

Penerapan Sistem *Programmable Logic Controller* (PLC) untuk Monitoring Kualitas Air Limbah Laboratorium Kimia Hasil Pengolahan

Deny Saputra^{1*}, Muhammad Yusuf², Adawiah Adawiah³, Khoerunissa Novianti Rosalina⁴

^{1,2,3}Pusat Laboratorium Terpadu, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Syarif Hidayatullah Jakarta
Jl. Ir. H. Juanda No.95, Ciputat, Tangerang Selatan

⁴Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia
deny.saputra@uinjkt.ac.id

*Corresponding author

Submitted Date: February 8th, 2025

Revised Date: March 17th, 2025

Reviewed Date: March 1st, 2025

Accepted Date: March 24th, 2025

Abstract

Chemical laboratory wastewater contains hazardous compounds such as carcinogenic, toxic, and difficult-to-degrade substances, which can have a negative impact on the environment and human health. Therefore, the wastewater needs to be treated first before being discharged into the environment through the Waste Water Treatment Plant (WWTP) system. This research aims to develop and evaluate a Programmable Logic Controller (PLC)-based automatic wastewater quality monitoring system, focusing on two main parameters, namely pH value and turbidity. The system utilizes a pH sensor (SKU: SEN0161) and a turbidity sensor (SEN0189), whose measurement results are displayed in real-time through a Human Machine Interface (HMI). The main contribution of this research is the implementation of a PLC-based automatic monitoring system integrated with environmental sensors and HMI, which has been proven to replace manual laboratory testing more efficiently. The test results showed that the pH value of the treated wastewater was 6.00, in accordance with the quality standards of Permen LHK No. 68 of 2016 (range 6-9). The turbidity value was recorded at 27 NTU, close to the threshold set by Permenkes No. 32 Year 2017, which is a maximum of 25 NTU. Although the turbidity result slightly exceeds the threshold, the system still provides accurate and fast detection. A comparison with laboratory results showed that the PLC-based system provided results that were not significantly different quantitatively but more efficient in terms of response time and continuous monitoring. The system has the potential to be widely applied in laboratory wastewater management, which requires continuous and automated monitoring.

Keywords: pH, Programmable Logic Controller, turbidity, wastewater

Abstrak

Air limbah laboratorium kimia mengandung senyawa berbahaya seperti zat karsinogenik, toksik, dan sulit terdegradasi, yang dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. Oleh karena itu, air limbah tersebut perlu diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan melalui sistem Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan mengevaluasi sistem pemantauan kualitas air limbah secara otomatis berbasis Programmable Logic Controller (PLC), dengan fokus pada dua parameter utama, yaitu nilai pH dan turbidity. Sistem ini memanfaatkan sensor pH (SKU: SEN0161) dan sensor turbidity (SEN0189), yang hasil pengukurannya ditampilkan secara real-time melalui Human Machine Interface (HMI). Kontribusi utama dari penelitian ini adalah implementasi sistem monitoring otomatis berbasis PLC yang terintegrasi dengan sensor lingkungan dan HMI, yang terbukti mampu menggantikan pengujian manual laboratorium secara lebih efisien. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai pH air limbah hasil pengolahan adalah 6,00, sesuai dengan baku mutu Permen LHK No. 68 Tahun 2016 (rentang 6–9). Nilai turbidity tercatat sebesar 27 NTU, mendekati ambang batas yang ditetapkan oleh Permenkes No. 32 Tahun 2017, yaitu maksimum 25 NTU. Meskipun hasil turbidity sedikit melebihi ambang batas, sistem ini tetap memberikan deteksi yang akurat dan cepat. Perbandingan dengan hasil laboratorium menunjukkan bahwa sistem berbasis PLC memberikan hasil yang tidak berbeda signifikan secara kuantitatif, namun lebih efisien dalam hal waktu respons dan



pemantauan berkelanjutan. Sistem ini memiliki potensi untuk diterapkan secara luas dalam pengelolaan air limbah laboratorium yang membutuhkan monitoring berkelanjutan dan otomatis.

Kata kunci: Air limbah, pH, Programmable Logic Controller, turbidity

1. Pendahuluan

Laboratorium kimia merupakan tempat kegiatan riset ilmiah, eksperimen, maupun pengujian ilmiah. Dalam aktivitasnya, laboratorium kimia menjadi salah satu penyumbang utama penghasil limbah bahan kimia berbahaya. Jenis bahan kimia utama yang umum digunakan antara lain bahan kimia bersifat asam, basa, serta bahan kimia organik dan anorganik yang dapat merusak lingkungan apabila dibuang tanpa pengolahan terlebih dahulu. Limbah laboratorium tersebut apabila dibuang ke sistem perairan dapat menurunkan kualitas air, meningkatkan nilai BOD, dan COD, mengganggu proses fotosintesis biota air, memicu terjadinya bioakumulasi, serta peningkatan toksisitas, mutagenitas, dan karsinogenitas biota dalam air (Lellis, et al., 2009). Selain itu, polutan organik yang terkandung dalam air limbah seperti zat warna memiliki kestabilan yang baik di dalam air dan bersifat toksik atau karsinogenik yang apabila masuk ke dalam tubuh manusia melalui sistem rantai makanan secara tidak langsung dapat menimbulkan efek berupa mual, muntah, hiperpireksia, anemia hemolitik, hipotensi, dan kebiruan pada kulit (Coste & Peterson, 2014; Moorthy et al., 2020).

Air limbah laboratorium biasanya berasal dari sisa-sisa pengujian dan proses pencucian. Sisa pengujian yang terbuang bersama air limbah lainnya mengandung bahan kimia yang digunakan dalam pengujian. Bahan kimia ini kemudian terakumulasi dalam wadah atau kolam pembuangan. Karena mengandung bahan pencemar yang bersifat karsinogenik, beracun dan sulit untuk terdegradasi, air limbah harus diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan. Air limbah yang telah diolah harus dipantau secara berkala untuk mengetahui kualitas air hasil pengolahan sehingga layak dialirkan ke lingkungan. Aspek yang dipantau pada keberhasilan sistem pengolahan limbah umumnya meliputi nilai pH dan turbidity (kekeruhan).

Metode yang sering digunakan untuk memantau kualitas air limbah setelah pengolahan yaitu dengan menganalisis kualitas air hasil pengolahan laboratorium pengujian. Akan tetapi, teknik ini selain membutuhkan waktu yang lama karena harus dilakukan secara berkala juga memerlukan biaya tambahan untuk analisis pengujiannya.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, Programmable Logic Controller (PLC) dapat diterapkan untuk mengendalikan sistem pemantauan kualitas air limbah setelah proses pengolahan. Programmable Logic Controller (PLC) adalah perangkat yang dirancang untuk menggantikan rangkaian relai mekanis yang digunakan dalam sistem pengendalian (Susanto & Sunomo, 2017). PLC sering dimanfaatkan sebagai alat pengendali di sektor industri (Langmann & Stiller, 2019). PLC akan mengontrol proses pemantauan pengolahan air limbah dengan memanfaatkan sensor pH dan sensor kekeruhan. Pemantauan menggunakan sistem PLC memiliki kelebihan dibandingkan sistem kontroler lainnya yaitu kemudahan dalam pemasangan dan perawatan dan tidak membutuhkan wiring yang rumit (Hendra et al., 2016; Hendra et al., 2018).

Beberapa penelitian melaporkan penerapan Programmable Logic Controller (PLC) dalam pengendalian kualitas air limbah telah diimplementasikan dalam berbagai penelitian yang menunjukkan efektivitasnya dalam mengoptimalkan proses pengolahan air. Prasetyo et al., (2018) telah mengembangkan sistem otomatisasi untuk mengontrol kualitas air di tambak udang dengan menggunakan PLC CPM1A. Dalam sistem ini, PLC mengendalikan pompa dan kincir air berdasarkan data sensor yang mengukur parameter seperti pH, suhu, salinitas, dan tingkat oksigen terlarut (DO). Data dari sensor diubah menjadi sinyal digital yang kemudian diproses oleh PLC untuk mengontrol aktuator secara otomatis, memastikan bahwa kualitas air tetap dalam batas yang diinginkan.

Penelitian lain merancang sistem kontrol pengolahan air limbah berbasis PLC yang dapat bekerja secara otomatis maupun manual. Sistem ini menggunakan sensor level untuk memantau volume air dan mengontrol pompa sesuai dengan kondisi yang terdeteksi oleh sensor. Sistem ini juga dilengkapi dengan fasilitas monitoring berbasis laptop, yang memungkinkan operator untuk memantau proses pengolahan air secara real-time. Pendekatan ini menunjukkan fleksibilitas dalam pengelolaan kualitas air limbah (Sari et al., 2020).

Di sektor industri, sistem pengolahan air limbah skala kecil untuk restoran juga telah berhasil

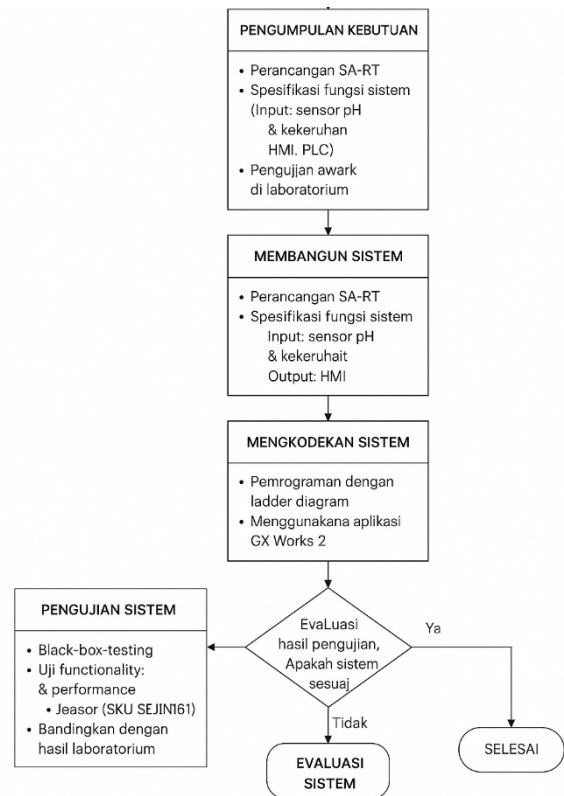
diintegrasikan dengan kontrol PLC. Sistem ini menggabungkan metode pengolahan biologis dan fisik untuk mengurangi tingkat Chemical Oxygen Demand (COD), Biological Oxygen Demand (BOD5), dan Suspended Solids (SS), sekaligus memenuhi standar pembuangan air limbah. PLC berfungsi mengontrol berbagai komponen, termasuk pompa dan katup, untuk memastikan pengolahan air berjalan efisien (Sari et al., 2021).

Selain itu, pada instalasi pengolahan air limbah industri, sebuah studi menggunakan PLC untuk mengontrol pH air limbah dengan sistem yang melibatkan sensor pH, katup solenoid, dan motor DC. PLC Allen Bradley Micrologix 820 diprogram menggunakan software Connected Component Workbench (CCW) untuk mengatur proses penyesuaian pH secara otomatis. Hal ini menunjukkan bahwa PLC dapat digunakan untuk mengontrol kualitas air secara spesifik, seperti pengendalian pH, yang sangat penting dalam pengolahan air limbah industri (Chaitra & Shree, 2020).

Namun, penggunaan PLC untuk mengolah limbah kimia laboratorium belum banyak diteliti. Oleh karena itu, penelitian ini fokus pada pembangunan suatu prototipe sistem kontroler otomatis berbasis PLC yang dapat memonitoring kualitas air limbah setelah pengolahan secara realtime pada IPAL. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem kontrol kualitas air limbah laboratorium menggunakan Programmable Logic Controller (PLC), dengan memonitor dan mengatur parameter seperti pH, suhu, DO, dan salinitas. Sistem ini menggunakan sensor untuk mendeteksi parameter tersebut, yang kemudian diproses oleh PLC untuk mengontrol aktuatur seperti pompa dan katup, memastikan kualitas air limbah memenuhi standar yang ditetapkan. Penerapan PLC dalam pengolahan air limbah laboratorium belum banyak dibahas, sehingga penelitian ini memberikan kontribusi dalam mengisi kekosongan tersebut. Sistem yang dikembangkan dapat meningkatkan efisiensi, mengurangi kesalahan manusia, dan memastikan kualitas air limbah yang aman dan sesuai peraturan. Kontribusi utama dari penelitian ini adalah memperkenalkan pendekatan baru dalam pengelolaan air limbah berbasis PLC yang dapat diterapkan di berbagai sektor industri.

2. Metode Penelitian

Penelitian yang dilakukan melalui beberapa tahapan seperti yang ditunjukkan pada diagram alir berikut.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.1 Metode Sistem

Penelitian ini menggunakan metodologi perancangan alat dengan metode prototyping, penggunaan metode prototipe untuk membuat alat pendeteksi kualitas air limbah menggunakan sensor pH dan sensor kekeruhan air menggunakan sistem PLC. Alasan menggunakan metode ini karena dapat mempersingkat waktu dalam menghasilkan produk atau alat yang tepat sesuai yang dibutuhkan. Langkah-langkah prototyping meliputi pengumpulan kebutuhan, membangun sistem, mengkodekan sistem, menguji sistem, dan evaluasi sistem.

Pengumpulan Kebutuhan

Pengumpulan kebutuhan terdiri dari dua tahap yaitu pengumpulan air limbah laboratorium dan kebutuhan pengambilan data. Limbah laboratorium yang digunakan merupakan limbah bahan kimia baik senyawa organik maupun anorganik yang dihasilkan dari kegiatan praktikum dan penelitian program studi kimia, biologi, fisika dan teknik pertambangan yang dilaksanakan di Pusat Laboratorium Terpadu UIN Syarif Hidayatullah Jakarta.

Selanjutnya, tahap pengumpulan kebutuhan pengambilan data dilakukan melalui tahap

observasi dan studi literatur. Hasil dari pengumpulan kebutuhan tersebut, didapatkan perangkat keras dan perangkat lunak yang berkaitan dengan sistem. Kebutuhan perangkat keras seperti PLC, sensor pH, sensor kekeruhan dan HMI (Human Machine Interface), sedangkan untuk perangkat lunak menggunakan GX Works 2. Kebutuhan sistem bukan hanya perangkat keras dan perangkat lunak saja, tetapi juga melakukan pengujian air limbah di laboratorium pengujian lingkungan PLT UIN Syarif Hidayatullah Jakarta.

Membangun Sistem

Dalam tahap membangun sistem, difokuskan kepada pembuatan Structured Analysis for real Time system (SA-RT) untuk pendeteksi air limbah, yang kemudian SA-RT dibagi lebih spesifik lagi terhadap fungsi-fungsi yang dapat digunakan dalam sistem, secara garis besar dimulai dari PLC yang mengontrol dan memproses inputan dari, sensor pH, sensor kekeruhan air dan akan mengontrol HMI sebagai output.

Mengkodekan Sistem

Pada tahapan ini akan dilakukan pengkodean untuk seluruh komponen sistem yang dibuat menggunakan bahasa pemrograman ladder yang hanya berisi input-proses-output. Disebut ladder, karena bentuk tampilan bahasa pemrogramannya memang seperti tampilan tangga yang menggunakan aplikasi GX Work.

Pengujian Sistem

Pada tahap ini dilakukan user acceptance test, yaitu dengan black-box testing, cara pengujiaannya dilakukan dengan menjalankan atau mengakses unit atau modul, kemudian diamati apakah hasil dari unit itu sesuai dengan hasil pengujian di laboratorium, selanjutnya akan dilakukan pengujian functionality dan performance testing, untuk mengetahui tingkat keberhasilan sensor pH dan sensor kekeruhan air, hasil dari pengujian tersebut akan diobservasi untuk memperoleh data yang akan dibahas di hasil penelitian.

Evaluasi Sistem

Tahapan evaluasi sistem dilakukan setelah menguji sistem secara menyeluruh. Hal ini untuk mengevaluasi kinerja dari sistem apakah berjalan sesuai fungsinya. Jika sudah, tahapan akan dilanjutkan ke tahap selanjutnya dan jika belum mengulangi langkah sebelumnya.

2.2 Rencana Pengujian Sistem

Pada penelitian ini diperlukan beberapa pengujian untuk mengetahui seberapa berhasil penerapan sistem dapat berjalan seperti yang sudah

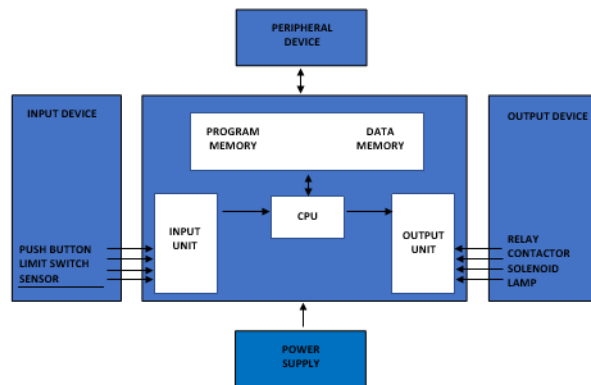
direncanakan terhadap beberapa pengujian, yaitu pengujian sensor pH dan kekeruhan. Pengujian pH dilakukan menggunakan sensor pH type SKU:SEN0161 pada air limbah sebelum dan sesudah hasil pengolahan limbah. Pengujian dilakukan dengan cara membandingkan hasil pengukuran sensor dengan hasil pengukuran laboratorium pengujian. Sedangkan pengujian kekeruhan dilakukan dengan menggunakan sensor kekeruhan air dengan type SEN0189. Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran sensor dengan hasil pengukuran laboratorium pengujian.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Struktur PLC

Perancangan sistem kontrol meliputi perancangan perangkat kendali, perangkat input dan output pada PLC, perancangan elektrik serta spesifikasi dari modul serta perangkat yang digunakan. Struktur PLC seperti ditunjukkan pada **Gambar 2**. Struktur PLC pada gambar tersebut terdiri dari beberapa komponen utama yang saling terintegrasi, dimulai dari input field, yang merupakan kumpulan sensor atau perangkat input seperti tombol, saklar, atau sensor lainnya. Sinyal dari input field diteruskan ke input interface, yang berfungsi mengkonversi sinyal fisik dari perangkat input menjadi data logis (digital) yang dapat diproses oleh CPU PLC (Bolton, 2015).

Bagian paling sentral dari sistem ini adalah Central Processing Unit (CPU), yang bertindak sebagai otak PLC. CPU memproses data yang diterima dari input berdasarkan program logika yang telah ditanamkan sebelumnya oleh pengguna, kemudian menghasilkan sinyal output. Program ini biasanya ditulis dalam bahasa pemrograman seperti ladder diagram atau function block diagram (Petrusella, 2010). Selanjutnya, sinyal hasil pemrosesan dikirim ke output interface, yang kemudian diteruskan ke output field berupa aktuator seperti motor listrik, lampu, atau katup solenoid yang menggerakkan proses industri secara fisik. Sistem ini juga dilengkapi dengan power supply untuk menyediakan daya yang dibutuhkan agar PLC dapat beroperasi secara stabil.



Gambar 2. Struktur PLC

Selain itu, struktur PLC juga mencakup perangkat pemrograman seperti komputer atau terminal pemrograman, yang digunakan untuk menginput, memodifikasi, dan mengunggah program ke dalam CPU PLC. Melalui struktur ini, PLC mampu menjembatani antara dunia fisik dan sistem digital kontrol, memungkinkan sistem industri bekerja secara otomatis, efisien, dan lebih andal dibandingkan kontrol manual (Franklin et al., 2015). Struktur ini juga mendukung fleksibilitas tinggi, memungkinkan pengguna untuk mengubah logika kontrol tanpa harus mengganti perangkat keras, hanya melalui pemrograman ulang. Oleh karena itu, pemahaman terhadap struktur dasar PLC sangat penting dalam perancangan dan implementasi sistem otomasi yang efektif.

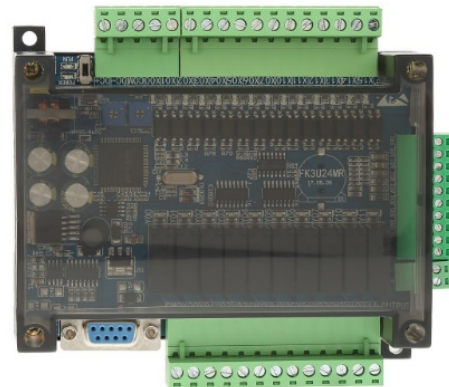
Untuk melaksanakan kontrol sistem, PLC menggunakan perangkat lunak yang dapat diprogram. Biasanya program yang dipakai PLC adalah ladder diagram dan intruksi dasar diagram. Akan tetapi, setiap jenis PLC memiliki perbedaan cara dalam penulisan program. Struktur dasar PLC terdiri dari Central Processing Unit (CPU), Input/Output (I/O), Memory dan Power Supply. Pada penelitian ini, alat-alat pengujian untuk pengukuran kualitas air limbah hasil pengolahan seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komponen alat pengujian pengolahan air limbah

| No | Nama Alat | Type |
|----|------------------|-----------------------|
| 1 | PLC | Mitsubishi FX3U-24 MR |
| 2 | Power Supply | 220 V -24 Vdc |
| 3 | Step Down | 24 Vdc – 5 Vdc |
| 4 | HMI | MT6000I |
| 5 | Sensor pH | 0 – 14 PH |
| 6 | Sensor Turbidity | 0 -100 mg/L |

PLC

Sistem monitoring air limbah hasil pengolahan ini menggunakan PLC sebagai perangkat kontrolnya. PLC yang digunakan yaitu PLC dengan tipe *compact* sehingga harus perlu di konfigurasi terlebih dahulu agar PLC dan modul-modul yang terpasang dapat terhubung satu sama lain sehingga sekuen program dapat berjalan sesuai dengan semestinya. Modul PLC yang digunakan seperti ditunjukkan pada Gambar 3 dengan spesifikasi PLC ditampilkan pada Tabel 2.



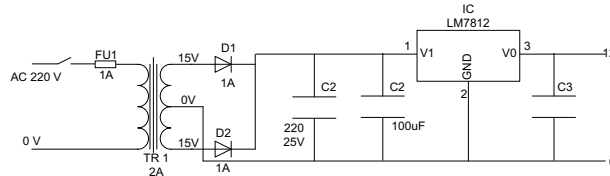
Gambar 3. Modul PLC Mitsubishi FX3U-24 MR

Tabel 2. Spesifikasi PLC Mitsubishi FX3U-24 MR

| Spesifikasi | Keterangan |
|---------------------------|--------------------------|
| Sumber Daya listrik | 12 - 24 V |
| Masukan Angka | 12 Poin |
| Keluaran Angka | 12 Titik (Relai) |
| RS232 (Port Pemrograman) | 1 saluran |
| RS485 | 2 Saluran |
| Masukan Analog | 2 Saluran (0-10V) |
| Daftarkan Masukan Analog | AD0 = D8030, AD1 = D8031 |
| Hasil analog | 2 Saluran (0-10V) |
| Daftarkan Keluaran Analog | DA0 = D8112, DA1 = D8113 |
| Resolusi Analog | 12 Bit (0 - 4095) |
| Pemrograman Lunak | Perangkat Lunak |
| | Pengembang Gx / Gx-work2 |

Power Supply

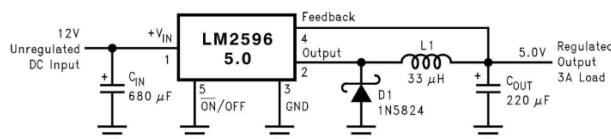
Power supply adalah perangkat elektronika yang berfungsi menurunkan dan mengubah tegangan AC (*Alternating Current*) menjadi tegangan DC (*Dirrect Current*) yang dapat digunakan sebagai sumber tenaga peralatan elektronika. Sebuah DC power supply atau Adaptor pada dasarnya memiliki 4 bagian utama agar dapat menghasilkan arus DC yang stabil. Bagian utama tersebut di antaranya adalah *Transformer*, *Rectifier*, *Filter* dan *Voltage Regulator*, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Rangkaian power supply

Power Supply Step Down

Module Regulator LM 2596 adalah rangkaian modul konverter DC / DC dengan frekuensi tetap 150 kHz *fixed - voltage* (PWM *step-down*) menggunakan IC Regulator LM2596, yang mampu menggerakkan beban 5A dengan efisiensi tinggi. Modul regulator LM2596 dapat bekerja dengan suplai tegangan 4V - 32V, pada module regulator LM2596 menggunakan IC SMD (*Surface Mount Device*) dan terdapat sebuah potensio untuk mengatur tegangan masukannya dari 4V - 24V DC pada frekuensi kerja 150 kHz sehingga dapat disesuaikan dengan kebutuhan tegangan. Rangkaian *power supply step down* mempunyai spesifikasi seperti ditunjukkan pada Tabel 3.



Gambar 5. Rangkaian power supply step down

Tabel 3. Spesifikasi power supply step down

| Spesifikasi | Keterangan |
|--------------------|--|
| Tegangan Input | DC 9V - 36V |
| Tegangan output | 5.2V / 5A / 25W |
| Kemampuan keluaran | Input 9 ~ 24V: Output 5.2V / 6A / 30W Input 24 ~ 32V: Output 5.2V / 5A / 25W Input 32 ~ 36V: Output 5.2V / 3, 5A / 18W |
| Ukuran | 63 x 27 x 10 mm (p x l x t) |
| Berat | 22 g |

Sensor pH

Sensor *pH* digunakan untuk membaca nilai *pH* pada unit flokulasi dan memberikan input untuk PLC agar data pembacaan dapat diolah secara terprogram. Air limbah pada unit flokulasi harus mempunyai nilai *pH* 6 - 7 agar bisa berikatan dengan polimer dan membentuk flok-flok besar. Sensor *pH* yang digunakan yaitu Analog *pH* sensor kit *electrode probe* yang dapat dilihat pada Gambar 5 dengan spesifikasi analog *pH* sensor kit *electrode probe* ditunjukkan pada Tabel 4.



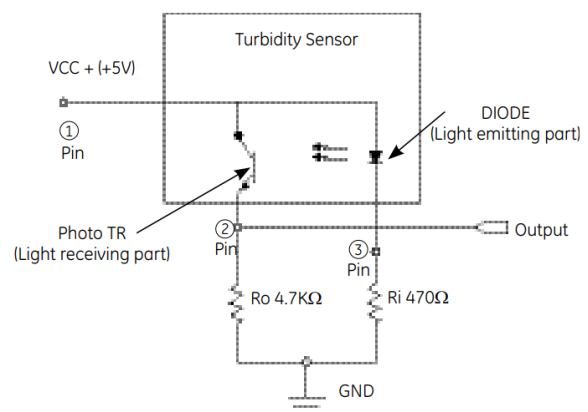
Gambar 6. Analog pH sensor kit electrode probe

Tabel 4. Spesifikasi dari analog *pH* sensor kit electrode probe

| Spesifikasi | Keterangan |
|----------------------------|--------------|
| Input Supply voltage (VDC) | 5 +/-0.2 |
| Working current | 5-10mA |
| Measuring Range | 0 - 14 PH |
| Measuring Temperature | 0 - 50 °C |
| Accuracy | ± 0.01 pH |
| Response Time | ≤ 1min |
| Power consumption | ≤ 0.5W |
| Cable Length (cm) | 75 |
| <i>pH</i> sensor size (mm) | 150, Φ12 |
| Module Size (mm) | 42 x 32 x 20 |
| Weight (gram) | 50 |

Sensor Turbidity

Sensor *turbidity* (kekeruhan air) digunakan untuk mendeteksi kualitas air dengan cara mengukur tingkat kekeruhannya. Sensor yang digunakan dalam mengukur kekeruhan air limbah yaitu sensor *turbidity* SEN0819 dengan prinsip kerja menggunakan cahaya untuk mendeteksi partikel yang tertahan didalam air dengan cara mengukur transmisi cahaya dan tingkat penghamburan cahaya yang berubah sesuai dengan jumlah *TTS* (*Total Suspended Solids*). Dengan meningkatnya *TTS*, maka tingkat kekeruhan cairan juga meningkat. Rangkaian sensor *turbidity* seperti ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Rangkaian sensor turbidity

Terdapat dua mode keluaran dari sensor *turbidity* (kekeruhan air) SEN0189, yaitu keluaran digital dan keluaran analog. Berdasarkan *data sheet*, berikut ini spesifikasi dari sensor *turbidity* (kekeruhan air) SEN0189, seperti ditunjukkan pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Spesifikasi sensor *Turbidity*

| Spesifikasi | Keterangan |
|----------------------|-----------------------|
| Tegangan Operasional | 5 VDC |
| Arus Operasional | 40 mA (Max) |
| Waktu Respons | < 500 mS |
| Output Analog | 0 - 4,5 Volt |
| Rentang Temperature | 5 °C s/d 90 °C |
| Storage Temperature | - 10 °C s/d 90 °C |
| Berat | 30 g |
| Dimensi | 38 mm x 28 mm x 10 mm |

Human Machine Interface (HMI)

Human Machine Interface membuat visualisasi dari sebuah teknologi atau sistem secara real time, sehingga dengan menggunakan desain *HMI* yang bisa disesuaikan dapat memudahkan pekerjaan fisik, karakteristik *HMI* MT6070iH seperti ditunjukkan pada Tabel 6. Tujuan dari *HMI* adalah untuk menambah tingkat interaksi antara mesin dan operator melalui tampilan yang ada di layar komputer dan memenuhi kebutuhan para pengguna terhadap informasi pada sistem. Program *HMI PLC* untuk pengukuran hasil pengolahan air limbah yang digunakan yaitu easy builder 8000 yaitu perangkat lunak yang dikembangkan oleh Weintek, seperti ditunjukkan pada **Gambar 7**.

Gambar 7 menunjukkan tampilan antarmuka *HMI* (Human Machine Interface) yang dirancang menggunakan perangkat lunak EasyBuilder 8000. *HMI* merupakan komponen penting dalam sistem otomasi modern yang berfungsi sebagai penghubung interaktif antara manusia dan mesin, memungkinkan operator untuk memantau, mengontrol, serta memberikan perintah langsung terhadap proses industri yang dikendalikan oleh Programmable Logic Controller (PLC). Tampilan *HMI* dalam gambar ini menampilkan elemen visual seperti tombol kontrol, indikator status, dan parameter proses yang dapat diakses secara real-time.

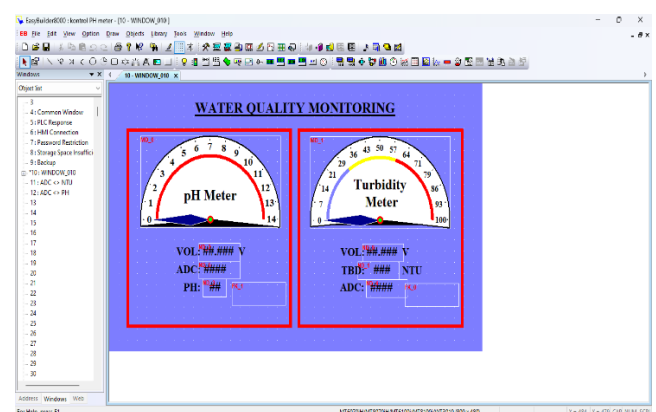
Melalui antarmuka ini, operator dapat melihat status operasional sistem, mengaktifkan atau menonaktifkan perangkat, serta memantau parameter seperti tekanan, suhu, dan waktu proses.

Penyajian informasi secara visual yang intuitif terbukti meningkatkan efisiensi operasional dan mengurangi risiko kesalahan manusia dalam pengendalian sistem industri (Alonso et al., 2020). Perangkat lunak EasyBuilder 8000 memungkinkan desain antarmuka yang fleksibel, dengan fitur grafik, alarm, dan animasi yang dapat disesuaikan untuk memenuhi kebutuhan spesifik proses industri (Santos et al., 2021).

Selain itu, integrasi antara *HMI* dan *PLC* memungkinkan data dari sensor atau aktuator dikirimkan secara langsung ke antarmuka pengguna, serta memungkinkan input dari operator untuk diolah oleh *PLC* guna mengeksekusi logika kontrol yang telah diprogram. Dengan demikian, antarmuka *HMI* yang ditampilkan pada **Gambar 8** tidak hanya berfungsi sebagai alat pemantau, tetapi juga sebagai pusat kendali interaktif yang berperan penting dalam sistem otomasi industri berbasis teknologi terkini (Rahmani et al., 2022).

Tabel 6. Karakteristik *HMI* MT6070iH

| Spesifikasi | Keterangan |
|-------------------------|--|
| Construction | plastic molding housing |
| Display size (diagonal) | 7" 65,536 color TFT LCD |
| CPU and core logic | 32Bit RISC 400MHz processor |
| DRAM | 64 MB DDR2 on board |
| Storage | 128 MB flash memory on board |
| I/O | Serial ports: Com1: RS-232/RS-485 2w/4w, Com2: RS-232, Com3: RS-232/RS-485 2w 1 USB 1.1 host 1 USB 2.0 high speed device |
| RTC | Built-in |
| Power input | 24±20%VDC,250mA@24VDC |
| Dimension (W x H x D) | 200 x 146 x 42.5mm |
| Weigh | 0.85kg |
| Software | EB8000 V2.0.0 or later |

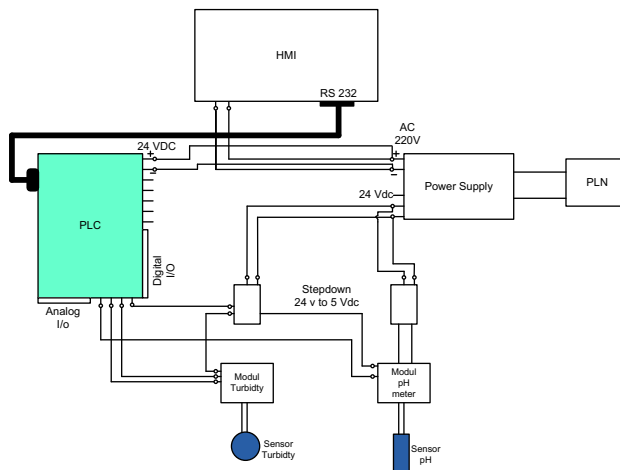


Gambar 8. Tampilan *HMI* easy builder 8000

Panel Pengujian

Panel pengujian monitoring air limbah dibuat dengan mosul kotak sederhana dan tertutup dan pada saat penggunaan bisa terbuka, karena meminimalisir air masuk dan terkena komponen-komponen, yang ditunjukkan pada **Gambar 9**. Konfigurasi pada *PLC* dilakukan untuk menghubungkan beberapa modul sensor agar pada saat pengambilan data pengukuran bisa ditampilkan ke dalam *HMI* dan didapatkan data pengukuran yang akurat.

Gambar 9 menunjukkan bahwa dari tegangan PLN yang 220 Volt, disalurkan ke *power supply*, selanjutnya tegangan PLN yang 220 V diturunkan menjadi 24 V, tegangan perlu diturunkan terlebih dahulu karena perangkat *PLC* mempunyai tegangan 24 Vdc, dan pada *PLC* ini tegangan akan dirubah kedalam bilangan bit sesuai dengan hasil rancangan modul pengukuran yang digunakan sebagai perangkat yang mengendalikan proses pengolahan air limbah. Dalam perancangan ini, *PLC* dipilih sebagai perangkat kendali proses karena keunggulannya yang fleksible, kemudahan dalam menemukan masalah dan dalam melakukan pembaruan, dapat di monitoring secara langsung, serta bahasa pemrograman yang mudah dipelajari. Selain itu, pengguna dapat mendeteksi masalah secara online dengan melihat susunan program.



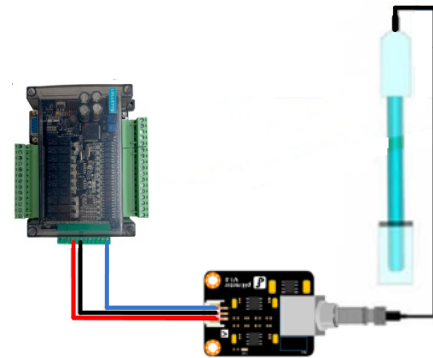
Gambar 8. Panel pengujian air limbah

PLC yang dipilih merupakan *PLC* jenis *compact* yang modul *I/O* sudah ditentukan oleh pabrikan untuk masukan dan keluarannya. Pada **Gambar 8** dapat diketahui jumlah input dan output yang digunakan dalam perancangan sistem kontrol ini. Sistem menggunakan beberapa perangkat seperti *PLC*, *power supply*, *power supply step down*, *HMI* (*Human Machine Interface*), sensor *pH* dan sensor

turbidity. Prinsip kerja sistem monitoring yang berjalan dibuat untuk melakukan pengukuran hasil pengolahan limbah dimana sensor - sensor yang terpasang akan memberikan hasil pengukuran yang ditampilkan di *HMI*. *Power supply* yang terhubung pada listrik PLN akan langsung membuat *PLC* dalam keadaan ON dan terhubung pada modul sensor dengan aliran listrik yang sudah diturunkan menggunakan *power supply step down 24 Vdc to 5 Vdc* dan langsung tersambung dengan sensor *pH* dan sensor *turbidity*.

Konfigurasi PLC dengan sensor pH

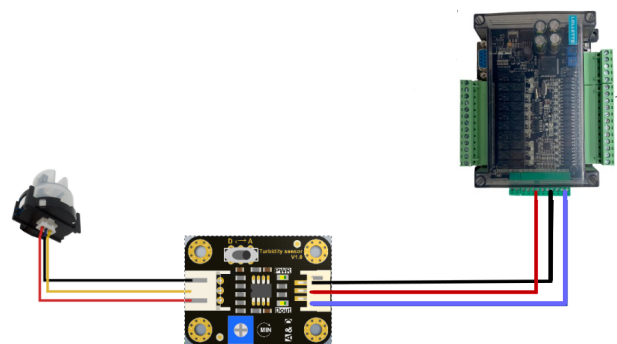
Konfigurasi ini akan menjelaskan bagaimana *PLC* dapat terhubung ke sensor *pH* dan data-data hasil pengukuran dapat ditampilkan di monitor *HMI*. **Gambar 10** menunjukan konfigurasi *PLC* dengan sensor *pH*.



Gambar 10. Konfigurasi PLC dengan sensor pH

Konfigurasi PLC dengan sensor turbidity

Konfigurasi ini akan menjelaskan bagaimana *PLC* dapat terhubung ke sensor *turbidity* dan data-data hasil pengukuran dapat ditampilkan di monitor *HMI*. **Gambar 11** menunjukan konfigurasi *PLC* dengan sensor *turbidity*.

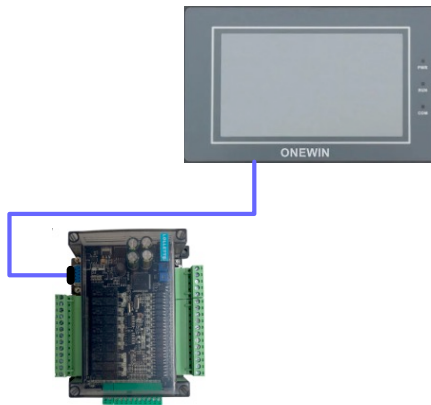


Gambar 11. Konfigurasi PLC dengan sensor turbidity

Konfigurasi PLC dengan HMI

Konfigurasi ini akan menjelaskan bagaimana *PLC* dapat terhubung ke *HMI* sehingga data-data hasil pengukuran dari sensor *pH* dan sensor

turbidity dapat ditampilkan di monitor HMI. **Gambar 12** menunjukkan konfigurasi PLC dengan HMI. Untuk konfigurasi PLC dengan HMI menggunakan kabel RS232 sehingga hasil data-data pengukuran pH dan turbidity dapat ditampilkan pada HMI, seperti ditunjukkan pada **Gambar 13**.



Gambar 12. Konfigurasi PLC dengan HMI



Gambar 13. Tampilan rancangan HMI

Tampilan Modul Sistem PLC untuk Monitoring Air Limbah Hasil Pengolahan

Modul sistem PLC untuk monitoring air limbah hasil pengolahan yang dibuat dengan menggunakan sensor pH dan sensor turbidity dengan hasil data-data pengukuran ditampilkan di HMI, dilakukan konfigurasi PLC dengan menyusun ladder-ladder sehingga sensor-sensor dapat berfungsi dengan baik, tampilan modul sistem PLC ditunjukkan pada **Gambar 14**.



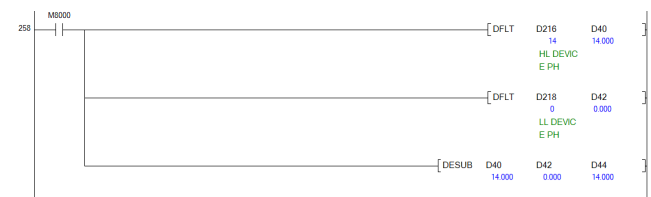
Gambar 14. Tampilan modul rancangan PLC

3.2 Sistem PLC

Tahap pembuatan sistem merupakan tahapan menterjemahkan desain sistem menjadi bahasa pemrograman dalam pembuatan *ladder-ladder* yang terdapat dalam program PLC.

Konfigurasi PLC dengan sensor pH

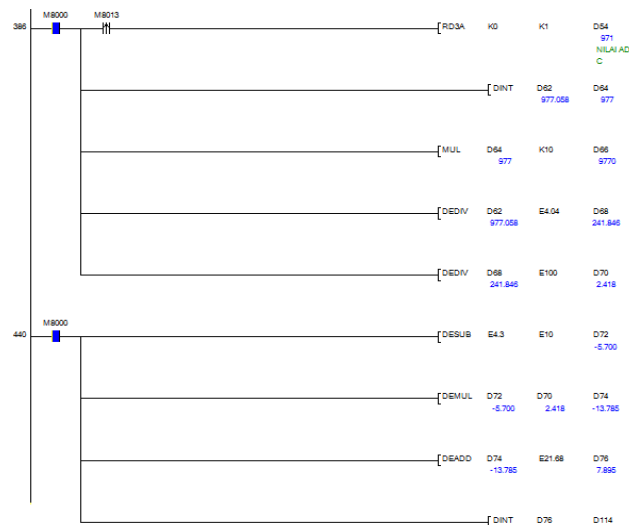
Berikut merupakan potongan pemrograman untuk mengakses sensor *pH* melalui *PLC* yang terdiri dari *ladder-ladder*, ditunjukkan pada **Gambar 15**.



Gambar 15. Ladder high level dan low level sensor *pH*

Tahapan pertama ditunjukkan pada **Gambar 15** terlebih dahulu mencari nilai tertinggi dan nilai terendah dari perangkat sensor *pH*. Tahapan ini dilakukan untuk mendapatkan nilai tegangan yang ideal pada sensor *pH*. Untuk *pH* tertinggi pada sensor *pH* yaitu 14 dan untuk *pH* terendah untuk sensor *pH* yaitu 0. Untuk nilai *pH* 14 di masukkan ke dalam alamat memori internal *PLC* yaitu D216 dan nilai *pH* 0 di masukkan ke dalam alamat memori internal *PLC* yaitu D218. Perintah DFLT pada **Gambar 15** adalah untuk merubah bilangan bulat menjadi bilangan desimal, hal ini di maksudkan untuk memudahkan perhitungan di dalam pemrograman *PLC* seperti di tunjukkan pada **Gambar 14** dengan alamat D40 dan D42, sedangkan perintah DESUB adalah perintah pada sistem *PLC* untuk pengurangan pada sebuah bilangan, seperti yang di tunjukkan pada alamat D40, D42, dan hasil dari pengurangan di tunjukkan pada alamat D44. Sedangkan potongan

pemrograman PLC untuk pengukuran hasil akhir sensor *pH*, ditunjukkan pada **Gambar 16**.



Gambar 16. Hasil akhir konfigurasi nilai pH

Gambar 16 adalah susunan program *ladder PLC* untuk merubah nilai ADC menjadi nilai tegangan DC, dan dapat dijelaskan bahwa nilai 971 pada alamat D54 adalah nilai *ADC (Analog to Digital Converter)* yang di hasilkan oleh PLC dan di dapatkan dari output analog sensor *pH* pada saat netral atau tidak dalam kondisi mengukur cairan. Perintah DINT adalah untuk merubah bilangan desimal menjadi bilangan bulat seperti terlihat pada alamat D62 dengan nilai 977,085 menjadi 977 pada alamat D64. Perintah MUL adalah untuk perkalian bilangan bulat seperti terlihat pada alamat D64 dan D66. Perintah DEDIV adalah untuk pembagian bilangan desimal seperti terlihat pada alamat D62, D68, D70. Sehingga dapat di simpulkan bahwa pada saat ADC menghasilkan nilai 977, maka di dapatkan nilai tegangan sebesar 2,418 Vdc seperti terlihat pada alamat D70. Setelah di dapatkan nilai tegangan maka konfigurasi program selanjutnya adalah menentukan nilai *pH*, seperti di tunjukkan pada alamat D114. Pada saat nilai tegangan 2,418 maka di dapatkan nilai *pH* nya adalah 7.

Gambar 16 menampilkan hasil akhir konfigurasi sistem monitoring nilai pH yang ditampilkan melalui antarmuka digital. Sistem ini umumnya dibangun berbasis Human Machine Interface (HMI) yang terhubung dengan sensor pH dan pengontrol logika seperti PLC atau mikrokontroler. Konfigurasi ini bertujuan untuk memudahkan pengguna dalam membaca, mengontrol, dan melakukan kalibrasi nilai pH pada suatu proses industri atau lingkungan secara real-

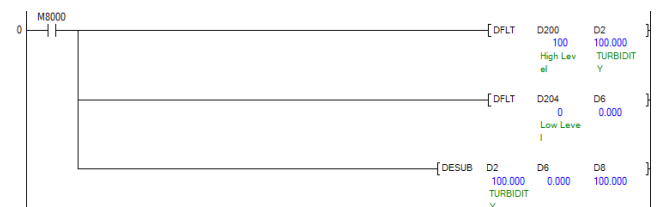
time. Tampilan yang ditunjukkan dalam gambar mencerminkan integrasi antara perangkat keras dan perangkat lunak, di mana data sensor dikonversi dan divisualisasikan secara langsung pada layar antarmuka operator.

Dalam praktiknya, konfigurasi sistem pengukuran pH seperti ini banyak digunakan pada industri pengolahan air, kimia, dan farmasi yang membutuhkan pengendalian nilai pH secara presisi untuk menjaga kualitas produk dan kestabilan proses (Agarwal et al., 2020). Desain antarmuka yang baik mempermudah operator dalam menginterpretasikan informasi, serta memungkinkan pengambilan keputusan yang cepat ketika nilai pH berada di luar rentang yang diizinkan. Hasil akhir dari konfigurasi ini biasanya disesuaikan dengan parameter proses spesifik, termasuk batas atas dan bawah pH, sistem alarm, dan fungsi otomatis seperti dosing atau netralisasi (Zhang et al., 2022).

Teknologi HMI yang digunakan dalam konfigurasi ini memungkinkan integrasi dengan berbagai protokol komunikasi seperti Modbus atau OPC-UA, menjadikan sistem lebih fleksibel dan kompatibel dengan teknologi Industri 4.0 (Kim, et al., 2021). Dalam konteks ini, HMI tidak hanya berfungsi sebagai alat pemantau, tetapi juga sebagai interface decision support berbasis data, yang mendukung efisiensi dan keselamatan dalam proses industri (Kim et al., 2021). Oleh karena itu, konfigurasi sistem pH seperti yang diperlihatkan pada **Gambar 16** memiliki peran penting dalam implementasi sistem kontrol cerdas dan adaptif pada proses modern.

Konfigurasi PLC dengan sensor *turbidity*

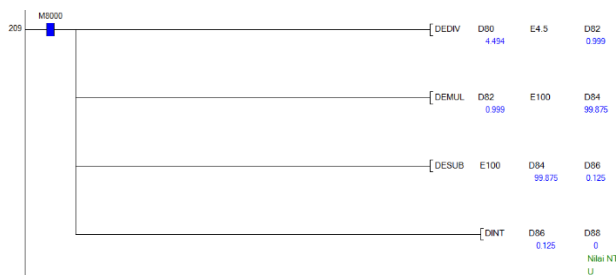
Berikut merupakan potongan pemrograman untuk mengakses sensor *turbidity* melalui PLC yang terdiri dari *ladder-ladder*, ditunjukkan pada **Gambar 16**.



Gambar 17. Ladder high level dan low level sensor *turbidity*

Tahapan pertama ditunjukkan pada **Gambar 17**. Langkah awal yang dilakukan yaitu penentuan nilai tertinggi dan nilai terendah dari perangkat sensor *turbidity*. Tahapan ini dilakukan untuk

mendapatkan nilai tegangan yang ideal pada sensor *turbidity*. Untuk nilai NTU tertinggi pada sensor *turbidity* yaitu 100 dan untuk nilai NTU terendah pada sensor *turbidity* yaitu 0. Untuk nilai NTU 100 di masukkan ke dalam alamat memori internal *PLC* yaitu D200 dan nilai NTU 0 di masukkan ke dalam alamat memori internal *PLC* yaitu D204. Perintah DFLT pada Gambar 16 adalah untuk merubah bilangan bulat menjadi bilangan desimal. Hal ini di maksudkan untuk memudahkan perhitungan di dalam pemrograman *PLC* seperti di tunjukkan pada Gambar 16 dengan alamat D2 dan D6, sedangkan perintah DESUB adalah perintah pada sistem *PLC* untuk pengurangan pada sebuah bilangan, seperti yang di tunjukkan pada alamat D2, D6, dan hasil dari pengurangan di tunjukkan pada alamat D8. Sedangkan potongan pemrograman *PLC* untuk pengukuran hasil akhir sensor *turbidity*, ditunjukkan pada Gambar 18.



Gambar 18. Hasil akhir konfigurasi nilai sensor *turbidity*

Gambar 18 adalah susunan program *ladder PLC* untuk pengukuran nilai NTU pada sensor *turbidity*. Pada alamat D80 terbaca nilai tegangan sebesar 4,494 Vdc, yang mana nilai tersebut di dapatkan dari konfigurasi program nilai ADC dan di rubah menjadi tegangan. Selanjutnya nilai tegangan 4,494 di bagi dengan E4,5 yang mana E4,5 ini adalah tegangan supply pada modul sensor *turbidity* yaitu 4,5 Vdc dan di dapatkan nilai 0,999 pada alamat D82. Nilai yang ada di alamat D82 selanjutnya di kalikan 100 maka di hasilkan nilai 99,874 pada alamat D84, kemudian nilai yang di dapat pada alamat D84 di kurangi 100 maka di dapatkan nilai 0,125 pada alamat D86. Perintah DINT yaitu untuk merubah bilangan desimal menjadi bilangan bulat seperti pada alamat D88.

3.3 Hasil Pengujian Sistem

Setelah melakukan perancangan, tahapan selanjutnya yaitu melakukan pengujian sistem. Pada tahap pengujian dilakukan metode *black-box*, yaitu menguji *PLC* dan alat yang dirangkai dan

saling terhubung untuk mengetahui apakah fungsi telah berjalan sesuai dengan perancangan atau belum.

Skenario pengujian

Skenario dilakukan agar sistem dapat bekerja sesuai harapan yang telah dirancang sebelumnya. Penulis merancang skenario pengujian, seperti ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Skenario Pengujian

| Kategori | Aksi |
|---|--|
| Pengujian <i>pH</i> dengan metode laboratorium | Air limbah yang diambil dari penampungan dilakukan pengujian sesudah dan sebelum dilakukan pengolahan menggunakan instrument <i>pH</i> Benchtop meter |
| Pengujian pembacaan sensor <i>pH</i> | Sensor pada sistem dicelupkan kedalam air limbah yang belum diolah dan sesudah diolah, lalu pengguna melihat nilai sensor melalui <i>HMI</i> (sesuai dengan permen LHK no. 68 tahu 2016 dan Permenkes No. 32 Tahun 2017) |
| Pengujian <i>turbidity</i> dengan metode laboratorium | Air limbah yang diambil dari penampungan dilakukan pengujian sesudah dan sebelum dilakukan pengolahan menggunakan instrument <i>Water Quality Monitor</i> . |
| Pengujian pembacaan sensor <i>turbidity</i> | Sensor pada sistem dicelupkan kedalam air limbah yang belum diolah dan sesudah diolah, lalu pengguna melihat nilai sensor melalui <i>HMI</i> (Permenkes No. 32 Tahun 2017) |

3.4 Hasil Pengujian Metode Laboratorium Hasil Pengujian PH

Pengujian ini dilakukan guna mengetahui hasil pengujian nilai *pH* yang menggunakan instrument *pH* Benchtop meter, adapun hasil pengujian menggunakan metode laboratorium seperti ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil pengujian *pH* dengan metode laboratorium

| Sampel Uji | pH | | Suhu (°C) | |
|------------|---------|---------|-----------|---------|
| | Sebelum | Sesudah | Sebelum | Sesudah |
| Air Limbah | 9,5 | 6,96 | 26,6 | 26,1 |

Tabel 8 menjelaskan bahwa hasil pengukuran *pH* dengan metode laboratorium pada saat air limbah belum dilakukan pengolahan di dapatkan nilai 9,5, sedangkan untuk hasil air limbah sesudah pengolahan mendapatkan nilai 6,96. Nilai *pH* yang mengalami penurunan yang signifikan setelah dilakukan pengolahan dengan selisih nilai 2,54, ini menandakan bahwa air limbah dengan pengolahan

dapat memberikan efek sangat baik untuk penurunan *pH*.

Hasil Pengujian Sensor Turbidity

Pengujian ini dilakukan guna mengetahui hasil pengujian nilai *turbidity* yang menggunakan instrument *water quality monitoring*, adapun hasil pengujian menggunakan metode laboratorium seperti ditunjukkan pada **Tabel 9**.

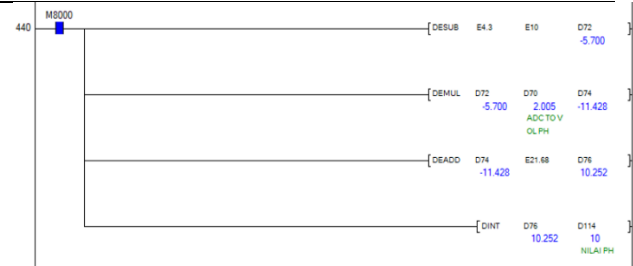
Tabel 9. Hasil pengujian *turbidity* dengan metode laboratorium

| Sampel Uji | Turbidity | | Suhu (°C) | |
|------------|-----------|---------|-----------|---------|
| | Sebelum | Sesudah | Sebelum | Sesudah |
| Air Limbah | 81,9 | 27,4 | 26,6 | 26,1 |

Tabel 9 menjelaskan bahwa hasil pengukuran *turbidity* dengan metode laboratorium pada saat air limbah sebelum pengolahan di dapatkan nilai 81,9, sedangkan untuk hasil air limbah sesudah pengolahan mendapatkan nilai 27,4. Nilai *turbidity* mengalami penurunan yang sangat signifikan setelah dilakukan pengolahan dengan selisih nilai 54,5. Hal ini menandakan bahwa sistem pengolahan air limbah yang diterapkan memberikan efek sangat baik untuk penurunan nilai *turbidity*.

3.5 Hasil Pengujian Metode PLC Hasil Pengujian *pH*

Pengujian pertama dengan sensor *pH* dilakukan sebelum air limbah dilakukan pengolahan, pengujian ini dilakukan guna mengetahui hasil pengujian nilai menggunakan *PLC*, adapun hasil pengujian sensor *pH* yang terlihat di *program GX work2* berupa *ladder-ladder* dengan hasil pengujian didapatkan nilai *pH* 10, seperti ditunjukkan pada **Gambar 19**.



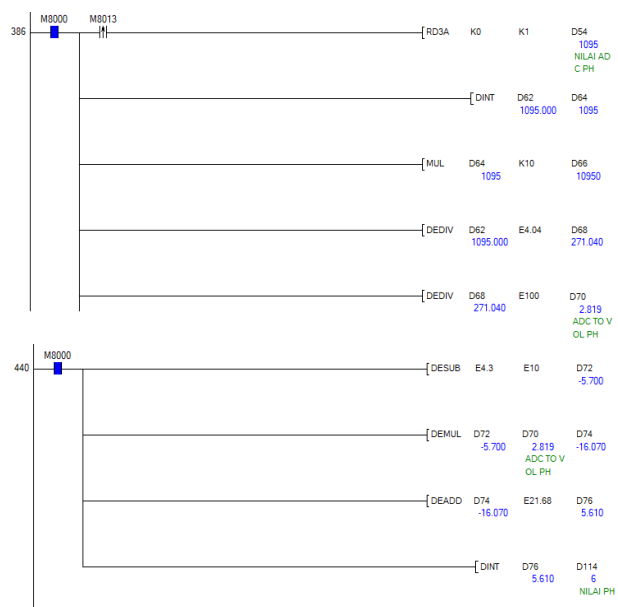
Gambar 19. Gambar tampilan *ladder* pengujian *pH* 10 pada *PLC*

Gambar 19 adalah susunan program *ladder PLC* untuk merubah nilai *ADC* menjadi nilai tegangan DC, dan dapat dijelaskan bahwa nilai 810 pada alamat D54 adalah nilai *ADC* (*analog to digital converter*) yang di hasilkan oleh *PLC*. Perintah *DINT* adalah untuk merubah bilangan desimal menjadi bilangan bulat seperti terlihat pada alamat D62 dengan nilai 810,102 menjadi 810 pada alamat D64. Perintah *MUL* digunakan untuk perkalian bilangan bulat seperti terlihat pada alamat D64 dan D66. Perintah *DEDIV* adalah untuk pembagian bilangan dengan E4,04 yang mana E4,04 ini adalah tegangan supply pada modul sensor *pH* yaitu 4,04 Vdc desimal seperti terlihat pada alamat D62, sedangkan untuk D68 pembagian bilangan dengan E100 yang mana E100 ini adalah tegangan supply pada modul sensor *pH* yaitu 100 Vdc desimal, D70. Sehingga dapat di simpulkan bahwa pada saat *ADC* menghasilkan nilai 810, maka di dapatkan nilai tegangan sebesar 2,005 Vdc seperti terlihat pada alamat D70. Setelah di dapatkan nilai tegangan maka konfigurasi program selanjutnya adalah menentukan nilai *pH*, seperti di tunjukkan pada alamat D114. Pada saat nilai tegangan 2,005 maka di dapatkan nilai *pH* nya adalah 10. Dari data *ladder-ladder PLC* tersebut dapat ditampilkan pad HMI, seperti ditunjukkan pada **Gambar 20**.



Gambar 20. Tampilan pengujian *pH* 10 pada HMI

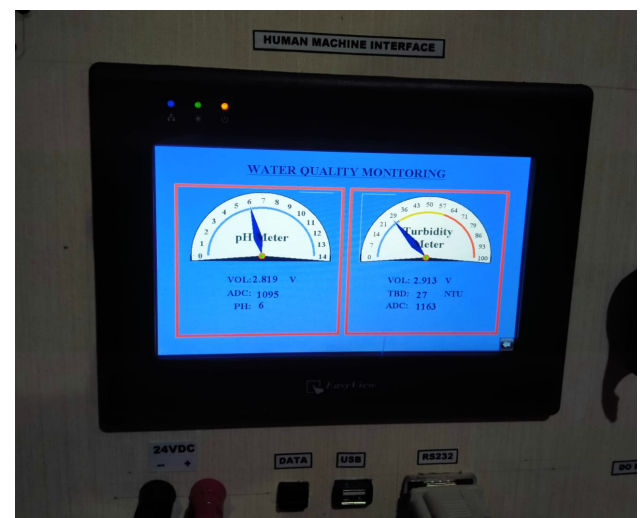
Pengujian kedua dengan sensor *pH* dilakukan setelah air limbah dilakukan pengolahan, pengujian ini dilakukan guna mengetahui hasil pengujian nilai menggunakan *PLC*, adapun hasil pengujian sensor *pH* yang terlihat di *program GX work2* berupa *ladder-ladder* dengan hasil pengujian didapatkan nilai *pH* 6, seperti ditunjukkan pada **Gambar 21**.



Gambar 21. Gambar tampilan *ladder* pengujian *pH* 6 pada *PLC*

Gambar 21 adalah susunan program *ladder PLC* untuk merubah nilai *ADC* menjadi nilai tegangan DC, dan dapat dijelaskan bahwa nilai 1095 pada alamat D54 adalah nilai *ADC* (*analog to digital converter*). Perintah *DINT* adalah untuk merubah bilangan desimal menjadi bilangan bulat seperti terlihat pada alamat D62 dengan nilai 1095,000 menjadi 1095 pada alamat D64. Perintah *MUL* adalah untuk perkalian bilangan bulat seperti terlihat pada alamat D64 dan D66. Perintah *DEDIV* adalah untuk pembagian bilangan desimal seperti terlihat pada alamat D62, D68, D70. Sehingga dapat di simpulkan bahwa pada saat *ADC* menghasilkan nilai 1095, maka di dapatkan nilai tegangan sebesar 2,819 Vdc seperti terlihat pada alamat D70. Setelah di dapatkan nilai tegangan maka konfigurasi program selanjutnya adalah menentukan nilai *pH*, seperti di tunjukkan pada alamat D114. Pada saat nilai tegangan 2,819 maka di dapatkan nilai *pH* nya adalah 6. Dari data *ladder-ladder PLC* tersebut dapat ditampilkan pad aHMI, seperti ditunjukkan pada **Gambar 22**.

Tabel 10 menjelaskan bahwa hasil pengukuran *pH* dengan metode *PLC* menggunakan sensor *pH* pada saat air limbah belum dilakukan pengolahan di dapatkan nilai 10, sedangkan untuk hasil air limbah sesudah pengolahan mendaptkan nili 6. Nilai *pH* mengalami penurunan yang signifikan setelah dilakukan pengolahan dengan selisih nilai 4, ini menandakan bahwa air limbah dengan pengolahan dapat memberikan efek sangat baik untuk penurunan *pH* dan efektifitas untuk mendapatkan data hasil pengukuran bisa lebih cepat.



Gambar 22. Tampilan pengujian *pH* 6 pada HMI

Data-data yang dihasilkan melalui *ladder-ladder PLC* dan tampilan HMI, seperti ditunjukkan pada Tabel 10.

Tabel 10. Hasil pengujian sensor *pH* dengan metode *PLC*

| Sampel Uji | Hasil Ukur <i>pH</i> | | Suhu (°C) | |
|------------|----------------------|---------|-----------|---------|
| | Sebelum | Sesudah | Sebelum | Sesudah |
| Air Limbah | 10 | 6 | 26.1 | 25.3 |

Hasil Pengujian *Turbidity*

Pengujian pertama dengan sensor *turbidity* dilakukan sebelum air limbah dilakukan pengolahan, pengujian ini dilakukan guna mengetahui hasil pengujian nilai menggunakan *PLC*, adapun hasil pengujian sensor *turbidity* yang terlihat di *program GX work2* berupa *ladder-ladder* dengan hasil pengujian didapatkan nilai 81 *NTU*, seperti ditunjukan pada **Gambar 23**.

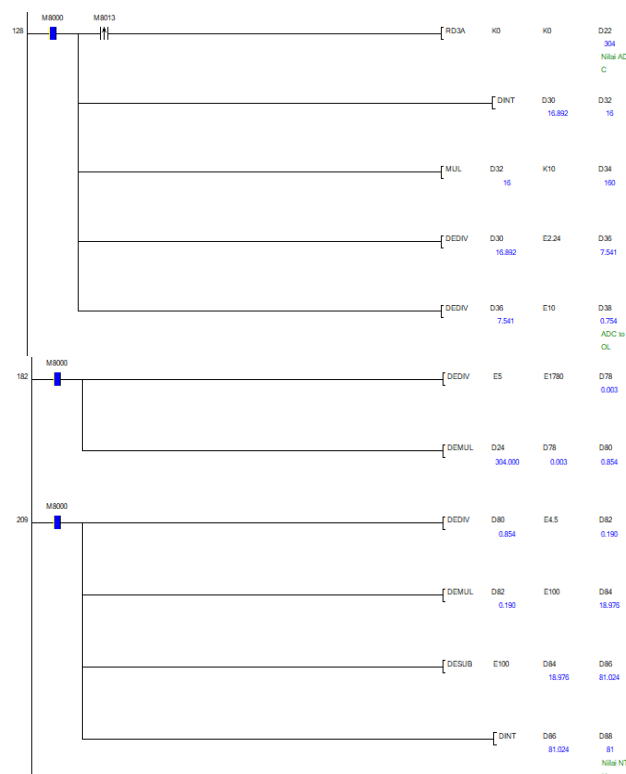
Gambar 23 merupakan susunan program *ladder PLC* untuk merubah nilai *ADC* menjadi nilai tegangan DC, dan dapat dijelaskan bahwa nilai 304 pada alamat D22 adalah nilai *ADC*

(*analog to digital converter*). Perintah DINT adalah untuk merubah bilangan desimal menjadi bilangan bulat seperti terlihat pada alamat D30 dengan nilai 16.892 menjadi 16 pada alamat D32. Perintah MUL adalah untuk perkalian bilangan bulat seperti terlihat pada alamat D32 dan D34. Perintah DEDIV adalah untuk pembagian bilangan desimal seperti terlihat pada alamat D30, D36 dan D38. Sehingga dapat di simpulkan bahwa pada saat ADC menghasilkan nilai 304, maka di dapatkan nilai tegangan sebesar 0,754 Vdc seperti terlihat pada alamat D38. Setelah di dapatkan nilai tegangan maka konfigurasi program selanjutnya adalah menentukan nilai *NTU*, seperti di tunjukkan pada alamat D88. Pada saat nilai tegangan 0,754 maka di dapatkan nilai *NTU* nya adalah 81. Dari data *ladder-ladder PLC* tersebut dapat ditampilkan pad aHMI, seperti ditunjukkan pada **Gambar 24**.

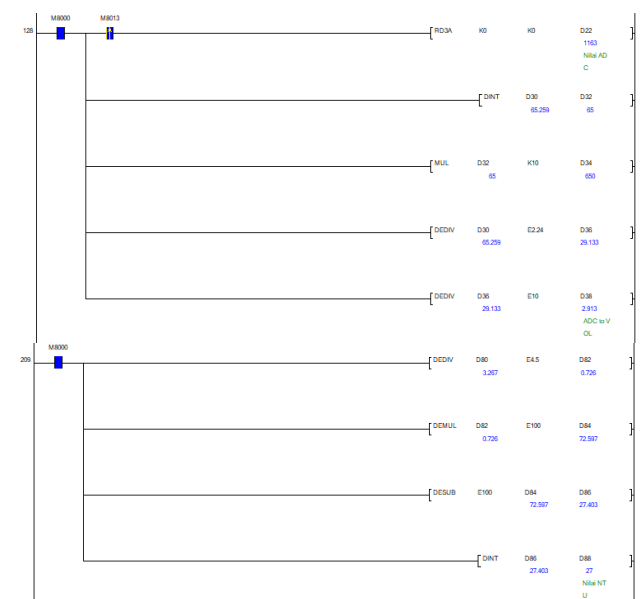


Gambar 24. Tampilan pengujian *turbidity* 81 NTU pada HMI

Pengujian kedua dengan sensor *turbidity* dilakukan sesudah air limbah dilakukan pengolahan, pengujian ini dilakukan guna mengetahui hasil pengujian nilai menggunakan *PLC*, adapun hasil pengujian sensor *turbidity* yang terlihat di *program GX work2* berupa *ladder-ladder* dengan hasil pengujian didapatkan nilai 27 *NTU*, seperti ditunjukkan pada **Gambar 25**.



Gambar 23. Gambar tampilan *ladder* pengujian *turbidity* 81 NTU pada PLC



Gambar 25. Gambar tampilan *ladder* pengujian *turbidity* 27 NTU pada PLC



Gambar 26. Tampilan pengujian *turbidity* 27 NTU pada HMI

Data-data yang dihasilkan melalui *ladder-ladder PLC* dan tampilan HMI, seperti ditunjukkan pada **Gambar 25**. **Gambar 25** adalah susunan program *ladder PLC* untuk merubah nilai ADC menjadi nilai tegangan DC, dan dapat dijelaskan bahwa nilai 1163 pada alamat D22 adalah nilai ADC (*analog to digital converter*). Perintah DINT adalah untuk merubah bilangan desimal menjadi bilangan bulat seperti terlihat pada alamat D30 dengan nilai 65.259 menjadi 65 pada alamat D32. Perintah MUL adalah untuk perkalian bilangan bulat seperti terlihat pada alamat D32 dan D34. Perintah DEDIV adalah untuk pembagian bilangan desimal seperti terlihat pada alamat D30, D36 dan D38. Sehingga dapat di simpulkan bahwa pada saat ADC menghasilkan nilai 1163, maka di dapatkan nilai tegangan sebesar 2,913 Vdc seperti terlihat pada alamat D38. Setelah di dapatkan nilai tegangan maka konfigurasi program selanjutnya adalah menentukan nilai *NTU*, seperti di tunjukkan pada alamat D88. Pada saat nilai tegangan 2,913 maka di dapatkan nilai *NTU* nya adalah 27. Dari data *ladder-ladder PLC* tersebut dapat ditampilkan pada aHMI, seperti ditunjukkan pada **Gambar 26**.

Tabel 11. Hasil pengujian sensor *Turbidity* dengan metode *PLC*

| Sampel Uji | Hasil Ukur | | Suhu (°C) | |
|------------|------------|---------|-----------|---------|
| | Sebelum | Sesudah | Sebelum | Sesudah |
| Trubidity | 81 | 27 | 26,1 | 25,3 |

Tabel 11 bisa dijelaskan bahwa hasil pengukuran *turbidity* dengan metode laboratorium pada saat air limbah belum dilakukan pengolahan

di dapatkan nilai 81, sedangkan untuk hasil air limbah sesudah pengolahan mendaptkan nili 27. Nilai *turbidity* yang mengalami penurunan yang sangat signifikan setelah dilakukan pengolahan dengan selisih nilai 54, ini menandakan bahwa air limbah dengan pengolahan dapat memberikan efek sangat baik untuk penurunan nilai *turbidity* dan efektifitas untuk mendapatkan data hasil pengukuran lebih cepat.

3.6 Perbandingan Pengujian Metode Laboratorium dan Metode *PLC*

Analisa perbandingan pengujian dengan metode laboratorium dan metode *PLC* dilakukan untuk menampilkan seberapa akurasi dan efektif penggunaan *PLC* utuk melihat hasil pengukuran air limbah hasil pengolahan, seperti ditunjukkan pada **Tabel 12** dan **Tabel 13**.

Tabel 12. Perbandingan hasil pengujian *pH* dengan metode laboratorium dan metode *PLC*

| Parameter Uji | Sebelum | | Selisih | Setelah | | Selisih |
|---------------|---------|-----|---------|---------|-----|---------|
| | Lab | PLC | | Lab | PLC | |
| <i>pH</i> | 9,5 | 10 | 0,5 | 6,96 | 6 | 0,96 |

Dari **Tabel 12**, dapat dijelaskan bahwa hasil pengukuran dengan menggunakan dua metode yang berbeda didapatkan selisih hasil pengukuran yang tidak jauh berbeda, baik yang dilakukan sebelum air limbah dilakukan pengelolahn maupun setelah air limbah dilakukan pengelohan. Hasil pengukuran air limbah sebelum pengelohan didaptkan selisih nilai *pH* sebesar 0.5 sedangkan untuk air limbah yang sudah dilakukan pengolahan didapatkan selisih sebesar 0.96. Dari hasil pengujian ini didapatkan *pH* sudah standar dari Permen LHK No. 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik yang menetapkan bahwa nilai kadar *pH* harus berkisar 6 - 9, sehingga air limbah yang dilakukan hasil pengolahan sudah sesuai dengan baku mutu yang ditetapkan Permen LHK No. 68 Tahun 2016. Sedangkan untuk peraturan Permenkes No. 32 Tahun 2017 tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan, baku mutu *pH* berkisar antara 6.5 - 8.5, sehingga nilai *pH* hasil pengujian yang dilakukan juga sudah sesuai dengan standar baku mutu peraturan Permenkes No. 32 Tahun 2017.

Tabel 13. Perbandingan hasil pengujian kekeruhan air dengan metode laboratorium dan metode PLC

| Parameter Uji | Sebelum | | Selisih | Setelah | | Selisih |
|---------------|---------|-----|---------|---------|-----|---------|
| | Lab | PLC | | Lab | PLC | |
| Turbidity | 81,9 | 81 | 0,9 | 27,4 | 27 | 0,4 |

Dari **Tabel 13** dapat dijelaskan bahwa hasil pengukuran dengan menggunakan dua metode yang berbeda didapatkan selisih hasil pengukuran yang tidak jauh berbeda, baik yang dilakukan sebelum air limbah dilakukan pengolahan maupun setelah air limbah dilakukan pengolahan. Hasil pengukuran air limbah sebelum pengolahan didapatkan selisih nilai *turbidity* sebesar 0,9 sedangkan untuk air limbah yang sudah dilakukan pengolahan didapatkan selisih sebesar 0,4. Dari hasil pengujian ini didapatkan nilai *turbidity* belum sesuai dengan peraturan Permenkes No. 32 Tahun 2017 tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan yang menetapkan bahwa nilai kadar *turbidity* harus 25 NTU, sehingga air limbah dilakukan pengolahan lanjutan sehingga air limbah yang hasil pengolahan sesuai dengan baku mutu yang ditetapkan Permenkes No. 32 Tahun 2017.

4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring kualitas air limbah laboratorium berbasis Programmable Logic Controller (PLC) tipe Mitsubishi FX3U-24MR yang terintegrasi dengan sensor pH (SKU: SEN0161), sensor turbidity (SEN0189), dan Human Machine Interface (HMI). Sistem ini mampu melakukan pengukuran secara real-time, otomatis, dan efisien dibandingkan metode laboratorium konvensional.

Hasil pengujian menunjukkan nilai pH sebelum dan sesudah pengolahan masing-masing adalah 10 dan 6 (menggunakan sensor PLC), serta 9,5 dan 6,96 (menggunakan metode laboratorium). Nilai turbidity sebelum dan sesudah pengolahan masing-masing adalah 81 dan 27 NTU (PLC), serta 81,9 dan 27,4 NTU (laboratorium).

Perbedaan hasil antara metode PLC dan laboratorium sangat kecil (selisih < 1), menandakan bahwa sistem berbasis PLC cukup akurat dan andal. Dengan efektivitas waktu dan kemampuan pemantauan kontinu, sistem ini berpotensi untuk diterapkan lebih luas dalam pengelolaan air limbah, terutama pada instalasi yang membutuhkan otomatisasi dan efisiensi tinggi. Sistem ini juga mendukung fleksibilitas pemrograman, memudahkan kalibrasi dan

penyesuaian tanpa perlu perubahan perangkat keras.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Pusat Penelitian & Penerbitan (PUSLITPEN) UIN Syarif Hidayatullah Jakarta atas dukungan finansial melalui hibah penelitian kapasitas pemula dengan nomor kontrak B301/LP2MPUSLITPEN/TL.02/2023 sehingga terlaksananya kegiatan penelitian.

Daftar Pustaka

- Agarwal, V., Mehta, S., & Patel, H. (2020). Real-time monitoring and control of pH in industrial processes using PLC and SCADA. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 9(5), 1–6.
- Alonso, M., Rodríguez, P., & Domínguez, D. (2020). Human–Machine Interfaces in Industry 4.0: A Review of Technologies and Trends. *Journal of Industrial Information Integration*, 18, 100125. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2020.100125>
- Bolton, W. (2015). *Programmable Logic Controllers* (6th ed.). Newnes.
- Chaitra, K., & Shree, P. (2020). Kontrol pH pada Instalasi Pengolahan Air Limbah Menggunakan PLC. *International Journal of Technical Science and Research Development*, 9(3), 87-94
- De Coste, J.B., & Peterson, G.W. (2014). Metal-Organic Frameworks for Air Purification of Toxic Chemicals. *Chem. Rev.*, 114, 5695–5727. <https://doi.org/10.1021/cr4006473>
- Franklin, G. F., Powell, J. D., & Emami-Naeini, A. (2015). *Feedback Control of Dynamic Systems* (7th ed.). Pearson.
- Hendra, Indriani, A., Hernadewita, & Rizal, Y. (2016). Assembly Programmable Logic Control (PLC) in the Rotary Dryer Machine for Processing Waste Liquid System. *Applied Mechanics and Materials*, 842, 319-323. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.842.319>
- Hendra, Yulianto, A.S., Indriani, A., Hernadewita, & Hermiyetti. (2018). Control Systems of Rubber Dryer Machinery Components using Programmable Logic Control (PLC). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 307, 012-021. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/307/1/012021>.

- Kim, J., Lee, D., & Choi, S. (2021). Integration of HMI with smart sensors for adaptive process control in water treatment systems. *Sensors*, 21(8), 2714. <https://doi.org/10.3390/s21082714>
- Langmann, R., & Stiller, M. (2019). The PLC as a Smart Service in Industry 4.0 Production Systems. *Appl. Sci.*, 9(18), 1-20. <https://doi.org/10.3390/app9183815>
- Lellis, B., Fávaro-Polonio, C.Z., Pamphile, J.A., & Polonio, J.C. (2019). Effects of Textile Dyes on Health and The Environment and Bioremediation Potential of Living Organisms. *Biotechnol. Res. Innov.*, 3(2), 275–290. <https://doi.org/10.1016/j.biori.2019.09.001>
- Moorthy, A.K., Rathi, B.G., Shukla, S.P., Kumar, K., & Bharti, V.S. (2020). Acute toxicity of textile dye Methylene blue on growth and metabolism of selected freshwater microalgae. *Environ. Toxicology and Pharmacology.*, 82, 103552. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2020.103552>
- Petruzella, F. D. (2010). *Programmable Logic Controllers* (4th ed.). McGraw-Hill Education.
- Prasetyo, D., Yuliana, S., & Setiawan, A. (2018). Desain Sistem Kontrol Kualitas Air pada Otomatisasi Kincir Air dan Penggantian Air Tambak Udang. *Jurnal Teknik Kimia Indonesia*, 3(1), 45-53.
- Rahmani, M., Naderpour, M., & Lu, J. (2022). A Framework for Intelligent Human-Machine Interaction in Cyber-Physical Systems. *Computers & Industrial Engineering*, 171, 108426. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108426>
- Santos, F. R., Souza, D. G., & Silva, M. F. (2021). Designing Flexible HMIs for Industrial Automation: Integration with SCADA and PLC Systems. *International Journal of Automation and Smart Technology*, 11(1), 1–9. <https://doi.org/10.5875/ijast.2021.11.1.1>
- Sari, A. R., & Hidayat, W. (2020). Rancang Bangun Sistem Kendali dan Monitoring Pengolahan Air Limbah Berbasis PLC. *Jurnal Teknologi*, 5(2), 102-108.
- Sari, M. I., & Yudha, P. (2021). Sistem Pengolahan Air Limbah Hotel Berbasis Kontrol PLC. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 4(2), 121-130.
- Susanto, A., & Sunomo. (2017). Modul Programmable Logic Controller (PLC) Berbasis Arduino Severino. *Jurnal Edukasi Elektro*, 1(2), 99-109. <https://doi.org/10.21831/jee.v1i2.17413>
- Zhang, Y., Li, H., & Liu, J. (2022). Design and implementation of a smart pH monitoring system based on industrial IoT. *Journal of Industrial Information Integration*, 27, 100289. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2021.100289>