilnya menunjukkan peningkatan efisiensi *monitoring* dan kontrol dibandingkan metode manual (Ridwan et al., 2023).

Di sisi lain, penelitian berbasis IoT juga terus berkembang dengan menambahkan lebih banyak parameter pengukuran. Hal ini terlihat pada penelitian Pramartaningthy et al (2022) yang mengembangkan sistem *monitoring* kualitas air berbasis IoT dengan sensor pH, TDS, dan suhu. Data dari sensor diproses oleh mikrokontroler seperti ESP8266/ESP32, kemudian dikirim ke server atau cloud untuk ditampilkan secara *real-time*. Alur sistem dimulai dari pembacaan sensor hingga visualisasi data, sehingga pengguna dapat memantau kondisi air dari jarak jauh dengan lebih mudah (Pramartaningthyas et al., 2022)

Selain itu, penggunaan PLC tidak hanya terbatas pada *monitoring* kualitas air, tetapi juga pada sistem kontrol proses industri lainnya. Hal ini ditunjukkan pada penelitian Effendi (2013) yang membahas sistem pengontrolan suhu air menggunakan PLC. Sistem ini menggunakan sensor suhu sebagai *input*, kemudian PLC mengatur aktuator seperti pemanas agar suhu tetap stabil. *Monitoring* dilakukan secara *real-time*, dan hasilnya menunjukkan bahwa PLC mampu memberikan kontrol yang cepat dan stabil, sehingga cocok untuk aplikasi industri (Effendi, 2013).

Pengembangan sistem kontrol juga diterapkan pada proses pengolahan air menggunakan teknologi *reverse osmosis* (RO), seperti yang dilakukan oleh Armadani & Syahririni (2025). Sistem ini menggunakan sensor pH dan TDS sebagai parameter utama, di mana data sensor diproses oleh Arduino Uno dan digunakan sebagai *input* untuk *smart relay* dalam mengendalikan pompa dan *buzzer*. Sistem bekerja secara otomatis dengan mengevaluasi nilai parameter air, sehingga proses akan berhenti jika tidak memenuhi standar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem ini mampu meningkatkan efisiensi dan keandalan dalam pengolahan air (Armadani & Syahririni, 2025).

Terakhir, penelitian oleh Rahman et al (2022) membahas sistem *monitoring* dan pengendalian kualitas air dengan parameter pH dan kekeruhan. Sistem ini menggunakan setpoint tertentu sebagai acuan kelayakan air, di mana data dari sensor diproses oleh sistem kontrol untuk menentukan tindakan yang diperlukan. Alur kerja dimulai dari pembacaan sensor, evaluasi terhadap *setpoint*, hingga pemberian respon kontrol. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu menjaga kualitas air sesuai standar dan membuat proses *monitoring* menjadi lebih terkontrol dibandingkan metode manual (Rahman et al., 2022).

Berdasarkan penelitian terdahulu, monitoring parameter pH, turbidity, dan TDS telah banyak diterapkan menggunakan mikrokontroler maupun PLC. Beberapa penelitian juga telah mengintegrasikan PLC dengan HMI/WinCC untuk pemantauan proses. Namun, pada penelitian ini fokus diarahkan pada integrasi kontrol level tangki, urutan operasi flushing–filtration, monitoring tiga parameter kualitas air, alarm, trending, dan antarmuka operator dalam satu sistem berbasis PLC Siemens S7-1200 dan WinCC.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Kualitas Air

Kualitas air menjadi salah satu hal yang cukup krusial, terutama karena berkaitan langsung dengan kebutuhan sehari-hari, baik untuk konsumsi maupun keperluan lainnya. Secara umum, kualitas air dinilai dari beberapa parameter utama seperti kekeruhan (*turbidity*), derajat keasaman (pH), dan jumlah zat terlarut (*Total Dissolved Solids*/TDS). Ketiga parameter tersebut digunakan dalam penelitian ini sebagai indikator terbatas untuk memantau perubahan karakteristik fisik dan kimia

air selama proses pengolahan, dan tidak dimaksudkan sebagai satu-satunya dasar untuk menetapkan kelayakan air secara menyeluruh (Azwar Rahmatullah, Mierta Dewangga, Nurbia, 2025)

Mengacu pada peraturan Kementerian Kesehatan, (2023) Nomor 2 Tahun 2023 tentang Kesehatan Lingkungan, kualitas air tidak hanya dilihat dari satu sisi saja, tetapi harus memenuhi beberapa aspek sekaligus, yaitu fisik, kimia, biologi, dan juga radioaktif. Selain itu, air yang digunakan untuk kebutuhan higiene dan sanitasi harus berada dalam kondisi aman, tidak terkontaminasi, dan terlindungi dari sumber pencemar. Dalam peraturan tersebut juga dijelaskan bahwa proses pengolahan dan penyajian air harus memperhatikan prinsip higiene dan sanitasi, sehingga kualitas air tetap terjaga dan tidak menimbulkan risiko bagi kesehatan Berdasarkan peraturan (Kementerian Kesehatan, 2023).

Parameter yang digunakan sebagai acuan kualitas air untuk keperluan higiene dan sanitasi dalam penelitian ini meliputi pH, *turbidity*, dan *Total Dissolved Solids* (TDS), dengan batas maksimum yang ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Parameter Air untuk Keperluan Higiene dan Sanitasi

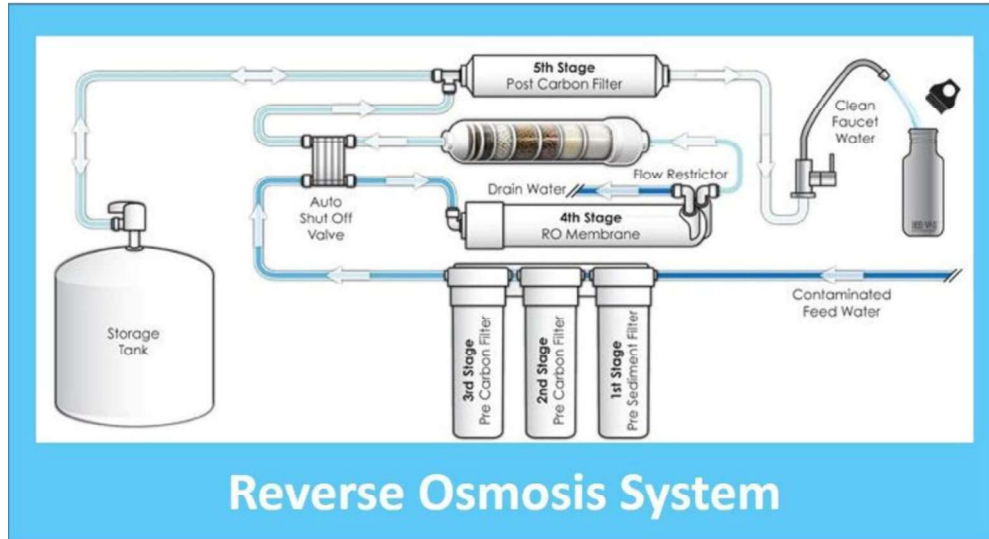
No	Jenis parameter	Kadar maksimum yang diperbolehkan	satuan
1	pH	6.5 – 8.5	-
2	<i>Turbidity</i>	<3	NTU
3	<i>Total Dissolve Solid</i>	<300	ppm

Kalau dilihat dari penerapannya di lapangan, kualitas air biasanya dibandingkan dengan standar tertentu untuk memastikan apakah masih memenuhi syarat atau tidak. Di sinilah pentingnya sistem *monitoring*, karena dengan adanya pemantauan secara *real-time*, perubahan nilai parameter seperti pH, *turbidity*, dan TDS bisa langsung diketahui. Hal ini menjadi sangat penting, terutama pada sistem pengolahan air seperti *reverse osmosis*, di mana perubahan kecil pada kualitas air bisa berpengaruh terhadap kinerja sistem secara keseluruhan.

2.2.2 Proses Pengolahan Air pada Sistem Reverse osmosis

Pada sistem *reverse osmosis*, proses pengolahan air dilakukan melalui beberapa tahapan penyaringan yang tersusun secara berurutan dan saling

terhubung. Setiap tahapan memiliki fungsi masing-masing dalam mengurangi kandungan pencemar pada air, seperti partikel padat, zat organik, maupun zat terlarut lainnya. Selain berfungsi sebagai proses penyaringan, beberapa tahap juga digunakan untuk memperbaiki kualitas air hasil akhir agar lebih jernih dan lebih baik digunakan.



Gambar 2. 1 Diagram Alir Sistem *Reverse osmosis*¹

Pada Gambar 2.1 di atas, menunjukkan diagram aliran proses pada sistem *reverse osmosis* dimulai dari air baku yang terlebih dahulu melewati tahap pra-filtrasi untuk menyaring kotoran dan partikel berukuran besar. Setelah itu, air dialirkan menuju membran *reverse osmosis* sebagai proses utama pemurnian air. Air hasil penyaringan membran *reverse osmosis* kemudian diteruskan ke filter *post carbon* untuk membantu mengurangi bau dan memperbaiki rasa air. Selanjutnya, air melewati filter bio alkaline yang berfungsi meningkatkan nilai pH serta menambahkan mineral tertentu ke dalam air hasil pengolahan. Setelah seluruh proses selesai, air hasil filtrasi disimpan pada tangki penampungan sebelum digunakan.

Berdasarkan urutan proses tersebut, tahapan pengolahan air pada sistem *reverse osmosis* yang digunakan dalam penelitian ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

¹ *Reverse Osmosis (RO) System - Cannon Water Technology*. (n.d.). Retrieved August 21, 2026, from <https://cannonwater.com/blog/discussion-on-reverse-osmosis-ro-system/>

1) Pra-filtrasi

Filtrasi awal merupakan tahap penyaringan pertama pada sistem *reverse osmosis*. Menggunakan pre-filter untuk memisahkan partikel pengotor di dalam air umpan, seperti pasir, lumpur, karat, partikulat, klorin, dan zat lain yang dapat menyebabkan *fouling* pada membran RO. Pada tahap ini, sediment filter digunakan untuk menyaring partikel padat, sedangkan karbon aktif berfungsi mengurangi kandungan klorin dan zat organik tertentu di dalam air. Tahap filtrasi awal sangat penting karena membran *reverse osmosis* memiliki ukuran pori yang sangat kecil dan sensitif terhadap kontaminan. Oleh karena itu, proses pre-filter diperlukan agar proses penyaringan pada membran RO dapat bekerja lebih optimal.

2) Membrane *reverse osmosis*

Membrane *reverse osmosis* merupakan bagian utama pada sistem pemurnian air karena proses penyaringan utama terjadi pada tahap ini. Membran RO menggunakan lapisan semipermeabel dengan ukuran pori yang sangat kecil, sehingga hanya molekul air yang dapat melewati membran, sedangkan kandungan seperti garam, logam berat, bakteri, dan zat terlarut lainnya akan tertahan dan dibuang melalui saluran *reject*.

Pada prosesnya, air dialirkan menggunakan tekanan dari pompa *booster* agar dapat melewati membran RO secara optimal. Tekanan tersebut diperlukan karena proses *reverse osmosis* bekerja dengan melawan tekanan osmotik alami sehingga pemisahan zat terlarut dapat berlangsung dengan baik. Membran ini memiliki ukuran pori sekitar 0,0001 mikron sehingga mampu menghasilkan air dengan tingkat kemurnian yang lebih tinggi dibandingkan proses filtrasi biasa.

3) *Post-carbon*

Setelah melewati membran *reverse osmosis*, air hasil penyaringan dialirkan menuju *post-carbon* sebagai tahap penyaringan lanjutan. Filter ini menggunakan karbon aktif untuk membantu mengurangi bau dan memperbaiki rasa air yang masih tersisa setelah proses RO. Selain itu, *post-carbon* juga membantu menyerap sisa klorin, senyawa organik, serta partikel halus yang masih terbawa pada air hasil filtrasi.

Post-carbon dikenal sebagai tahap *polishing* karena berfungsi menyempurnakan kualitas akhir air sebelum digunakan. Dengan adanya proses ini, air hasil pengolahan menjadi lebih jernih, memiliki rasa yang lebih baik, dan lebih nyaman digunakan.

4) Bio alkaline 5-in-1

Tahap akhir pada sistem reverse osmosis ini menggunakan filter Bio Alkaline 5-in-1 yang dipasang setelah post-carbon. Filter ini digunakan untuk memperbaiki kualitas air hasil RO sebelum digunakan. Air hasil penyaringan membran RO umumnya memiliki nilai pH yang cenderung rendah karena kandungan mineral di dalam air ikut tersaring selama proses pemurnian. Oleh sebab itu, bio alkaline digunakan untuk membantu menaikkan nilai pH agar kondisi air menjadi lebih baik.

Bio Alkaline 5-in-1 terdiri dari beberapa media mineral yang berada dalam satu cartridge filter, seperti mineral ball, alkaline ball, ceramic ball, maifan stone, dan activated carbon. Media tersebut berfungsi membantu menambahkan kembali mineral tertentu ke dalam air sekaligus memperbaiki karakteristik rasa air hasil pengolahan. Dengan adanya tahap ini, air hasil RO menjadi lebih nyaman digunakan dan memiliki rasa yang lebih baik dibandingkan air yang belum melalui proses bio alkaline.

Dalam penelitian ini, evaluasi perubahan kualitas air dilakukan dengan membandingkan nilai pH, turbidity, dan TDS sebelum dan sesudah melewati rangkaian pengolahan. Perubahan tersebut digunakan untuk menggambarkan respons sistem RO terhadap sampel air yang diuji, bukan untuk menentukan kualitas air secara menyeluruh.

2.2.3 PLC Siemens S7 1200

Programmable Logic Controller (PLC) dapat diartikan sebagai kontrol logika terprogram. PLC memiliki "otak" berupa mikroprosesor, digunakan pada otomatisasi proses industri seperti pengawasan dan pengontrolan mesin-mesin produksi. PLC memiliki perangkat masukan dan keluaran yang digunakan untuk berhubungan dengan perangkat luar seperti *push button*, sensor, *relay* dll. Bahasa pemrograman yang digunakan untuk mengoperasikan PLC berbeda dengan bahasa pemrograman biasa. Bahasa yang digunakan adalah *Ladder*, yang hanya berisi

input output. Disebut *Ladder*, karena bentuk tampilan bahasa pemrogramannya memang seperti tampilan tangga.



Gambar 2. 2 Programmable Logic Controller²

Dalam sistem ini, Gambar 2.2 PLC sebagai pengendali utama karena memiliki tingkat kestabilan dan keandalan yang lebih baik untuk sistem otomasi industri. PLC dirancang untuk bekerja secara terus-menerus dalam proses kontrol, sehingga lebih cocok digunakan pada sistem *monitoring reverse osmosis* yang membutuhkan pengoperasian secara *real-time* dan berkelanjutan. Selain itu, PLC juga lebih mudah diintegrasikan dengan perangkat industri lainnya seperti visualisasi WinCC, *relay*, dan sistem komunikasi jaringan.

Pada penelitian ini, PLC digunakan untuk menjalankan seluruh logika kontrol sistem, mulai dari pengolahan data, pengendalian pompa dan *solenoid valve*, pembacaan *level switch*, hingga pengaktifan alarm dan *interlock* sistem. Dengan penggunaan PLC sebagai pusat kendali, proses monitoring dan kontrol dapat berjalan lebih stabil, terstruktur, dan lebih aman untuk diterapkan pada sistem otomasi.

2.2.4 Module Analog Input PLC

Modul analog input merupakan modul tambahan pada PLC yang digunakan untuk membaca sinyal analog dari sensor atau perangkat instrumentasi. Berbeda dengan input digital yang hanya memiliki kondisi ON dan OFF, input analog mampu membaca perubahan nilai secara kontinu dalam bentuk tegangan atau arus.

² PLC S7-1200 6ES7211-1AE40-0XB0 - Siemens SiePortal. (n.d.). Retrieved August 21, 2026, from <https://sieportal.siemens.com/en-ww/products-services/detail/6ES7211-1AE40-0XB0?tree=CatalogTree#overview>



Gambar 2. 3 Module Analog PLC³

Pada penelitian ini digunakan modul analog *input* Siemens SM1231 yang terhubung dengan PLC Siemens S7-1200. Modul tersebut digunakan untuk membaca sinyal analog dari sensor pH, sensor TDS, dan sensor *turbidity* pada sistem *monitoring* kualitas air *reverse osmosis*. Ketiga sensor menghasilkan keluaran berupa tegangan analog yang nilainya berubah mengikuti kondisi air yang diukur. Karena keluaran sensor masih berupa sinyal analog, data tersebut belum dapat langsung diproses oleh CPU PLC. Oleh sebab itu, modul analog input digunakan sebagai penghubung antara sensor dan PLC. Modul ini bekerja dengan membaca besar tegangan dari sensor, kemudian mengubahnya menjadi data digital melalui proses *Analog to Digital Converter* (ADC) agar dapat diproses di dalam program PLC.

2.2.5 visualisasi WinCC

Supervisory Control and Data Acquisition (visualisasi WinCC) merupakan suatu sistem yang digunakan untuk memantau dan mengendalikan proses industri secara terpusat dan *real-time*. visualisasi WinCC memungkinkan pengumpulan data dari berbagai perangkat lapangan seperti sensor, aktuator, dan *Programmable Logic Controller* (PLC), kemudian menampilkannya dalam bentuk antarmuka visual yang mudah dipahami oleh operator. Dengan kemampuan komunikasi data yang terintegrasi, sistem visualisasi WinCC dapat memberikan informasi kondisi proses secara terus-menerus sehingga membantu dalam pengambilan keputusan yang cepat dan tepat. Selain itu, visualisasi WinCC juga mendukung fungsi

³ *Analog Input SM 1231, 8AI 6ES7231-4HF32-0XB0 - Siemens SiePortal*. (n.d.). Retrieved August 21, 2026, from <https://sieportal.siemens.com/en-ww/products-services/detail/6ES7231-4HF32-0XB0?tree=CatalogTree>

pencatatan data historis (data logging) yang sangat berguna untuk analisis performa sistem serta evaluasi proses produksi.

Melalui sistem visualisasi WinCC, operator dapat memantau dan mengontrol perangkat atau proses industri dari jarak jauh tanpa harus berada langsung di lokasi peralatan. Hal ini memberikan kemudahan dalam pengoperasian serta meningkatkan efisiensi dan keselamatan kerja, terutama pada sistem yang memiliki risiko tinggi atau tersebar di area yang luas. visualisasi WinCC juga dilengkapi dengan fitur alarm dan notifikasi yang mampu memberikan peringatan dini apabila terjadi gangguan atau kondisi abnormal pada sistem. Dengan demikian, penggunaan visualisasi WinCC tidak hanya meningkatkan keandalan sistem, tetapi juga meminimalkan kesalahan manusia (*human error*) serta mendukung otomatisasi proses industri yang lebih modern dan terintegrasi.

2.2.6 Kontrol Level ON/OFF dan Interlock

Kontrol ON/OFF merupakan metode pengendalian yang bekerja dengan mengaktifkan atau menonaktifkan aktuator berdasarkan kondisi variabel yang dikendalikan terhadap batas yang telah ditentukan. Pada sistem kontrol level, batas tersebut dapat berupa kondisi *low* dan *high* pada tangki. Ketika level berada pada kondisi *low*, controller memberikan perintah untuk mengaktifkan pompa. Sebaliknya, ketika level mencapai kondisi *high*, pompa dimatikan.

Pada sistem *reverse osmosis* ini, kontrol level digunakan untuk mengatur pengoperasian pompa berdasarkan kondisi level air pada tangki. *Level switch* digunakan sebagai pemberi umpan balik kepada PLC untuk mengetahui kondisi level air. Sinyal tersebut kemudian diproses oleh PLC untuk menentukan kondisi pompa sesuai dengan logika kontrol yang telah dibuat. Prinsip ini sesuai dengan rancangan sistem yang menggunakan kondisi *high* dan *low* sebagai batas pengendalian level air.

Interlock merupakan logika pengaman yang digunakan untuk mencegah suatu aktuator bekerja ketika kondisi tertentu belum terpenuhi atau terdapat kondisi yang tidak diperbolehkan. Pada sistem *reverse osmosis*, *interlock* digunakan untuk memastikan pompa dan valve hanya dapat bekerja ketika kondisi operasi yang diperlukan telah terpenuhi.

Penerapan *interlock* pada program PLC digunakan sebagai salah satu kondisi dalam pengoperasian pompa. Dengan adanya *interlock*, perintah untuk menjalankan pompa dapat dibatasi berdasarkan kondisi level, mode operasi, status gangguan, dan kondisi proses lainnya

2.2.7 Trending

Trending merupakan fitur pada sistem monitoring yang digunakan untuk menampilkan perubahan nilai suatu parameter terhadap waktu dalam bentuk grafik. Fitur ini memungkinkan operator mengamati pola perubahan parameter selama proses berlangsung sehingga kondisi sistem dapat dipantau dengan lebih mudah.

Pada sistem *Reverse Osmosis* yang dirancang, fitur *trending* digunakan untuk menampilkan perubahan nilai pH, turbidity, dan Total Dissolved Solids (TDS) terhadap waktu melalui visualisasi WinCC. Data parameter yang telah diproses oleh PLC ditampilkan dalam bentuk grafik sehingga operator dapat mengamati perubahan kondisi kualitas air selama proses pengolahan.

Penggunaan *trending* pada penelitian ini difokuskan pada visualisasi perubahan parameter secara real-time. Fitur tersebut digunakan untuk membantu pengamatan terhadap kondisi pH, turbidity, dan TDS selama proses berlangsung dan tidak digunakan sebagai bagian dari pengendalian aktuator.

2.2.8 Sensor Turbidity

Sensor *Turbidity* merupakan sensor yang digunakan untuk mengukur tingkat kekeruhan air sebagai salah satu parameter penting dalam menentukan kualitas air. Kekeruhan terjadi akibat adanya partikel tersuspensi seperti lumpur, bahan organik, dan mikroorganisme yang menyebabkan air menjadi tidak jernih.

Secara teknis, sensor ini bekerja berdasarkan prinsip optik dengan memanfaatkan sumber cahaya (LED atau inframerah) dan fotodetektor, di mana cahaya yang dipancarkan ke dalam air akan mengalami hamburan (*scattering*) oleh partikel-partikel di dalamnya, sehingga intensitas cahaya yang diterima oleh fotodetektor akan berubah sesuai tingkat kekeruhan air. Sehingga Semakin besar intensitas cahaya yang diterima, semakin tinggi nilai kekeruhan air dalam satuan *Nephelometric Turbidity Unit* (NTU). Dalam implementasinya pada sistem berbasis mikrokontroler, sensor menghasilkan sinyal analog berupa tegangan yang merepresentasikan kondisi kekeruhan air secara *real-time*



Gambar 2. 4 Sensor Turbidity⁴

Berikut spesifikasi dari sensor turbidity:

Tegangan	: 5V DC
Output analog	: 0 – 4.5V
Output digital	: high/low
Arus operasi	: 40mA (MAX)

Dalam penggunaannya, sensor pada Gambar 2.4 keluaran sensor perlu dikonversi menjadi nilai kekeruhan (NTU) melalui rumus persamaan berikut:

$$Turbidity (NTU) = (IW \times 100)/27648 \quad 2-1$$

Di mana,

NTU : Nilai kekeruhan air (Nephelometric Turbidity Unit)

IW : Nilai analog yang dibaca PLC

100 : Nilai maksimum sensor turbidity

27648 : Nilai maksimum raw analog

Persamaan rumus tersebut digunakan untuk mengubah nilai analog (*raw*) yang dibaca PLC menjadi nilai kekeruhan dalam satuan NTU. Nilai IW yang terbaca PLC masih berupa data *raw* hasil konversi analog ke digital, sehingga belum menunjukkan nilai kekeruhan dalam satuan NTU. Oleh karena itu, dilakukan penskalaan secara linear dari rentang raw analog PLC 0–27648 ke rentang 0–100 NTU sesuai rentang yang digunakan dalam sistem.

⁴ *Turbidity Sensor*. (n.d.). Retrieved August 21, 2026, from <https://www.voltaat.com/products/gravity-analog-turbidity-sensor-for-arduino>

Nilai IW yang terbaca akan dikonversi secara linear menggunakan persamaan tersebut. Melalui proses perhitungan ini, setiap perubahan tegangan keluaran sensor akan menghasilkan perubahan nilai NTU yang sesuai dengan kondisi aktual air. Semakin besar nilai IW yang dibaca PLC, maka nilai kekeruhan air yang dihasilkan juga akan semakin tinggi. Hasil perhitungan tersebut kemudian digunakan sebagai parameter monitoring kualitas air pada sistem *reverse osmosis*.

Nilai IW yang terbaca akan dikonversi secara linear menggunakan persamaan tersebut. Melalui proses perhitungan ini, perubahan nilai analog akan menghasilkan nilai NTU sesuai hubungan penskalaan yang ditetapkan. Hasil konversi tersebut kemudian digunakan sebagai parameter monitoring kualitas air pada sistem *reverse osmosis*.

2.2.9 Sensor pH

Sensor pH meter adalah sebuah sensor yang digunakan untuk mengukur tingkat pH/ kadar keasaman yang terdapat pada air, pH meter memiliki prinsip kerja di mana pH meter akan mengukur banyaknya elektron yang terdapat pada sampel larutan yang diukur, semakin banyak elektron yang terdapat pada larutan maka semakin bernilai asam larutan tersebut. Apabila nilai pH yang ditampilkan bernilai <7 maka larutan tersebut bersifat asam, sedangkan apabila larutan tersebut bernilai >7 maka larutan tersebut bernilai basa (Fauzi Akbar , Tati Erlina, 2021).



Gambar 2. 5 Sensor pH⁵

Berikut spesifikasi dari sensor pH 4502c:

Tegangan kerja : 5V DC

⁵ PH Sensor. (n.d.). Retrieved August 21, 2026, from <https://digiwarestore.com/id/sensor-other/ph-sensor-kit-e-201c-blue-296479.html>

Output analog : 0 – 5V
Akurasi : ± 0.1 pH
Arus operasi : 5-10 mA

Dalam penggunaannya, sensor pada Gambar 2.5 menghasilkan keluaran berupa sinyal analog yang nilainya berubah mengikuti tingkat keasaman air yang diukur. Agar sinyal keluaran tersebut dapat dibaca sebagai nilai pH, maka diperlukan persamaan rumus berikut:

$$\text{pH} = (\text{IW} \times 14) / 27648 \quad 2-2$$

Di mana,

pH : Nilai derajat keasaman air
IW : Nilai analog yang dibaca PLC
14 : Nilai maksimum sensor pH
27648 : Nilai maksimum raw analog

Persamaan tersebut digunakan untuk mengubah nilai analog yang dibaca PLC menjadi nilai pH air yang sebenarnya. Nilai IW yang masuk ke PLC masih berupa raw data hasil konversi analog ke digital, sehingga belum dapat langsung menunjukkan kondisi pH air yang diukur. Oleh karena itu, diperlukan proses scaling agar data pembacaan sensor dapat disesuaikan dengan *range* pengukuran sensor pH.

Pada proses ini, nilai IW akan dikonversi secara linear menggunakan persamaan penskalaan awal yang telah ditentukan. Semakin besar nilai analog yang terbaca PLC, maka nilai pH yang dihasilkan juga akan semakin tinggi. Hasil perhitungan tersebut kemudian digunakan sebagai parameter *monitoring* kualitas air pada sistem *reverse osmosis* sehingga kondisi pH air dapat dipantau secara *real-time* melalui PLC dan visualisasi WinCC.

2.2.10 Sensor TDS

Sensor *Total Dissolved Solids* (TDS) merupakan alat yang digunakan untuk mengetahui jumlah zat padat terlarut dalam air, yang biasanya dinyatakan dalam satuan ppm (*parts per million*). Nilai ini sering dipakai sebagai salah satu indikator untuk melihat kualitas air, karena semakin tinggi nilai TDS, maka semakin banyak kandungan zat seperti mineral, garam, atau logam yang terlarut di dalamnya.

Prinsip kerja sensor TDS sendiri berkaitan dengan kemampuan air dalam menghantarkan arus listrik. Air yang mengandung banyak ion terlarut akan lebih mudah menghantarkan listrik, sehingga nilai yang terbaca oleh sensor juga akan meningkat. Sensor TDS juga dapat digunakan sebagai acuan dalam menentukan kondisi kualitas air secara langsung (Reforma et al., 2022).



Gambar 2. 6 Sensor TDS⁶

Berikut spesifikasi dari sensor TDS:

Tegangan kerja	: 3.3 – 5.5V DC
Output analog	: 0 – 2.3V
Arus operasi	: 3 – 6 mA
Akurasi	: $\pm 10\%$

Dalam penggunaannya, Gambar 2.6 sensor TDS tidak secara langsung menghasilkan nilai dalam satuan ppm, melainkan berupa sinyal analog dalam bentuk tegangan atau nilai ADC. Oleh karena itu, diperlukan proses konversi agar nilai tersebut dapat dibaca sebagai TDS, maka diperlukan persamaan rumus berikut:

$$\text{TDS (ppm)} = (\text{IW} \times 1000) / 27648 \quad 2-3$$

Di mana,

TDS : Nilai Total Dissolved Solid (ppm)

IW : Nilai analog yang dibaca PLC

1000 : Nilai maksimum range sensor TDS

27648 : Nilai maksimum raw analog

Persamaan tersebut digunakan untuk mengubah nilai analog yang dibaca PLC menjadi nilai TDS air dalam satuan ppm (*part per million*). Nilai IW yang diterima

⁶ *TDS Sensor*. (n.d.). Retrieved August 21, 2026, from <https://shopee.co.id/TDS-Conductivity-Quality-Meter-Sensor-V1.0-Module-IOT-Arduino-i.1179656900.28304674951>

PLC masih berupa raw data hasil konversi analog ke digital, sehingga belum dapat langsung menunjukkan jumlah zat terlarut yang sebenarnya pada air yang diukur. Oleh karena itu, diperlukan proses scaling agar hasil pembacaan sensor dapat disesuaikan dengan range pengukuran sensor TDS.

Pada proses ini, nilai IW akan dikonversi secara linear menggunakan persamaan penskalaan awal yang telah ditentukan. Semakin besar nilai analog yang dibaca PLC, maka nilai TDS yang dihasilkan juga akan semakin tinggi. Hasil perhitungan tersebut kemudian digunakan sebagai parameter monitoring kualitas air pada sistem *reverse osmosis* sehingga kondisi kualitas air dapat dipantau secara realtime melalui PLC dan visualisasi WinCC.

2.2.11 *Sensor Level Switch*

Sensor *level switch* merupakan salah satu komponen yang digunakan untuk mengetahui apakah permukaan cairan di dalam suatu wadah atau tangki sudah mencapai titik tertentu atau belum. Berbeda dengan sensor level yang mampu membaca ketinggian secara terus-menerus, *Level switch* hanya bekerja pada kondisi tertentu saja, yaitu memberikan sinyal saat cairan menyentuh atau tidak menyentuh batas yang telah ditentukan.



Gambar 2. 7 Level switch⁷

Berikut spesifikasi dari sensor Level switch:

Tegangan kerja	: 220 VDC
Output Digital	: on/off, high/low
Arus operasi	: $\pm 10 - 50$ mA
Akurasi	: $\pm 1-5\%$

⁷ *Sensor Water Air Level*. (n.d.). Retrieved August 21, 2026, from <https://shopee.co.id/PP-Sensor-Water-Air-Level-52mm-Switch-Float-i.272713392.26064876727>

Pada Gambar 2.7 di atas dalam penerapannya, *level switch* memiliki prinsip kerja yang sederhana. Di mana dengan dua kondisi, yaitu aktif (ON) dan tidak aktif (OFF), sensor ini umumnya digunakan sebagai penanda batas. Misalnya untuk mengetahui apakah air sudah mencapai batas maksimum atau justru sudah berada di bawah batas minimum. Dengan karakteristik tersebut, *level switch* lebih sering dimanfaatkan sebagai sistem pengaman atau kontrol sederhana dalam pengoperasian tangki atau penampungan cairan.

2.2.12 *Power Supply*

Power supply merupakan perangkat elektronika yang berfungsi sebagai penyedia dan pengatur energi listrik untuk mensuplai kebutuhan daya pada suatu sistem. Komponen ini berperan penting dalam memastikan bahwa setiap perangkat menerima tegangan dan arus yang sesuai dengan spesifikasi kerjanya. Pada umumnya, sumber listrik yang tersedia berasal dari jaringan listrik PLN dalam bentuk arus bolak-balik (AC), sehingga diperlukan *Power supply* untuk mengubahnya menjadi arus searah (DC) yang stabil dan dapat digunakan oleh rangkaian elektronika.



Gambar 2. 8 Power Supply⁸

Dalam penerapan Gambar 2.8 *Power supply* memiliki peranan penting dalam menjaga kestabilan dan keandalan sistem. Kegunaan utama *Power supply* tidak hanya sebagai penyedia energi, tetapi juga sebagai pelindung perangkat dari fluktuasi tegangan yang dapat menyebabkan gangguan atau kerusakan. Dengan adanya suplai daya yang stabil, kinerja sistem dapat berjalan secara optimal dan

⁸ *switching power supply*. (n.d.). Retrieved August 21, 2026, from <https://www.ebay.com/itm/155130390360>

konsisten. Oleh karena itu, pemilihan *Power supply* yang sesuai dengan kebutuhan daya dan karakteristik sistem menjadi faktor penting dalam perancangan suatu sistem elektronika maupun otomasi.

2.2.13 *Relay*

Relay merupakan komponen elektromekanis yang berfungsi sebagai sakelar (*switch*) yang dikendalikan oleh sinyal listrik. Perangkat ini memungkinkan suatu rangkaian dengan tegangan rendah untuk mengendalikan rangkaian lain yang memiliki tegangan atau arus lebih tinggi. Secara umum, *relay* terdiri dari beberapa bagian utama, yaitu kumparan (*coil*), inti besi (*core*), armature, serta kontak sakelar (NO/*Normally Open* dan NC/*Normally Closed*). Ketika kumparan dialiri arus listrik, akan timbul medan magnet yang menarik armature sehingga menyebabkan perubahan posisi kontak.



Gambar 2. 9 Relay⁹

Prinsip kerja Gambar 2.9 *relay* didasarkan pada induksi elektromagnetik, di mana arus listrik yang mengalir pada kumparan akan menghasilkan gaya magnet yang mampu menggerakkan kontak mekanis. Pada kondisi normal (tanpa arus), kontak *relay* berada pada posisi awalnya, yaitu NO dalam keadaan terbuka dan NC dalam keadaan tertutup. Ketika kumparan diberi arus, kontak akan berpindah posisi, sehingga NO menjadi tertutup dan NC menjadi terbuka. Mekanisme ini memungkinkan *relay* digunakan sebagai penghubung atau pemutus arus pada rangkaian lain secara tidak langsung.

⁹ RXM4GB2P7 - *Miniature Plug-in relay*. (n.d.). Retrieved August 21, 2026, from <https://www.se.com/id/id/product/RXM4GB2P7/miniature-plugin-relay-harmony-rxm-4-c-o-230-v-ac-3-a-with-led/>

2.2.14 *Solenoid Valve*

Solenoid valve merupakan komponen aktuator elektromekanik yang berfungsi untuk mengatur aliran fluida secara otomatis berdasarkan sinyal listrik. Prinsip kerjanya memanfaatkan medan magnet yang dihasilkan oleh kumparan (*coil*) ketika dialiri arus listrik, sehingga menggerakkan plunger untuk membuka atau menutup jalur aliran fluida. Mekanisme ini memungkinkan pengendalian aliran air secara cepat, presisi, dan dapat diintegrasikan dengan sistem kontrol seperti PLC atau mikrokontroler.



Gambar 2. 10 Solenoid Valve¹⁰

Dalam sistem *reverse osmosis* (RO), Gambar 2.10 *solenoid valve* umumnya digunakan sebagai katup *inlet* (*feed water*) dan katup *reject* (pembuangan). Pada bagian *inlet*, *solenoid valve* berfungsi sebagai katup otomatis yang akan membuka saat sistem aktif dan menutup saat sistem berhenti, sehingga mencegah aliran air masuk secara terus-menerus. Hal ini penting untuk menjaga efisiensi sistem dan mencegah pemborosan air. Selain itu, pada bagian *reject*, *valve* digunakan untuk mengatur pembuangan air hasil penyaringan yang mengandung konsentrasi kontaminan tinggi.

2.2.15 *Push button*

Push button merupakan komponen *input* yang digunakan untuk memberikan perintah secara langsung oleh operator pada sistem kontrol. Penggunaannya cukup sederhana, yaitu dengan menekan tombol sehingga terjadi perubahan kondisi pada

¹⁰ *Solenoid Valve*. (n.d.). Retrieved August 21, 2026, from <https://www.tokopedia.com/daelectronics/solenoid-valve-12v-3-4-water-electric-kran-keran-air-elektrik>

rangkaian listrik. Komponen ini sering dijumpai pada panel kontrol untuk fungsi-fungsi dasar seperti menjalankan, menghentikan, atau mengatur proses tertentu.



Gambar 2. 11 Push button¹¹

Pada Gambar 2.11 di atas merupakan bentukan dari *push button*. Secara cara kerja, *push button* termasuk jenis saklar sesaat (*momentary switch*). Artinya, perubahan kondisi hanya terjadi ketika tombol ditekan, dan akan kembali seperti semula saat dilepas. Berdasarkan jenis kontakannya, *push button* dibedakan menjadi *Normally Open* (NO) dan *Normally Closed* (NC). Pada kondisi NO, rangkaian awalnya terbuka dan akan tertutup saat tombol ditekan. Sedangkan pada kondisi NC, rangkaian awalnya tertutup dan akan terbuka saat tombol ditekan.

Pada sistem yang dirancang, *push button* dimanfaatkan sebagai tombol reset alarm. Saat terjadi kondisi gangguan yang memicu alarm, operator dapat menekan tombol ini setelah melakukan pengecekan pada sistem. Sinyal dari *push button* kemudian dibaca oleh PLC sebagai perintah untuk menghapus status alarm yang aktif. Setelah itu, kondisi sistem kembali normal dan tampilan pada visualisasi WinCC juga akan menyesuaikan secara otomatis, sehingga operator dapat melanjutkan pengoperasian dengan aman.

2.2.16 Sensor High Pressure Switch

High Pressure Switch (HPS) merupakan komponen yang digunakan untuk mendeteksi kondisi tekanan tinggi pada sistem *reverse osmosis*. Komponen ini biasanya dipasang pada sisi keluaran atau jalur produk setelah proses filtrasi, terutama pada sistem RO yang menggunakan tangki penyimpanan. Ketika tekanan pada sisi keluaran mencapai nilai tertentu, *High Pressure Switch* akan memberikan

¹¹ *Push Button Switch*. (n.d.). Retrieved August 21, 2026, from <https://www.edukasi elektronik.com/2023/05/penjelasan-tentang-push-button-switch.html>

sinyal untuk menghentikan pompa booster karena tekanan tersebut menunjukkan bahwa tangki produk telah terisi atau aliran air sudah tertahan.



Gambar 2. 12 Sensor High pressure¹²

Apabila tekanan kembali turun akibat air pada tangki digunakan, *High Pressure Switch* akan kembali ke kondisi awal sehingga pompa dapat bekerja kembali. Penggunaan HPS juga membantu mencegah tekanan berlebih pada membran, selang, fitting, dan komponen lainnya.

2.2.17 *Sensor Low Pressure Switch*

Low Pressure Switch (LPS) merupakan komponen pengaman yang digunakan untuk mendeteksi tekanan air pada sisi masuk sistem *reverse osmosis*. Komponen ini biasanya dipasang pada jalur sebelum pompa *booster*. Apabila tekanan air masuk berada di bawah batas yang telah ditentukan, *Low Pressure Switch* akan memberikan sinyal untuk menghentikan kerja pompa *booster*. Hal ini dilakukan untuk mencegah pompa bekerja tanpa suplai air yang cukup atau mengalami kondisi *dry running*.



Gambar 2. 13 Sensor Low pressure¹³

¹² *High Pressure Switch*. (n.d.). Retrieved August 21, 2026, from <https://my.daikinnortheast.com/product/high-pressure-switch/01tRn000006XF4BIAW>

¹³ *Low Pressure Switch*. (n.d.). Retrieved August 21, 2026, from <https://www.lazada.co.id/products/low-pressure-switch-lps-ro-i4645742509.html>

Ketika tekanan air kembali mencukupi, kontak pada *Low Pressure Switch* akan berubah sehingga sistem dapat mengaktifkan kembali pompa sesuai dengan logika kontrol yang digunakan. Dengan demikian, LPS berfungsi sebagai proteksi terhadap kondisi tekanan rendah sekaligus memastikan pompa bekerja ketika suplai air tersedia.

2.2.18 *TIA Portal*

TIA Portal (*Totally Integrated Automation Portal*) merupakan perangkat lunak yang dikembangkan oleh Siemens untuk mendukung proses perancangan, pemrograman, serta pengoperasian sistem otomasi industri secara terintegrasi. Software ini menyediakan lingkungan kerja terpadu yang memungkinkan pengguna untuk mengkonfigurasi berbagai perangkat otomasi seperti *Programmable Logic Controller* (PLC), *Human Machine Interface* (HMI), serta sistem jaringan industri dalam satu platform. Dengan konsep integrasi tersebut, TIA Portal mampu meningkatkan efisiensi dalam proses pengembangan sistem serta mempermudah proses pemeliharaan dan troubleshooting.

Dalam penerapannya, TIA Portal banyak digunakan dalam sistem otomasi karena kemampuannya dalam mengintegrasikan berbagai komponen secara efisien. Software ini memungkinkan komunikasi data antara PLC, sensor, aktuator, dan visualisasi WinCC berjalan secara sinkron, sehingga proses pengendalian dapat dilakukan secara terpusat. Dengan adanya fitur diagnostik dan visualisasi, operator dapat dengan mudah memantau kondisi sistem serta melakukan pengendalian sesuai kebutuhan. Oleh karena itu, penggunaan TIA Portal menjadi salah satu solusi yang efektif dalam mendukung sistem otomasi yang modern, terstruktur, dan mudah dikembangkan.