

**LAPORAN MAGANG INDUSTRI
PENGEMBANGAN FIRMWARE DAN HMI UNTUK
SISTEM KONTROL & MONITORING KADAR DO PADA
AREA WWTP PT. XYZ**

Disusun sebagai syarat untuk mengikuti Ujian Akhir
Politeknik Negeri Malang

Disusun Oleh:
IWAN DWI PURWANTO (244101077019)



**PROGRAM STUDI D-IV TEKNIK ELEKTRONIKA
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI MALANG**

2025

LEMBAR PENGESAHAN
PENGEMBANGAN FIRMWARE DAN HMI UNTUK
SISTEM KONTROL & MONITORING KADAR DO PADA
AREA WWTP PT. XYZ
02 JANUARI – 01 JULI 2025

Disusun Oleh:

IWAN DWI PURWANTO

NIM. 244101077019

PROGRAM STUDI D-IV TEKNIK ELEKTRONIKA
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI MALANG
Pandaan, 02 Januari – 01 Juli 2025
Di PT. XYZ



Mengetahui,
Dosen Pembimbing

Koordinator Kegiatan Magang

Sungkono, S.T., M.T.
NIP. 197011112001121001

Fitri, S.T., M.T.
NIP. 198411022019032016

Mengesahkan,
Ketua Jurusan Teknik Elektro

Koordinator Program Studi
D4 Teknik Elektronika

Ir. Mohammad Noor Hidayat, S.T., Msc., Ph.D.
NIP. 197409252001121003

Hari Kurnia Safitri, S.T., M.T.
NIP. 197307132002122002

LEMBAR PENGESAHAN
PENGEMBANGAN FIRMWARE DAN HMI UNTUK
SISTEM KONTROL & MONITORING KADAR DO PADA
AREA WWTP PT. XYZ
02 JANUARI – 01 JULI 2025

Disusun Oleh:

IWAN DWI PURWANTO

NIM. 244101077019

Disahkan Oleh,
Pembimbing Lapangan

Handi Setia Wijaya
Kepala Bagian Divisi Automation

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN
LAPORAN MAGANG INDUSTRI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di dalam Naskah Laporan Praktik Kerja Lapangan ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain dan tidak terdapat karya atau pendapat orang lain kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah LAPORAN MAGANG INDUSTRI ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur PLAGIASI, saya bersedia LAPORAN MAGANG INDUSTRI ini digugurkan dan dibatalkan serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Malang,
Mahasiswa,

Iwan Dwi Purwanto
NIM. 244101077019

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT, Tuhan yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga dapat menyelesaikan Laporan Magang Industri di PT. XYZ yang berjudul “Pengembangan Firmware dan HMI untuk Sistem Kontrol & Monitoring Kadar DO pada Area WWTP” sebagai salah satu persyaratan untuk mengikuti ujian akhir.

Dalam penyusunan laporan ini, penulis menyadari bahwa selesainya laporan Magang Industri ini tidak lepas dari dukungan serta bimbingan dari berbagai pihak, baik bersifat moril maupun materiil. Pada kesempatan ini penyusun mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dan mendukung terlaksananya Program Magang Industri kepada:

1. Allah SWT yang telah memberi anugerah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Magang Industri di PT. XYZ
2. Keluarga, khususnya kepada kedua orang tua yang telah memberikan dukungan moril maupun materiil serta doa yang tiada henti.
3. Bapak Supriatna Adhisuwignjo, S.T., M.T. selaku Direktur Politeknik Negeri Malang.
4. Bapak Mohammad Noor Hidayat, S.T., M.Sc., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Malang.
5. Ibu Hari Kurnia Safitri, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Sarjana Terapan Teknik Elektronika Politeknik Negeri Malang.
6. Ibu Fitri, S.T., M.T selaku Koordinator Kegiatan Magang.
7. Bapak Sungkono, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Magang Politeknik Negeri Malang.
8. Ibu Yoshiko selaku HRD yang telah menerima, memberikan bimbingan, motivasi, dan nasihat serta pengarahan kepada penulis.
9. Bapak Handi Setia Wijaya selaku Kepala Divisi Automation sekaligus pembimbing lapangan yang telah berkenan memberikan izin dan arahan kepada penulis selama penyusunan laporan Magang Industri berlangsung.

10. Serta semua pihak yang telah mendukung dan membantu penulis dalam penulisan Laporan Magang Industri ini.

Demikian yang dapat penulis sampaikan, penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam laporan ini, sehingga penulis mengharapkan kritikan dan saran dari semua pihak pembaca yang bersifat membangun demi kesempurnaan laporan ini. Semoga dengan adanya laporan ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	iii
LAPORAN MAGANG INDUSTRI.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan	4
1.2.1 Tujuan Umum Pelaksanaan Kegiatan Magang	4
1.2.2 Tujuan Khusus Pelaksanaan Kegiatan Magang.....	4
1.3 Manfaat	5
1.3.1 Manfaat Magang Bagi Mahasiswa	5
1.3.2 Manfaat Magang Bagi Industri.....	5
1.3.3 Manfaat Magang Bagi Politeknik Negeri Malang.....	5
1.4 Tempat Magang Industri	6
1.5 Jadwal Kegiatan	6
BAB II GAMBARAN UMUM PERUSAHAAN	7
2.1 Sejarah Berdirinya PT. XYZ.....	7
2.2 Visi & Misi.....	8
2.2.1 Visi Perusahaan	8
2.2.2 Misi Perusahaan.....	8
2.3 Struktur Organisasi PT. XYZ.....	8

2.4	Deskripsi Jabatan	9
BAB III DASAR TEORI		11
3.1	DO (<i>Dissolved Oxygen</i>) dalam Sistem Pengolahan Air Limbah	11
3.2	Sensor DO (<i>Dissolved Oxygen</i>)	12
3.3	HMI (<i>Human Machine Interface</i>)	13
3.4	Mikrokontroler Wemos D1 R2 (ESP8266).....	14
3.5	Arduino IDE untuk Pengembangan Firmware.....	15
3.6	PI Studio untuk Pengembangan Aplikasi HMI.....	16
BAB IV URAIAN KEGIATAN MAGANG.....		17
4.1	Pengembangan Firmware Sistem Robot Palletizer	17
4.2	Pengembangan Firmware Sistem <i>Vending Machine</i>	19
4.3	Implementasi Firmware dan HMI untuk Sistem Monitoring dan Kontrol <i>Dissolved Oxygen</i> WWTP	20
4.4	Riset Kolaboratif dan Pengembangan Firmware Alat <i>Weighing</i> Roti 22	
4.5	Finalisasi Proyek dan Evaluasi Sistem.....	23
BAB V HASIL STUDI KASUS.....		25
5.1	Identifikasi Permasalahan Sistem Kontrol Aerator	25
5.2	Analisis Kebutuhan Sistem Monitoring dan Kontrol Otomatis	26
5.3	Perancangan Arsitektur Sistem Monitoring dan Kontrol DO	28
5.4	Implementasi Firmware untuk Akuisisi Data dan Algoritma Kontrol 31	
5.5	Pengembangan Antarmuka HMI untuk <i>Monitoring</i> dan Kontrol Operator.....	34
5.6	Pengujian Sistem dan Validasi Kinerja.....	36
5.7	Hasil dan Pembahasan.....	38
BAB VI PENUTUP		41

6.1	Kesimpulan	41
6.2	Saran.....	41
DAFTAR PUSTAKA		43
LAMPIRAN.....		44

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Lokasi PT. XYZ	6
Gambar 2.1 Struktur Organisasi PT. XYZ.....	9
Gambar 3.1 Dissolved Oxygen Sensor SKU SEN0237	12
Gambar 3.2 HMI Wecon PI3070ie	13
Gambar 3.3 Mikrokontroler WEMOS D1 R2.....	14
Gambar 3.4 Wecon PI Studio HMI Software	16
Gambar 4.1 Dokumentasi Robot Palletizer.....	17
Gambar 4.2 Vending Machine	19
Gambar 4.3 Tampilan Desain HMI.....	20
Gambar 5. 1 Area WWTP	25
Gambar 5.2 Dokumentasi Pengerjaan Firmware	32
Gambar 5.3 Dokumentasi Pengerjaan HMI	34

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Dokumentasi Pengerjaan Firmware Sistem Kontrol Monitoring DO	44
Lampiran 2 Dokumentasi Pengerjaan Firmware Robot Palletizer.....	44
Lampiran 3 Sensor DO DF Robot.....	45
Lampiran 4 Kalibrasi Sensor DO.....	45
Lampiran 5 Dokumentasi VFD (Variable Frequency Drive)	45

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Magang merupakan salah satu bentuk kegiatan pembelajaran yang memberikan kesempatan bagi mahasiswa untuk memperoleh pengalaman kerja nyata di dunia industri. Di Politeknik Negeri Malang, magang menjadi salah satu syarat wajib kelulusan, khususnya bagi mahasiswa Program Studi D-IV Teknik Elektronika. Kegiatan ini dirancang untuk memperkaya pemahaman mahasiswa terhadap penerapan teori yang telah dipelajari selama perkuliahan, serta meningkatkan keterampilan dan kesiapan mereka sebelum memasuki dunia kerja secara profesional.

Selama pelaksanaan magang, mahasiswa dituntut untuk terlibat secara aktif dalam proses kerja perusahaan, termasuk dalam mengembangkan solusi teknologi untuk menyelesaikan permasalahan riil di lapangan. Salah satu lokasi magang yang dipilih untuk program ini adalah PT. XYZ, sebuah perusahaan yang memiliki sistem Instalasi Pengolahan Air Limbah (WWTP) sebagai bagian dari operasionalnya. Di area WWTP ini, ditemukan permasalahan yang cukup penting, yaitu kebutuhan akan pengembangan firmware tertanam dan antarmuka HMI untuk sistem pemantauan dan pengendalian kadar oksigen terlarut (DO) secara otomatis.

Sistem pemantauan dan pengendalian DO yang ada saat ini masih mengandalkan pendekatan konvensional dengan pemantauan manual menggunakan perangkat portabel dan pengendalian motor aerator yang tidak optimal. Hal ini mengakibatkan beberapa permasalahan teknis, antara lain: ketidakmampuan melakukan pemantauan berkelanjutan selama 24 jam per hari, 7 hari per minggu, pengendalian motor aerator 45kW yang berjalan pada kecepatan konstan tanpa mempertimbangkan kebutuhan oksigenasi aktual, serta ketiadaan antarmuka operator yang memadai untuk pemantauan dan pengendalian sistem secara terpusat.

Pengembangan firmware tertanam menjadi aspek kritis dalam implementasi sistem otomasi industri modern. Firmware yang dirancang khusus dapat mengintegrasikan algoritma pengendalian waktu nyata, protokol komunikasi

industri, dan antarmuka sensor-aktuator dalam satu *platform* yang efisien. Mikrokontroler modern seperti ESP8266 menyediakan kemampuan komputasi yang memadai untuk aplikasi pengendalian industri sekaligus mempertahankan efisiensi biaya yang dibutuhkan untuk penerapan pada skala industri.

Antarmuka HMI merupakan komponen vital yang menjembatani sistem otomatis dengan operator manusia, menyediakan visualisasi waktu nyata dari parameter proses kritis dan otoritas pengendalian yang diperlukan untuk operasi yang aman dan efisien. HMI yang dirancang dengan baik memungkinkan operator untuk melakukan pemantauan berkelanjutan, melakukan penggantian pengendalian dalam situasi darurat, dan mengakses data historis untuk analisis tren dan optimasi proses.

Berdasarkan latar belakang tersebut, saya melaksanakan kegiatan magang selama kurang lebih 5,5 bulan di PT. XYZ dengan mengangkat tema "Pengembangan Firmware Tertanam dan Antarmuka HMI untuk Monitoring dan Kontrol Kadar DO di Area WWTP PT. XYZ". Dalam kegiatan ini, saya mengembangkan firmware khusus berbasis mikrokontroler ESP8266 yang mampu melakukan pemrosesan data sensor DO secara *real-time*, mengimplementasikan algoritma pengendalian untuk pengaturan Variable Frequency Drive (VFD), dan mengintegrasikan komunikasi dengan antarmuka HMI untuk pemantauan dan pengendalian operator.

Pengembangan firmware tertanam dalam aplikasi ini meliputi beberapa aspek teknis yang kompleks, termasuk implementasi algoritma pengendalian untuk menjaga nilai *setpoint* DO dalam rentang optimal 2-4 ppm, pengembangan komunikasi protokol Modbus RTU untuk interfacing dengan HMI, integrasi pengkondisian sensor dan pemrosesan sinyal untuk akurasi pengukuran, serta implementasi pengaman dan penanganan kesalahan untuk operasi yang dapat diandalkan dalam lingkungan industri.

Aspek antarmuka HMI mencakup pengembangan antarmuka pengguna yang intuitif untuk operator, visualisasi data waktu nyata untuk parameter kritis sistem, implementasi manajemen alarm untuk kondisi abnormal, serta penyediaan untuk pencatatan data historis dan analisis. HMI yang dikembangkan menggunakan

platform Wecon PI3070ie dengan layar sentuh 7 inci yang menyediakan keandalan tingkat industri dan dukungan asli untuk komunikasi Modbus.

Sistem yang dikembangkan diharapkan dapat meningkatkan efisiensi energi melalui pengendalian kecepatan variabel motor aerator, memperpanjang umur peralatan dengan operasi yang dioptimalkan, menjaga kualitas proses pengolahan air limbah secara optimal, dan menyediakan *platform* pemantauan yang komprehensif untuk keunggulan operasional. Implementasi firmware dan HMI yang terintegrasi menjadi fondasi bagi pengembangan sistem pemantauan multi-parameter di masa depan dan integrasi dengan sistem otomasi seluruh pabrik.

Fokus utama dari kegiatan magang ini adalah pada aspek pengembangan perangkat lunak, khususnya pemrograman firmware ESP8266 dan perancangan antarmuka HMI. Berbeda dengan pendekatan perangkat keras yang berfokus pada instalasi dan konfigurasi komponen fisik, pengembangan firmware tertanam memerlukan pemahaman mendalam tentang pemrograman embedded system, manajemen memori, optimasi kode, dan implementasi protokol komunikasi *real-time*. Perancangan HMI juga melibatkan aspek ergonomi antarmuka pengguna, hierarki informasi, dan responsivitas sistem untuk lingkungan operasional industri.

Melalui magang ini, saya berkesempatan menerapkan pengetahuan yang telah diperoleh selama perkuliahan, khususnya dalam bidang pemrograman embedded system, protokol komunikasi industri, dan perancangan antarmuka HMI, sekaligus memperluas wawasan dan pengalaman di bidang otomasi industri. Kegiatan ini juga menjadi media pembelajaran yang berharga dalam memahami tantangan teknis dalam pengembangan firmware untuk aplikasi *mission-critical* dan solusi praktis dalam implementasi HMI untuk lingkungan operasional industri pengolahan air limbah.

1.2 Tujuan

Adapun tujuan dari pelaksanaan kegiatan Magang ini di bagi menjadi dua, yaitu tujuan secara umum dan secara khusus.

1.2.1 Tujuan Umum Pelaksanaan Kegiatan Magang

- a. Merupakan salah satu syarat kelulusan mahasiswa Diploma IV Jurusan Teknik Elektronika Politeknik Negeri Malang untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan.
- b. Melatih kemampuan mahasiswa dalam merancang, menganalisis, dan mengimplementasikan sistem kendali berbasis mikrokontroler untuk pemecahan masalah nyata di dunia industri.
- c. Menumbuhkan pemahaman terhadap proses kerja dan standar teknis di industri pengolahan limbah, serta membangun jejaring profesional untuk pengembangan karir ke depan.

1.2.2 Tujuan Khusus Pelaksanaan Kegiatan Magang

- a. Mengembangkan firmware tertanam berbasis mikrokontroler ESP8266 untuk sistem monitoring dan kontrol kadar oksigen terlarut (DO) secara otomatis dengan implementasi algoritma kontrol yang responsif terhadap kondisi aktual di area WWTP PT. XYZ.
- b. Merancang dan mengimplementasikan antarmuka HMI menggunakan PI Studio untuk visualisasi data *real-time*, kontrol operator, dan manajemen alarm sistem monitoring kadar DO dengan komunikasi Modbus RTU yang handal.
- c. Mengintegrasikan protokol komunikasi antara firmware mikrokontroler dan HMI untuk pertukaran data bidirectional, serta mengimplementasikan sistem pencatatan data digital untuk analisis tren dan optimasi proses pengolahan air limbah.
- d. Berkolaborasi dengan tim teknisi dan engineer perusahaan dalam penyelesaian proyek dan mendapatkan pengalaman langsung dalam koordinasi pekerjaan di lingkungan industri.

1.3 Manfaat

Adapun manfaat dari penyelenggaraan kegiatan Magang di PT. XYZ, dibedakan menjadi 2 yaitu sebagai berikut:

1.3.1 Manfaat Magang Bagi Mahasiswa

- a. Mendapatkan pengalaman langsung dalam industri, yang sangat berharga bagi kesiapan memasuki dunia kerja setelah lulus.
- b. Mahasiswa dapat mengembangkan keterampilan komunikasi, kerjasama tim, dan problem-solving yang sangat dibutuhkan dalam dunia kerja.

1.3.2 Manfaat Magang Bagi Industri

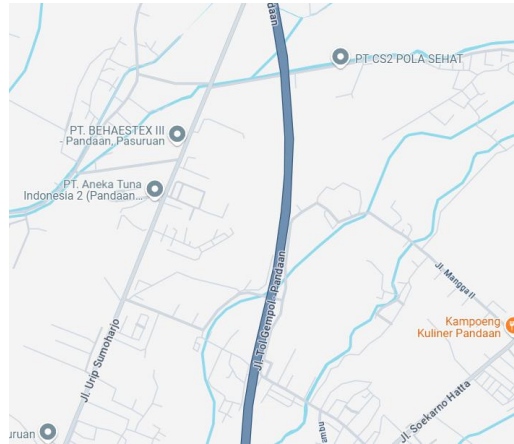
- a. Mahasiswa yang terlibat dalam proyek-proyek spesifik dapat membantu meningkatkan produktivitas dengan memberikan kontribusi langsung dalam tugas-tugas yang diperlukan.
- b. Menyediakan program magang yang baik dapat meningkatkan citra perusahaan di mata calon pekerja muda dan lembaga pendidikan, serta menunjukkan bahwa perusahaan peduli terhadap pengembangan keterampilan tenaga kerja masa depan.

1.3.3 Manfaat Magang Bagi Politeknik Negeri Malang

- a. Melalui kerjasama dengan perusahaan yang menawarkan program magang, kampus dapat memperluas jaringannya dengan berbagai industri, yang pada gilirannya dapat membuka peluang kolaborasi lebih lanjut dalam riset, proyek, atau rekrutmen.
- b. Melalui magang, mahasiswa bisa mendapatkan wawasan praktis dan langsung dari dunia industri, yang sangat penting untuk pengembangan karir dan pemahaman lebih mendalam tentang apa yang mereka pelajari di kelas.

1.4 Tempat Magang Industri

Kegiatan Magang dilaksanakan di PT. XYZ yang berlokasi di Desa Kemiri Sewu, Kec. Pandaan, Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur 67156.



Gambar 1.1 Lokasi PT XYZ

1.5 Jadwal Kegiatan

Adapun waktu dan tempat pelaksanaan Magang ini adalah:

- Jam Kerja : 07:30 – 16:30 (Senin sampai Jum'at)
- Tempat : PT. XYZ
- Alamat : Desa Kemiri Sewu, Kec. Pandaan, Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur 67156.

BAB II

GAMBARAN UMUM PERUSAHAAN

2.1 Sejarah Berdirinya PT. XYZ

Perusahaan ini didirikan pada tahun 2010, dengan kantor pusat yang berlokasi di Pandaan, Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur, dan memiliki pabrik di kawasan industri sekitar. Perusahaan ini memiliki luas lahan sekitar 5 Ha.

Perusahaan ini mulai beroperasi pada tahun 2012 dengan memproduksi berbagai jenis minuman siap saji dalam kemasan. Seiring berkembangnya permintaan pasar dan kesadaran masyarakat akan gaya hidup sehat, perusahaan ini terus berinovasi dan memperluas produk-produknya. Saat ini, perusahaan telah memiliki lebih dari 500 karyawan yang tersebar di berbagai divisi, mulai dari produksi, pemasaran, hingga riset dan pengembangan.

Pada tahun 2017, perusahaan melakukan ekspansi dengan menambah fasilitas produksi baru yang dilengkapi dengan teknologi mesin canggih dari Jerman dan Jepang. Pabrik baru ini mendukung peningkatan kapasitas produksi dan efisiensi operasional, sekaligus meningkatkan kualitas produk yang dihasilkan.

Perusahaan ini berorientasi pada pasar domestik dan internasional, dengan produk yang telah berhasil menembus pasar ekspor, terutama di negara-negara Asia Tenggara dan Eropa. Bahan baku utama yang digunakan berasal dari berbagai sumber terpercaya, baik lokal maupun internasional, seperti dari Thailand, India, dan Australia.

Pada tahun 2019, perusahaan berhasil memperoleh sertifikasi Sistem Manajemen Mutu ISO 22000:2018, yang menandakan komitmen perusahaan terhadap kualitas dan keamanan produk pangan.

Perusahaan ini memproduksi berbagai jenis minuman siap saji dalam kemasan, yang terbuat dari bahan-bahan pilihan dan diproduksi dengan standar kualitas tinggi serta ramah lingkungan.

2.2 Visi & Misi

2.2.1 Visi Perusahaan

Visi perusahaan adalah menjadi pemimpin pasar dalam industri minuman siap saji dalam kemasan, dengan fokus pada kualitas, inovasi, dan kepuasan pelanggan.

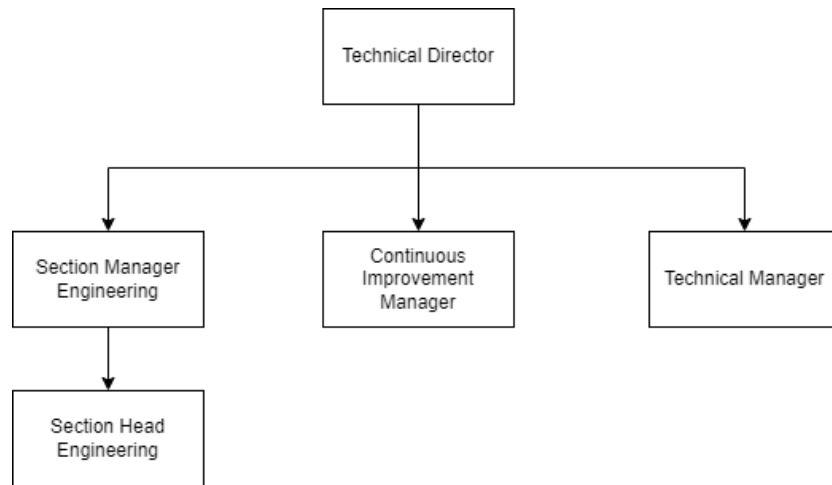
2.2.2 Misi Perusahaan

- a. Menghasilkan produk minuman siap saji berkualitas tinggi yang memenuhi kebutuhan dan harapan konsumen.
- b. Berinovasi secara berkelanjutan untuk menghadirkan produk-produk baru yang relevan dengan tren dan preferensi pasar.
- c. Membangun hubungan yang kuat dan saling menguntungkan dengan pelanggan, mitra, dan pemangku kepentingan lainnya.
- d. Menjaga keberlanjutan lingkungan melalui praktik produksi yang ramah lingkungan dan bertanggung jawab sosial.

2.3 Struktur Organisasi PT. XYZ

Struktur organisasi merupakan hal yang sangat penting karena struktur organisasi dibentuk untuk memungkinkan tercapainya tujuan perusahaan melalui pengelompokan aktivitas yang saling berhubungan satu sama lain. PT. XYZ menggunakan suatu bentuk organisasi garis, yaitu pembagian wewenang dan tanggung jawab yang jelas mulai dari pimpinan puncak hingga pelaksana di lapangan. Dengan sistem ini, alur koordinasi dan komunikasi antar bagian menjadi lebih terstruktur sehingga mendukung efisiensi dan efektivitas kerja.

Adapun struktur organisasi yang ada di PT. XYZ adalah sebagai berikut:



Gambar 2.1 Struktur Organisasi PT. XYZ

2.4 Deskripsi Jabatan

Deskripsi jabatan pada PT. XYZ yaitu:

1. Technical Director

- Bertanggung jawab atas keseluruhan arah teknis dan strategis perusahaan.
- Mengawasi dan mengevaluasi kinerja seluruh tim di bawahnya (Section Manager Engineering, Continuous Improvement Manager, dan Technical Manager)
- Menentukan kebijakan teknis jangka panjang, teknologi baru yang akan diadopsi, serta standardisasi sistem dan proses kerja.
- Menjadi pengambil keputusan utama dalam proyek strategis dan alokasi sumber daya teknis.

2. Section Manager Engineering

- Memimpin dan mengelola seluruh kegiatan engineering dalam lingkup divisi tertentu.
- Bertanggung jawab terhadap kinerja dan pencapaian target teknis dari tim engineering.
- Berkoordinasi langsung dengan Technical Director terkait pelaporan dan implementasi kebijakan teknis.
- Mengawasi Section Head Engineering dan memastikan pelaksanaan teknis berjalan sesuai rencana.

3. Section Head Engineering

- Bertanggung jawab terhadap pelaksanaan teknis operasional harian di bawah arahan Section Manager.
- Mengatur pembagian tugas dalam tim engineer dan teknisi.
- Melaporkan progres, masalah teknis, serta kebutuhan sumber daya kepada Section Manager.
- Memastikan kualitas hasil kerja dan kepatuhan terhadap prosedur teknis yang berlaku.

4. Continuous Improvement Manager

- Bertugas untuk menganalisis dan meningkatkan efisiensi proses kerja teknik dan produksi.
- Mengimplementasikan pendekatan perbaikan berkelanjutan seperti Lean, Kaizen, atau Six Sigma.
- Bekerja lintas fungsi untuk mengidentifikasi masalah dan mengusulkan solusi peningkatan.
- Melaporkan hasil evaluasi dan rekomendasi perbaikan kepada Technical Director.

5. Technical Manager

- Mengelola proyek teknis dan kegiatan pemeliharaan serta pengembangan sistem atau mesin.
- Mengatur penjadwalan, alokasi sumber daya, serta pemantauan pelaksanaan proyek.
- Menjadi penghubung antara tim teknis dengan pihak manajemen untuk menjamin keselarasan kebutuhan teknis dan bisnis.
- Memastikan dokumentasi teknis dan SOP berjalan sesuai standar perusahaan.

BAB III

DASAR TEORI

3.1 DO (*Dissolved Oxygen*) dalam Sistem Pengolahan Air Limbah

Dissolved Oxygen (DO) atau oksigen terlarut merupakan parameter kritis dalam proses pengolahan air limbah biologis. Oksigen terlarut adalah jumlah oksigen yang terkandung dalam air dan sangat dibutuhkan oleh mikroorganisme aerobik untuk menguraikan bahan organik dalam air limbah. Proses aerobik ini memerlukan kondisi DO yang optimal untuk menjaga efektivitas dan efisiensi pengolahan.

Dalam sistem WWTP, kadar DO harus dijaga dalam rentang tertentu untuk mempertahankan aktivitas mikroorganisme aerobik. Berdasarkan standar operasional pengolahan air limbah, klasifikasi kadar DO dapat dibagi menjadi:

1. DO kurang dari 2 ppm: Kondisi kritis yang dapat menyebabkan kondisi anaerobik dan menghasilkan bau tidak sedap serta gas berbahaya seperti H_2S .
2. DO 2-4 ppm: Rentang optimal untuk pertumbuhan bakteri aerobik dan efisiensi pengolahan maksimal.
3. DO lebih dari 4 ppm: Pemborosan energi tanpa peningkatan efisiensi pengolahan yang signifikan.

Pentingnya pemantauan DO secara berkelanjutan terletak pada kemampuan sistem untuk merespon perubahan beban organik secara waktu nyata. Fluktuasi beban organik yang masuk ke sistem WWTP dapat terjadi sepanjang hari, sehingga kebutuhan oksigen juga berubah dinamis. Sistem pengendalian otomatis memberikan keuntungan operasional berupa:

- a) Penyesuaian kecepatan aerator sesuai dengan kebutuhan aktual.
- b) Optimasi konsumsi energi sambil mempertahankan kualitas pengolahan.
- c) Stabilitas proses pengolahan air limbah secara konsisten.

3.2 Sensor DO (*Dissolved Oxygen*)

Sensor DO adalah komponen transduser yang mengkonversi konsentrasi oksigen terlarut dalam air menjadi sinyal elektrik yang dapat diproses oleh sistem mikroprosesor. Sensor DO yang digunakan dalam sistem ini adalah DFRobot DO Sensor yang mengoperasikan prinsip elektrokimia dengan konfigurasi sel galvanik.



Gambar 3.1 *Dissolved Oxygen* Sensor SKU SEN0237

Prinsip kerja sensor elektrokimia didasarkan pada reaksi reduksi oksigen pada katoda yang menghasilkan arus listrik proporsional dengan konsentrasi DO. Sensor DFRobot DO menghasilkan sinyal analog 0-3V yang merepresentasikan rentang pengukuran 0-20 ppm, dengan akurasi $\pm 2\%$ pada kondisi operasional normal. Sensor ini dilengkapi dengan kompensasi suhu otomatis melalui sensor suhu terintegrasi untuk mempertahankan akurasi pengukuran pada variasi suhu lingkungan.

Karakteristik teknis sensor yang mendukung aplikasi pemantauan industri meliputi:

1. Waktu respons cepat dengan stabilisasi T90 kurang dari 60 detik untuk perubahan konsentrasi.
2. Linearitas output dengan toleransi $\pm 2\%$ full scale pada rentang operasional 0-20 ppm.
3. Kalibrasi menggunakan larutan standar NaOH sesuai prosedur pembuat untuk akurasi jangka panjang.

Implementasi sensor dalam sistem kontrol memerlukan kondisioning sinyal yang tepat untuk mengoptimalkan akurasi pembacaan dan meminimalkan noise elektrik dari lingkungan industri.

3.3 HMI (*Human Machine Interface*)

HMI (*Human Machine Interface*) berfungsi sebagai jembatan komunikasi antara operator dan sistem otomasi, menyediakan visualisasi proses waktu nyata dan otoritas pengendalian yang diperlukan untuk operasi yang aman dan efisien. HMI dalam sistem pemantauan DO dirancang untuk memberikan kesadaran situasional yang komprehensif kepada operator mengenai status sistem dan parameter operasional.



Gambar 3.2 HMI Wecon PI3070ie

Implementasi HMI menggunakan *platform* Wecon PI3070ie dengan layar sentuh 7 inci yang menyediakan *interface* operator yang responsif dan intuitif. Desain HMI mengikuti prinsip ergonomi kognitif dengan hierarki informasi yang jelas, konsistensi visual, dan responsivitas yang optimal untuk lingkungan operasional industri.

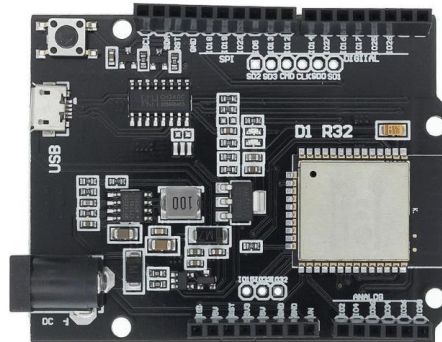
Fungsi utama yang diimplementasikan dalam antarmuka HMI mencakup:

- a) Visualisasi data waktu nyata untuk parameter DO, frekuensi motor, dan status sistem operasional.
- b) Antarmuka pengendalian operator untuk override manual dan pengaturan *setpoint* sistem.
- c) Manajemen alarm dengan indikator visual dan audio untuk kondisi abnormal atau kritis.

Komunikasi antara HMI dan mikrokontroler menggunakan protokol Modbus RTU melalui antarmuka RS485, memungkinkan pertukaran data dua arah yang dapat diandalkan dengan implementasi *error checking* dan *protocol validation* untuk memastikan integritas data.

3.4 Mikrokontroler Wemos D1 R2 (ESP8266)

Wemos D1 R2 adalah papan pengembangan berbasis *System-on-Chip* ESP8266 yang mengintegrasikan prosesor 32-bit, transceiver WiFi, dan peripheral I/O dalam kemasan yang kompak. *Platform* ini dipilih karena menyediakan kemampuan komputasi yang memadai untuk aplikasi pengendalian waktu nyata dengan efektivitas biaya yang sesuai untuk penerapan industri.



Gambar 3.3 Mikrokontroler WEMOS D1 R2

ESP8266 mengoperasikan prosesor Tensilica L106 32-bit pada frekuensi 80MHz dengan arsitektur memori yang mendukung aplikasi kontrol industri. Konfigurasi peripheral memungkinkan implementasi pengambilan sampel sensor, algoritma pengendalian, dan komunikasi protokol dalam prosesor tunggal.

Spesifikasi teknis yang relevan untuk aplikasi kontrol DO meliputi:

1. Arsitektur memori: 64KB RAM instruksi dan 96KB RAM data untuk eksekusi program *real-time*.
2. Peripheral terintegrasi: ADC 10-bit untuk *interface* sensor analog, multiple GPIO untuk I/O digital.
3. Komunikasi serial: UART *interface* untuk protokol Modbus RTU dengan HMI.

Lingkungan pengembangan menggunakan kerangka kerja Arduino yang memfasilitasi pembuatan prototipe cepat dan dukungan perpustakaan yang ekstensif. Implementasi firmware menggunakan pendekatan pemrograman modular dengan desain berorientasi objek untuk kemudahan pemeliharaan dan skalabilitas sistem.

3.5 Arduino IDE untuk Pengembangan Firmware

Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) merupakan *platform* pengembangan yang populer dan mudah digunakan untuk pemrograman mikrokontroler, termasuk ESP8266. *Platform* ini menyediakan antarmuka yang sederhana namun powerful untuk pengembangan firmware embedded system dengan dukungan ekstensif untuk berbagai *library* dan *board* mikrokontroler.

Arduino IDE dipilih sebagai *platform* pengembangan karena kesederhanaan penggunaan dan kompatibilitas yang tinggi dengan ESP8266. *Platform* ini menyediakan lingkungan pengembangan yang stabil dan telah terbukti untuk aplikasi kontrol industri dengan ekosistem *library* yang komprehensif.

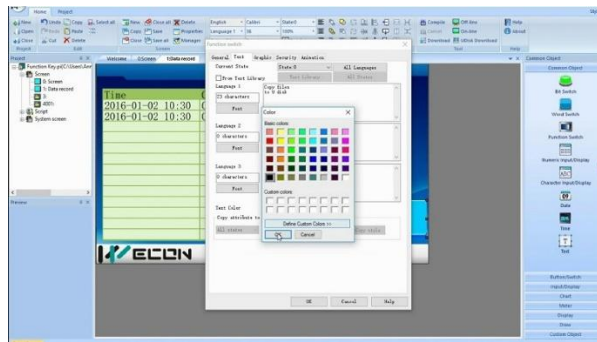
Keunggulan utama dalam pengembangan firmware untuk sistem kontrol DO meliputi:

- a. Kemudahan instalasi dan konfigurasi dengan *board manager* yang *user-friendly* untuk ESP8266.
- b. *Library manager* terintegrasi untuk instalasi otomatis *library* sensor dan komunikasi yang diperlukan.
- c. Serial monitor *built-in* untuk *debugging* dan *monitoring output* program secara langsung.

Alur pengembangan firmware mencakup tahapan sistematis mulai dari instalasi ESP8266 *board package* melalui *board manager*, pemilihan *board* dan port komunikasi yang sesuai, hingga proses kompilasi dan *upload* program ke mikrokontroler. Arduino IDE menyediakan syntax highlighting dan *error detection* yang membantu dalam proses *debugging* dan memastikan kualitas kode firmware yang dikembangkan untuk aplikasi *monitoring* dan kontrol *dissolved oxygen*.

3.6 PI Studio untuk Pengembangan Aplikasi HMI

PI Studio merupakan paket perangkat lunak yang dikembangkan oleh Wecon untuk desain dan pengembangan aplikasi HMI pada panel operator seri PI. *Platform* ini menyediakan lingkungan pengembangan grafis yang mengintegrasikan alat desain visual dengan konfigurasi protokol komunikasi untuk aplikasi industri.



Gambar 3.4 Wecon PI Studio HMI Software

Arsitektur PI Studio mengimplementasikan model pengembangan berbasis komponen yang memungkinkan *rapid prototyping interface* operator dengan konsistensi visual dan fungsional. *Platform* ini dirancang khusus untuk aplikasi HMI industri dengan pertimbangan ergonomi operator dan keandalan sistem.

Fitur pengembangan yang mendukung implementasi HMI untuk sistem kontrol DO meliputi:

1. Editor visual untuk desain antarmuka seret dan lepas dengan perpustakaan objek komprehensif.
2. Manajer komunikasi untuk konfigurasi protokol Modbus RTU dengan ESP8266.
3. Engine simulasi untuk testing interface sebelum *deployment* ke perangkat fisik.

Metodologi desain layar mengikuti pendekatan sistematis dengan hierarki navigasi yang logis, konsistensi visual element, dan konfigurasi widget untuk pengikatan data *real-time*. Proses implementasi mencakup kompilasi aplikasi ke *platform* target, transfer ke perangkat HMI, pengujian fungsionalitas komprehensif, dan pembuatan dokumentasi untuk pelatihan operator serta prosedur pemeliharaan sistem.

BAB IV

URAIAN KEGIATAN MAGANG

Bab ini menjelaskan secara detail mengenai kegiatan yang dilaksanakan selama magang industri berdasarkan jurnal kegiatan harian. Kegiatan magang difokuskan pada pengembangan firmware tertanam dan perancangan antarmuka HMI untuk sistem otomasi industri yang mencakup robot palletizer, peningkatan sistem *vending machine*, dan penerapan sistem pemantauan *dissolved oxygen* untuk *wastewater treatment plant*.

4.1 Pengembangan Firmware Sistem Robot Palletizer

Pengembangan firmware sistem robot palletizer merupakan salah satu proyek utama yang dikerjakan selama periode magang industri. Sistem ini dirancang untuk meningkatkan efisiensi operasional melalui penerapan firmware robot yang dapat bekerja secara otomatis dalam proses *palletizing* produk dengan ketepatan tinggi dan konsistensi yang optimal.



Gambar 4.1 Dokumentasi Robot Palletizer

Tahapan pengembangan firmware sistem palletizer dilakukan melalui pendekatan yang sistematis untuk memastikan performa dan keandalan yang optimal. Kegiatan curah pendapat dilakukan untuk merancang arsitektur firmware yang memungkinkan operasi *palletizing* yang efisien dan akurat. Perancangan mencakup analisis kebutuhan ruang kerja, penentuan sistem koordinat untuk pergerakan robot dalam kode program, dan spesifikasi firmware untuk memastikan operasi yang tersinkronisasi dengan sistem produksi yang ada.

Perancangan skema komunikasi pada firmware dilakukan untuk membangun koordinasi yang handal antar berbagai komponen sistem. Pengembangan mencakup definisi struktur pesan yang menyeluruh dalam kode program, mekanisme sinkronisasi waktu melalui *timer interrupt*, dan penanganan *error* dalam firmware untuk menjaga stabilitas sistem selama operasi berkelanjutan. Modifikasi firmware dilakukan untuk mengakomodasi perubahan spesifikasi perangkat keras dari Arduino Uno ke ESP8266 pada sistem kontrol utama dengan adaptasi konfigurasi ulang pin *assignment* dalam *code* dan *output*, serta peningkatan kemampuan komunikasi yang tersedia pada *platform* ESP8266.

Konfigurasi perangkat keras yang diterapkan dalam sistem palletizer mencakup beberapa komponen penting yang terintegrasi untuk memberikan performa optimal melalui pengembangan firmware khusus:

1. Konfigurasi *Controller* Utama: ESP8266 dikonfigurasi sebagai *controller* utama dengan pengembangan firmware yang memanfaatkan kemampuan pemrosesan yang ditingkatkan dan fitur komunikasi nirkabel untuk koordinasi dengan sistem pemantauan pusat.
2. Integrasi Motor Stepper dan Sensor Homing: Sistem dilengkapi dengan pengembangan *driver* firmware untuk motor stepper yang memungkinkan kontrol posisi yang tepat dan penerapan algoritma homing dalam kode program untuk kalibrasi posisi awal yang memungkinkan robot melakukan pergerakan yang akurat sesuai dengan pola *palletizing* yang telah diprogram.
3. Peningkatan Komunikasi Sistem: Penambahan macro dalam arsitektur firmware untuk memungkinkan kompilasi lintas *platform*, yang memungkinkan pemeliharaan satu basis kode yang kompatibel dengan berbagai *platform* mikrokontroler.

Proses pengujian dan *commissioning* dilakukan secara sistematis untuk memvalidasi fungsionalitas setiap komponen dalam firmware sistem palletizer. Pengunggahan firmware dilakukan pada seluruh unit *controller* dengan verifikasi operasi individual sebelum pengujian integrasi yang menyeluruh. Pengujian firmware mencakup validasi akurasi *positioning* melalui algoritma kontrol,

kecepatan operasi sistem, dan konsistensi performa dalam berbagai kondisi operasional yang mungkin dihadapi dalam lingkungan produksi aktual.

4.2 Pengembangan Firmware Sistem *Vending Machine*

Proyek pengembangan firmware *vending machine* berfokus pada perbaikan fungsionalitas dan keandalan sistem yang ada melalui modifikasi perangkat lunak dan optimasi algoritma kontrol. Pengembangan firmware bertujuan untuk meningkatkan efisiensi operasional dan memberikan pengalaman pengguna yang lebih baik dalam operasi *vending machine*.



Gambar 4.2 *Vending Machine*

Penerapan pengembangan firmware *vending machine* dilakukan melalui pendekatan yang terstruktur untuk memastikan fungsionalitas yang optimal. Perbaikan dilakukan pada algoritma kontrol dalam kode program untuk meningkatkan responsivitas sistem terhadap *input* pengguna dan mengoptimalkan proses dispensing produk. Modifikasi firmware mencakup penyesuaian *timing control* dalam kode, perbaikan *error handling* melalui *exception management*, dan peningkatan responsivitas antarmuka pengguna untuk memberikan pengalaman yang lebih baik bagi pengguna akhir.

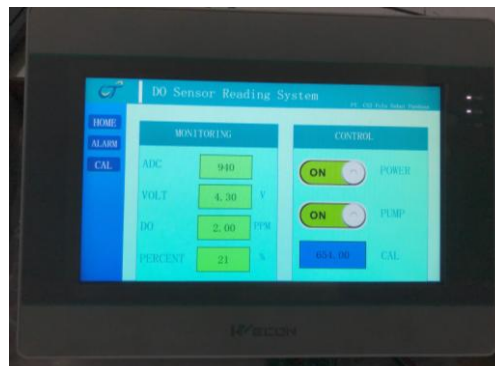
Pengunggahan firmware terbaru dilakukan pada *vending machine* melalui antarmuka koneksi serial dengan pengujian menyeluruh untuk memvalidasi fungsionalitas sistem dan keandalan operasional. Proses pengujian firmware mencakup verifikasi seluruh fungsi operasional dalam kondisi normal maupun kondisi *error* untuk memastikan sistem dapat beroperasi dengan stabil dalam

berbagai skenario operasional. Proses validasi mencakup verifikasi operasi mekanisme dispensing melalui kode kontrol, pengujian integrasi sistem pembayaran dalam firmware, dan penilaian keandalan komunikasi dengan sistem pemantauan pusat dalam berbagai kondisi operasional yang mungkin terjadi dalam penggunaan sehari-hari.

Peningkatan yang dilakukan pada firmware *vending machine* memberikan perbaikan signifikan dalam hal stabilitas operasi dan pengalaman pengguna. Sistem menjadi lebih responsif terhadap *input* pengguna dan mampu memberikan umpan balik yang lebih informatif ketika terjadi kondisi *error* atau kebutuhan pemeliharaan melalui penerapan algoritma diagnostik. Peningkatan kode juga menghasilkan penggunaan memori yang lebih efisien dan waktu respons yang lebih cepat, sehingga meningkatkan performa keseluruhan sistem *vending machine* secara menyeluruh.

4.3 Implementasi Firmware dan HMI untuk Sistem Monitoring dan Kontrol *Dissolved Oxygen* WWTP

Pengembangan firmware dan antarmuka HMI untuk sistem pemantauan dan pengendalian *dissolved oxygen* merupakan kontribusi signifikan dalam mendukung operasi *wastewater treatment plant* melalui penerapan kemampuan pemantauan *real-time* yang akurat dan handal. Sistem dirancang untuk menyediakan solusi pemantauan yang menyeluruh dengan antarmuka yang ramah pengguna untuk operator fasilitas dan kemampuan kontrol otomatis melalui firmware tertanam untuk mempertahankan kadar *dissolved oxygen* yang optimal.



Gambar 4.3 Tampilan Desain HMI

Pengembangan firmware dan antarmuka HMI untuk sistem pemantauan dan pengendalian *dissolved oxygen* dilakukan melalui tahapan yang sistematis dengan fokus pada keandalan dan akurasi. Pembuatan antarmuka HMI dilakukan menggunakan PI Studio untuk menciptakan *dashboard* pemantauan yang menyeluruh dan intuitif bagi operator. Penerapan mencakup modifikasi tampilan antarmuka untuk mengakomodasi tampilan parameter yang spesifik untuk pemantauan *dissolved oxygen*, termasuk tampilan waktu nyata nilai DO, sistem manajemen alarm, antarmuka pengaturan *threshold* pengendalian *dual-level*, dan antarmuka untuk pemantauan status VFD melalui firmware ESP8266. Integrasi pencatatan *cloud* Firebase dilakukan secara paralel untuk menyediakan penyimpanan data jangka panjang dan kemampuan pemantauan jarak jauh melalui koneksi WiFi langsung dari mikrokontroler.

Integrasi firmware dengan sistem kontrol WWTP yang sudah ada dilakukan untuk memastikan operasi yang mulus dengan infrastruktur yang telah tersedia. Pengembangan firmware mencakup konfigurasi protokol komunikasi Modbus RTU untuk *interface* dengan HMI, implementasi pencatatan *cloud* Firebase melalui koneksi WiFi untuk penyimpanan data jangka panjang, konfigurasi *output* PWM untuk kontrol VFD dengan pemetaan *threshold dual-level* (40Hz, 30Hz, 20Hz), dan sinkronisasi dengan prosedur operasional yang telah *established* dalam fasilitas *wastewater treatment plant*. Kegiatan *troubleshooting* komprehensif dilakukan untuk mengidentifikasi dan menyelesaikan berbagai masalah dalam firmware sistem pemantauan dan pengendalian *dissolved oxygen*.

Optimasi performa firmware dilakukan untuk memastikan keandalan sistem dalam aplikasi pemantauan dan pengendalian berkelanjutan:

1. Kalibrasi dan Integrasi Perangkat Keras: Firmware dikalibrasi untuk memastikan akurasi pengukuran sesuai dengan standar referensi yang berlaku untuk kebutuhan pemantauan *wastewater treatment* melalui algoritma kompensasi dalam kode program.
2. Peningkatan Komunikasi dan Kontrol: *Debugging* sistematis firmware dilakukan untuk menyelesaikan masalah komunikasi Modbus RTU dengan

HMI dan koneksi WiFi dengan Firebase, serta meningkatkan responsivitas sistem dalam skenario pemantauan *real-time* yang menuntut presisi tinggi.

3. Optimasi Antarmuka Pengguna: Penyempurnaan tata letak antarmuka HMI dilakukan untuk meningkatkan kemudahan pengaturan *threshold* kontrol dan memastikan kejelasan dalam presentasi data *real-time* untuk mendukung pengambilan keputusan yang efektif dalam operasi *wastewater treatment*.

4.4 Riset Kolaboratif dan Pengembangan Firmware Alat *Weighing* Roti

Kegiatan kunjungan ke PT. ABC di Jombang dilakukan dalam rangka eksplorasi peluang riset kolaboratif dan pengembangan teknologi baru dalam bidang otomasi industri pangan. Kunjungan ini khususnya berfokus pada identifikasi kebutuhan teknologi *weighing* atau penimbangan otomatis untuk produk roti yang menjadi fokus utama produksi perusahaan tersebut dengan penekanan pada pengembangan firmware untuk sistem kontrol.

Hasil riset dan analisis kebutuhan dari kunjungan tersebut mencakup observasi terhadap proses produksi roti yang sedang berjalan untuk mengidentifikasi tahapan yang memerlukan sistem penimbangan otomatis dengan pengembangan firmware khusus. Analisis meliputi evaluasi volume produksi harian, variasi ukuran dan jenis produk roti, serta tingkat akurasi penimbangan yang diperlukan untuk memenuhi standar kualitas produksi yang ditetapkan perusahaan melalui implementasi algoritma kontrol dalam firmware. Diskusi dilakukan dengan tim produksi untuk menentukan spesifikasi teknis yang dibutuhkan dalam firmware sistem *weighing* roti, mencakup kapasitas penimbangan maksimal, tingkat presisi yang diperlukan dalam kode program, kecepatan *throughput* yang diinginkan, dan integrasi firmware dengan sistem konveyor yang sudah ada dalam lini produksi perusahaan.

Diskusi strategis dilakukan untuk merumuskan rencana kerjasama dalam pengembangan firmware alat *weighing* roti yang disesuaikan dengan kebutuhan spesifik PT. ABC. Perencanaan mencakup pembagian tanggung jawab pengembangan firmware, *timeline* proyek, dan metodologi riset yang akan diterapkan dalam proses pengembangan teknologi *weighing* tersebut. Kesepakatan

kerjasama meliputi penetapan ruang lingkup pengembangan firmware sistem *weighing* yang mencakup desain algoritma untuk *handling* produk roti, implementasi driver load cell dengan akurasi tinggi dalam kode program, dan pengembangan sistem kontrol otomatis untuk proses penimbangan dan sorting berdasarkan kategori berat produk melalui firmware tertanam.

Hasil kunjungan riset ini memberikan pemahaman yang mendalam mengenai kebutuhan industri pangan dalam hal otomasi proses penimbangan melalui pengembangan firmware. Pembagian keahlian antara kedua institusi memungkinkan optimasi sumber daya dan percepatan dalam jadwal pengembangan firmware. Kesepakatan yang dicapai mencakup pembagian tanggung jawab teknis dalam pengembangan firmware, jadwal implementasi yang realistis, dan mekanisme evaluasi berkala untuk memastikan pengembangan firmware alat *weighing* roti dapat diselesaikan sesuai dengan standar kualitas yang ditetapkan.

4.5 Finalisasi Proyek dan Evaluasi Sistem

Pelaksanaan kegiatan magang industri memberikan kontribusi yang signifikan dalam pengembangan berbagai firmware sistem otomasi yang kompleks secara teknis. Evaluasi komprehensif dilakukan terhadap seluruh proyek pengembangan firmware yang telah dikerjakan selama periode magang untuk mengukur pencapaian target dan mengidentifikasi hasil pembelajaran yang diperoleh dari pengalaman praktis dalam lingkungan industri.

Pencapaian teknis yang berhasil direalisasikan selama periode magang mencakup implementasi sukses firmware sistem palletizer dengan kemampuan koordinasi yang kompleks pada sistem kontrol, peningkatan fungsionalitas *vending machine* melalui implementasi manajemen firmware yang lebih baik, dan *deployment* firmware sistem pemantauan dan pengendalian *dissolved oxygen* yang handal untuk aplikasi *wastewater treatment plant*. Setiap proyek memberikan tantangan yang unik dalam pengembangan firmware dan memerlukan pendekatan *problem-solving* yang berbeda sesuai dengan kompleksitas dan persyaratan operasional yang spesifik.

Kompetensi teknis yang dikembangkan selama periode magang mencakup pemahaman lanjutan dalam integrasi firmware untuk menggabungkan berbagai

komponen perangkat keras dengan konfigurasi yang tepat, keahlian dalam mengimplementasikan protokol komunikasi industri dalam firmware yang memerlukan keandalan tinggi, serta pengalaman praktis dalam mengembangkan antarmuka operator profesional dengan penekanan pada standar desain industri dan optimasi pengalaman pengguna melalui HMI. Pengalaman dalam *troubleshooting* masalah teknis firmware yang kompleks memberikan wawasan berharga mengenai pendekatan sistematis untuk mengidentifikasi akar masalah dan mengimplementasikan solusi yang efektif dalam lingkungan industri yang menuntut.

Pengalaman magang industri memberikan hasil pembelajaran yang komprehensif dan menjadi fondasi yang kuat untuk pengembangan karier di bidang teknik otomasi industri, khususnya dalam pengembangan firmware. Pemahaman mengenai prinsip-prinsip pengembangan firmware untuk sistem otomasi, manajemen proyek dalam konteks engineering, prosedur quality assurance untuk firmware, dan persyaratan operasional dalam lingkungan manufaktur memperluas perspektif terhadap praktik profesional di industr. Transfer pengetahuan melalui interaksi dengan profesional berpengalaman dan eksposur terhadap sistem otomasi canggih memberikan wawasan berharga mengenai inovasi teknologi firmware dan peluang kemajuan karier dalam bidang automation engineering.

Dampak terhadap efisiensi operasional perusahaan melalui firmware sistem otomasi yang dikembangkan menghasilkan peningkatan yang terukur dalam produktivitas, keandalan, dan efektivitas biaya. Implementasi firmware sistem palletizer memberikan peningkatan signifikan dalam *throughput* operasi *palletizing* dengan kemampuan koordinasi yang ditingkatkan, peningkatan firmware *vending machine* menghasilkan keandalan operasional yang lebih baik dan manajemen inventori yang lebih efisien, sementara *deployment* firmware sistem pemantauan dan pengendalian *dissolved oxygen* memberikan kemampuan untuk mempertahankan efisiensi treatment yang optimal dengan respons otomatis terhadap kondisi operasional yang bervariasi dalam fasilitas *wastewater treatment*.

BAB V

HASIL STUDI KASUS

Bab ini menjelaskan secara komprehensif mengenai hasil studi kasus pengembangan firmware tertanam dan antarmuka HMI untuk sistem *monitoring* dan kontrol *dissolved oxygen* yang telah dilaksanakan di area *wastewater treatment plant* PT. XYZ. Pembahasan mencakup identifikasi permasalahan sistem yang ada, analisis kebutuhan, perancangan solusi, implementasi firmware dan HMI, hingga evaluasi hasil yang dicapai.

5.1 Identifikasi Permasalahan Sistem Kontrol Aerator

Sistem kontrol motor aerator yang beroperasi di area *wastewater treatment plant* PT. XYZ masih menggunakan pendekatan manual melalui *Variable Frequency Drive* tanpa integrasi sistem monitoring otomatis berbasis firmware tertanam. Kondisi ini mengharuskan operator melakukan pengecekan kadar *dissolved oxygen* secara berkala dengan frekuensi tiga kali sehari pada pagi, siang, dan sore hari untuk memastikan kadar oksigen terlarut dalam air limbah berada dalam rentang optimal yang diperlukan untuk proses *biological treatment*.



Gambar 5. 1 Area WWTP

Permasalahan utama yang diidentifikasi dalam sistem yang ada mencakup beberapa aspek operasional yang signifikan terkait ketiadaan firmware *monitoring* otomatis. Operator harus melakukan pengukuran *dissolved oxygen* secara manual menggunakan peralatan *portable* yang memerlukan waktu dan tenaga kerja yang besar untuk setiap sesi pengecekan. Ketika pembacaan menunjukkan kadar

dissolved oxygen terlalu tinggi, operator harus menurunkan kecepatan motor aerator secara manual melalui pengaturan VFD, sebaliknya ketika kadar terlalu rendah, operator harus menaikkan kecepatan motor untuk meningkatkan aerasi dalam basin treatment.

Keterbatasan sistem manual ini berdampak pada efisiensi operasional fasilitas *wastewater treatment* dalam beberapa cara yang dapat diukur. Interval pengecekan yang hanya dilakukan tiga kali sehari menyebabkan potensi fluktuasi kadar *dissolved oxygen* yang tidak terdeteksi dalam periode antara pengecekan, yang dapat mempengaruhi efektivitas proses *biological treatment*. Ketergantungan pada intervensi manusia untuk penyesuaian parameter operasional juga meningkatkan risiko terjadinya kesalahan manusia dan ketidakkonsistenan dalam mempertahankan kondisi optimal untuk mikroorganisme aerobik yang penting dalam proses degradasi bahan organik.

Analisis lebih lanjut terhadap alur kerja operasional menunjukkan bahwa sistem manual yang ada memerlukan alokasi sumber daya manusia yang signifikan untuk aktivitas *monitoring* yang sebenarnya dapat diotomatisasi melalui implementasi firmware tertanam dan antarmuka HMI yang handal. Operator harus meninggalkan tugas-tugas lain untuk melakukan pengecekan rutin, yang mengurangi efisiensi keseluruhan dalam pengelolaan fasilitas *wastewater treatment*. Dokumentasi data historis juga menjadi tantangan akibat keterbatasan dalam pencatatan data secara digital, sehingga menyulitkan analisis tren dan optimasi berbasis data untuk meningkatkan efisiensi proses.

5.2 Analisis Kebutuhan Sistem Monitoring dan Kontrol Otomatis

Berdasarkan identifikasi permasalahan yang telah diuraikan, analisis kebutuhan sistem *monitoring* dan kontrol otomatis dilakukan untuk menentukan spesifikasi teknis dan fungsional yang diperlukan dalam pengembangan firmware tertanam dan antarmuka HMI untuk mengatasi keterbatasan sistem yang ada. Kebutuhan utama yang diidentifikasi mencakup kemampuan monitoring waktu nyata yang dapat menggantikan proses pengecekan manual berkala dengan *monitoring* berkelanjutan melalui firmware yang dapat diandalkan untuk memastikan kadar *dissolved oxygen* selalu terpantau secara konsisten.

Kebutuhan sistem *monitoring* secara *real-time* ditetapkan untuk mengatasi keterbatasan pengecekan berkala yang hanya dilakukan tiga kali sehari melalui implementasi firmware ESP8266 yang dapat beroperasi secara berkelanjutan. Sistem baru harus mampu memberikan pembacaan berkelanjutan dengan tingkat pembaruan yang memadai untuk mendeteksi perubahan kadar *dissolved oxygen* secara langsung, memungkinkan tanggapan yang lebih cepat terhadap kondisi yang memerlukan penyesuaian. Kemampuan pencatatan data digital juga menjadi kebutuhan penting untuk memungkinkan analisis tren dan tinjauan data historis yang dapat mendukung optimasi proses dan perencanaan pemeliharaan.

Spesifikasi untuk kontrol otomatis ditetapkan untuk mengurangi ketergantungan pada intervensi manual dalam penyesuaian kecepatan motor aerator melalui pengembangan algoritma kontrol dalam firmware. Sistem kontrol otomatis harus mampu melakukan penyesuaian kecepatan motor berdasarkan pembacaan sensor *dissolved oxygen* secara waktu nyata, dengan kemampuan untuk mempertahankan *setpoint* yang telah ditentukan sesuai dengan kebutuhan proses *biological treatment*. Implementasi algoritma kontrol yang handal dalam firmware menjadi krusial untuk memastikan kinerja yang konsisten dalam berbagai kondisi operasional yang mungkin dihadapi dalam operasi harian.

Kebutuhan untuk antarmuka HMI yang ramah pengguna ditetapkan untuk memfasilitasi *monitoring* dan kontrol yang efisien bagi operator fasilitas melalui *platform* yang terintegrasi dengan firmware mikrokontroler. Antarmuka harus menyediakan visualisasi yang jelas untuk data waktu nyata, tren historis, dan status operasional sistem dengan navigasi yang intuitif. Kemampuan untuk beralih antara mode kontrol manual dan otomatis juga menjadi kebutuhan penting untuk memberikan fleksibilitas dalam operasi sesuai dengan kondisi spesifik atau preferensi operator.

Analisis kebutuhan teknis mencakup beberapa aspek yang fundamental untuk memastikan operasi yang handal:

- a. Kebutuhan akurasi dan responsivitas sensor sistem harus menggunakan sensor *dissolved oxygen* dengan akurasi yang memadai untuk aplikasi

wastewater treatment dan waktu respons yang memadai untuk aplikasi *monitoring* waktu nyata yang terintegrasi dengan *firmware processing*.

- b. Spesifikasi komunikasi dan antarmuka implementasi protokol komunikasi yang handal antara komponen sistem dalam *firmware* untuk memastikan integritas data dan kinerja waktu nyata dalam transmisi data dan eksekusi perintah kontrol melalui antarmuka HMI.
- c. Kebutuhan keandalan dan kemudahan pemeliharaan sistem harus dirancang dengan pertimbangan terhadap lingkungan industri *wastewater treatment plant* dengan kemampuan untuk operasi berkelanjutan dan prosedur pemeliharaan yang mudah dilakukan pada *firmware* dan antarmuka HMI.

5.3 Perancangan Arsitektur Sistem Monitoring dan Kontrol DO

Perancangan arsitektur sistem pemantauan dan pengendalian *dissolved oxygen* dilakukan berdasarkan analisis kebutuhan yang telah ditetapkan untuk mengatasi permasalahan sistem yang ada melalui pengembangan *firmware* tertanam dan antarmuka HMI yang terintegrasi. Arsitektur sistem dirancang dengan pendekatan modular yang mengintegrasikan sensor *dissolved oxygen* DFRobot SEN0237-A sebagai perangkat masukan, mikrokontroler Wemos D1 R2 sebagai unit pemrosesan data dan logika kontrol dengan *firmware* khusus, converter PWM to 0-10V sebagai antarmuka analog untuk VFD, serta HMI Wecon PI3070IE sebagai antarmuka operator untuk pemantauan waktu nyata dan pengaturan *threshold*, dengan Firebase sebagai *platform* pencatatan data *cloud* yang terhubung langsung dengan mikrokontroler.

Komponen sensor *dissolved oxygen* DFRobot SEN0237-A dipilih berdasarkan spesifikasi teknis yang sesuai dengan kebutuhan aplikasi *wastewater treatment plant* dan kompatibilitas dengan *firmware* ESP8266. Sensor ini menggunakan teknologi galvanic probe dengan rentang deteksi 0-20 mg/L yang memadai untuk *monitoring* kadar *dissolved oxygen* dalam berbagai kondisi operasional basin treatment. Waktu tanggapan sensor hingga 98% dalam 90 detik pada temperatur 25°C memenuhi kebutuhan untuk aplikasi *monitoring* waktu nyata

dengan firmware *processing*, sementara tidak memerlukan waktu polarisasi memberikan keuntungan dalam hal kesiapan langsung untuk operasi.

Mikrokontroler Wemos D1 R2 dengan chip ESP8266 dipilih sebagai unit pemrosesan pusat karena kemampuan komputasi yang memadai untuk pengembangan firmware yang kompleks dan implementasi protokol komunikasi. Prosesor dual-core dengan kecepatan clock hingga 240 MHz memberikan kinerja yang memadai untuk penanganan simultan akuisisi data sensor, eksekusi algoritma kontrol, dan komunikasi dengan panel HMI melalui firmware yang dioptimalkan. Kemampuan komunikasi bawaan termasuk antarmuka UART mendukung implementasi protokol Modbus RTU dalam firmware untuk pertukaran data yang handal dengan sistem HMI.

HMI Wecon PI3070IE dengan layar 7 inci dipilih untuk menyediakan antarmuka operator yang komprehensif dan ramah pengguna yang dapat berkomunikasi dengan firmware mikrokontroler. Panel ini mendukung berbagai protokol komunikasi termasuk Modbus RTU yang menjadi tulang punggung komunikasi dengan sistem mikrokontroler. Kemampuan untuk menampilkan data waktu nyata, grafik tren, indikasi alarm, dan antarmuka kontrol dalam satu *platform* memberikan solusi yang terintegrasi untuk kebutuhan *monitoring* dan kontrol operator fasilitas.

Blok diagram sistem *monitoring* dan kontrol *dissolved oxygen* menggambarkan alur kerja yang terintegrasi mulai dari akuisisi data sensor hingga eksekusi kontrol motor aerator melalui firmware yang dikembangkan khusus. Sistem dirancang dengan pendekatan modular yang memungkinkan setiap komponen bekerja secara optimal dalam mencapai tujuan *monitoring* dan kontrol yang efektif. Alur kerja sistem dapat dijelaskan melalui tahapan berikut:

1. Sensor *dissolved oxygen* DFRobot SEN0237-A melakukan pengukuran kadar oksigen terlarut dalam air limbah secara kontinyu menggunakan teknologi galvanic probe. Sensor menghasilkan sinyal elektrokimia yang proporsional dengan konsentrasi *dissolved oxygen* dalam rentang 0-20 mg/L sesuai kondisi operasional *basin treatment wastewater*.

2. Sinyal *converter board* menerima *output* sinyal elektrokimia dari sensor dan mengkonversinya menjadi tegangan analog 0-3V yang kompatibel dengan sistem akuisisi data mikrokontroler. *Board* ini juga menyediakan isolasi sinyal dan *conditioning* yang diperlukan untuk operasi yang stabil dalam lingkungan industri.
3. Mikrokontroler Wemos D1 R2 dengan chip ESP8266 melakukan akuisisi data melalui pin ADC dengan resolusi 12-bit untuk konversi analog ke digital dalam firmware. Mikrokontroler memproses sinyal digital melalui algoritma *filtering*, kalibrasi sensor, dan kalkulasi nilai *dissolved oxygen* dalam satuan mg/L yang akurat melalui firmware yang dikembangkan khusus.
4. Algoritma kontrol otomatis yang diimplementasikan dalam firmware mikrokontroler membandingkan nilai *dissolved oxygen* aktual dengan *setpoint* yang ditentukan operator. Berdasarkan hasil perbandingan, sistem menghitung output kontrol yang sesuai untuk mengatur kecepatan motor aerator melalui sinyal analog ke VFD *existing*.
5. Komunikasi UART dengan Modul RS485 MAX485 memungkinkan pertukaran data bidirectional antara mikrokontroler sebagai *slave device* dan HMI panel sebagai *master device* melalui protokol Modbus RTU yang diimplementasikan dalam firmware. Modul MAX485 berfungsi sebagai converter antara sinyal UART dari mikrokontroler ESP8266 menjadi sinyal RS485 yang kompatibel dengan HMI panel, menyediakan komunikasi serial yang handal dengan kekebalan noise yang tinggi dalam lingkungan industri.
6. HMI Panel Wecon PI3070IE berfungsi sebagai antarmuka operator yang menampilkan data *real-time dissolved oxygen*, *trend historical*, dan status operasional sistem. Panel ini juga menyediakan kontrol *interface* untuk pengaturan *setpoint*, pemilihan mode operasi, dan sistem alarm management untuk kondisi di luar rentang optimal.
7. Output kontrol ke motor aerator dilakukan melalui sinyal analog yang dikirimkan dari firmware mikrokontroler ke VFD *existing* untuk mengatur kecepatan motor sesuai dengan kebutuhan aerasi yang dihitung oleh

algoritma kontrol. Sistem ini memungkinkan kontrol otomatis maupun manual sesuai pilihan operator.

Integrasi antar komponen dirancang dengan pertimbangan terhadap keandalan dan kemudahan pemeliharaan dalam lingkungan industri. Sensor *dissolved oxygen* dihubungkan dengan mikrokontroler melalui *board* konverter sinyal yang mengkonversi sinyal elektrokimia menjadi tegangan analog 0-3V yang kompatibel dengan input ADC ESP8266. Komunikasi antara mikrokontroler dan panel HMI menggunakan protokol Modbus RTU melalui antarmuka UART yang didukung oleh modul RS485 MAX485 untuk konversi sinyal yang memberikan kekebalan noise yang sangat baik dalam lingkungan industri dengan interferensi elektromagnetik.

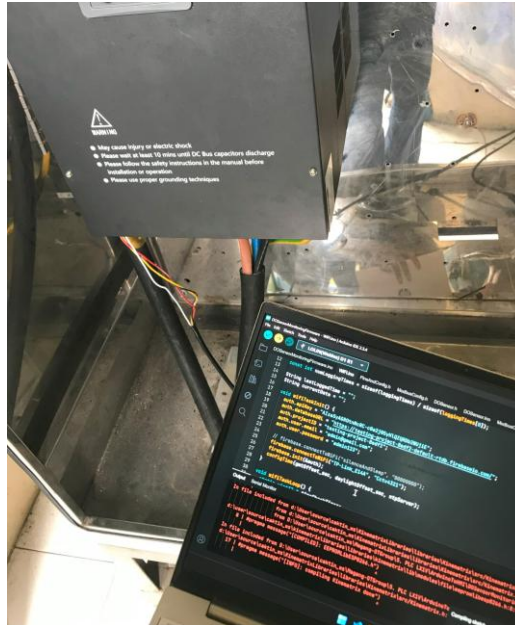
Perancangan arsitektur firmware mencakup beberapa modul yang penting untuk fungsionalitas sistem:

1. Modul akuisisi data sensor mencakup implementasi driver untuk sensor *dissolved oxygen* dengan kemampuan untuk konversi analog ke digital, pengkondisian sinyal, dan kalibrasi untuk memastikan pengukuran yang akurat dalam berbagai kondisi operasional.
2. Modul algoritma kontrol mencakup pengembangan logika kontrol untuk mode otomatis yang dapat mempertahankan *setpoint dissolved oxygen* melalui penyesuaian kecepatan motor aerator, serta kemampuan kontrol manual untuk intervensi operator.
3. Modul protokol komunikasi mencakup implementasi fungsionalitas slave Modbus RTU untuk pertukaran data dengan panel HMI, termasuk pemetaan register untuk data sensor, parameter kontrol, dan informasi status sistem.

5.4 Implementasi Firmware untuk Akuisisi Data dan Algoritma Kontrol

Implementasi firmware pada mikrokontroler Wemos D1 R2 dilakukan menggunakan lingkungan pengembangan Arduino IDE untuk memastikan kompatibilitas yang optimal dengan *platform* ESP8266 dan kemudahan dalam pengembangan serta *maintenance* kode program. Firmware dirancang dengan arsitektur modular yang memisahkan fungsionalitas antarmuka sensor, pemrosesan

data, algoritma kontrol, dan protokol komunikasi untuk memudahkan pengembangan, pengujian, dan aktivitas pemeliharaan masa depan.



Gambar 5.2 Dokumentasi Pengerjaan Firmware

Modul akuisisi data sensor diimplementasikan untuk menangani pembacaan sensor *dissolved oxygen* DFRobot secara berkelanjutan dengan tingkat *sampling* yang optimal untuk aplikasi *monitoring* secara *real-time*. Implementasi firmware mencakup konfigurasi ADC dengan resolusi 12-bit untuk presisi maksimum dalam konversi analog ke digital, serta algoritma *filtering* digital untuk pengurangan noise yang penting dalam lingkungan industri. Rutinitas kalibrasi juga diimplementasikan dalam firmware untuk memastikan konversi yang akurat dari pembacaan tegangan menjadi nilai konsentrasi dalam mg/L berdasarkan kurva karakteristik sensor yang telah ditentukan pabrikan.

Algoritma kontrol otomatis diimplementasikan dalam firmware untuk kemampuan mempertahankan *setpoint dissolved oxygen* yang telah ditentukan operator melalui antarmuka HMI. Logika kontrol dirancang untuk melakukan perbandingan antara pembacaan sensor aktual dengan *setpoint* yang diinginkan, kemudian melakukan kalkulasi tindakan kontrol yang sesuai untuk penyesuaian kecepatan motor aerator. Implementasi firmware mencakup pengaturan deadband untuk mencegah *switching* yang berlebihan dan pembatasan *output* untuk

memastikan sinyal kontrol berada dalam rentang operasi yang aman untuk sistem motor drive.

Implementasi protokol Modbus RTU dilakukan dalam firmware sebagai perangkat slave dengan alamat slave yang dapat dikonfigurasi untuk integrasi dengan panel HMI sebagai perangkat master. Pemetaan register didefinisikan dalam firmware untuk berbagai jenis data termasuk pembacaan sensor, nilai *setpoint*, parameter kontrol, dan informasi status sistem. Function codes yang diimplementasikan dalam firmware mencakup *read holding registers* untuk monitoring data dan *write single register* untuk pengaturan parameter dari antarmuka HMI.

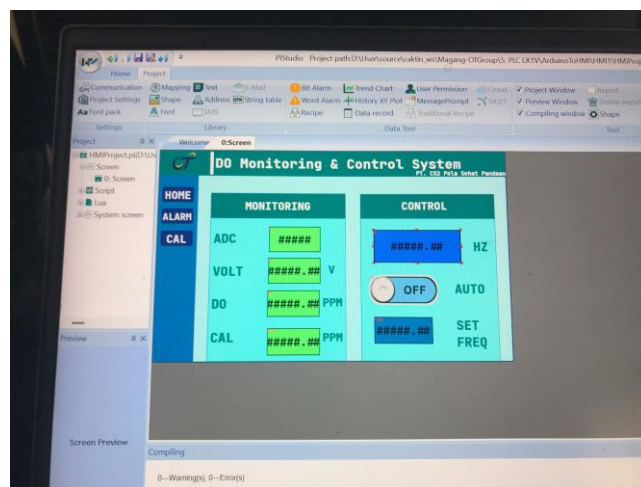
Penanganan *error* dan kemampuan diagnostik diimplementasikan dalam firmware untuk memastikan operasi yang robust dalam lingkungan industri yang menantang. *Monitoring* sistem mencakup deteksi untuk kondisi kesalahan sensor, *timeout* komunikasi, dan kondisi parameter di luar rentang dengan pembangkitan alarm yang sesuai dan operasi mode aman ketika kondisi abnormal terdeteksi. Timer watchdog juga diimplementasikan dalam firmware untuk pemulihan sistem otomatis dalam kasus malfungsi perangkat lunak atau kondisi sistem hang.

Optimasi firmware dilakukan untuk memastikan pemanfaatan sumber daya yang efisien dan kinerja waktu nyata:

1. Optimasi manajemen memori dilakukan dengan pemanfaatan RAM dan memori Flash ESP8266 secara efisien untuk mengakomodasi semua fungsionalitas yang diperlukan tanpa *overflow* memori yang dapat menyebabkan ketidakstabilan sistem.
2. Penyetelan kinerja waktu nyata dilakukan melalui optimasi penjadwalan tugas dalam firmware untuk memastikan respons secara *real-time* terhadap pembacaan sensor, perhitungan kontrol, dan aktivitas komunikasi tanpa latensi yang signifikan.
3. Implementasi manajemen daya dilakukan melalui konfigurasi fitur penghematan daya pada ESP8266 yang sesuai untuk operasi berkelanjutan dalam pengaturan industri sambil mempertahankan fungsionalitas sistem secara penuh.

5.5 Pengembangan Antarmuka HMI untuk *Monitoring* dan *Kontrol Operator*

Pengembangan antarmuka HMI dilakukan menggunakan lingkungan pengembangan PI Studio yang menyediakan alat komprehensif untuk menciptakan antarmuka operator industri yang profesional. Desain antarmuka mengikuti prinsip desain HMI industri dengan penekanan pada kejelasan, kegunaan, dan konsistensi untuk mendukung pengambilan keputusan yang efektif dalam aktivitas operasional *wastewater treatment plant* dengan integrasi yang seamless dengan firmware mikrokontroler.



Gambar 5.3 Dokumentasi Pengerjaan HMI

Dashboard utama dirancang untuk menyediakan gambaran menyeluruh yang komprehensif mengenai status sistem *monitoring* dan kontrol *dissolved oxygen* dengan komunikasi *real-time* dengan firmware ESP8266. Tampilan waktu nyata nilai kadar *dissolved oxygen* ditampilkan dalam format digital yang jelas dengan unit pengukuran yang sesuai, dilengkapi dengan gauge analog untuk representasi visual yang intuitif bagi operator. Pengkodean warna diimplementasikan untuk indikasi langsung status operasional, warna hijau menunjukkan kondisi normal, kuning untuk level peringatan, dan merah untuk kondisi alarm yang memerlukan perhatian langsung operator.

Implementasi grafik tren memungkinkan operator untuk melihat data historis *dissolved oxygen* yang disimpan oleh firmware dalam berbagai rentang waktu mulai dari tampilan per jam hingga mingguan. Fitur ini penting untuk memahami pola

kadar *dissolved oxygen* dan mengidentifikasi masalah potensial yang mungkin memerlukan perhatian pemeliharaan atau penyesuaian proses. Fungsionalitas zoom dan pan diimplementasikan dalam HMI untuk analisis detail data historis sesuai dengan kebutuhan operator untuk pemecahan masalah atau aktivitas optimasi proses.

Antarmuka kontrol dirancang untuk memberikan fleksibilitas dalam pemilihan mode operasi antara kontrol manual dan otomatis dengan komunikasi langsung ke firmware mikrokontroler. Dalam mode manual, operator dapat melakukan penyesuaian langsung kecepatan motor aerator melalui kontrol slider atau input numerik dengan umpan balik langsung mengenai kecepatan motor saat ini dan respons *dissolved oxygen* yang sesuai. Antarmuka mode otomatis menyediakan kemampuan pengaturan *setpoint* dengan indikasi yang jelas nilai *setpoint* saat ini dan deviasi dari nilai target yang telah ditentukan.

Sistem manajemen alarm diimplementasikan dalam HMI untuk memberikan notifikasi langsung kepada operator ketika kondisi *dissolved oxygen* berada di luar rentang optimal yang telah ditentukan berdasarkan data dari firmware *monitoring*. Indikasi alarm mencakup indikasi visual melalui perubahan warna dan tampilan berkedip, serta alarm suara untuk memastikan perhatian operator terhadap kondisi kritis. Fungsionalitas pengakuan alarm memungkinkan operator untuk mengkonfirmasi kesadaran terhadap kondisi alarm dan mengambil tindakan korektif yang sesuai.

Status sistem dan informasi diagnostik ditampilkan dalam layar khusus yang dapat diakses melalui menu navigasi. Informasi ini mencakup status komunikasi antara HMI dan firmware mikrokontroler, indikasi kesehatan sensor, log alarm historis, dan metrik kinerja sistem yang membantu untuk perencanaan pemeliharaan dan aktivitas pemecahan masalah. Level akses pengguna juga diimplementasikan untuk membatasi fungsi tertentu kepada personel yang berwenang untuk menjaga keamanan sistem dan mencegah modifikasi yang tidak sah.

Desain navigasi menggunakan struktur yang jelas untuk memudahkan operator dalam mengakses berbagai fitur dan informasi yang tersedia dalam sistem. Antarmuka dibagi menjadi beberapa halaman utama sebagai berikut:

1. Halaman *dashboard* utama antarmuka utama untuk *monitoring* data *real-time dissolved oxygen*, status sistem saat ini, dan fungsi kontrol langsung yang sering digunakan dalam operasi harian.
2. Halaman analisis data historis antarmuka khusus untuk melihat dan menganalisis tren historis, fungsionalitas ekspor data, dan kemampuan pembuatan laporan untuk tinjauan manajemen dan optimasi proses.
3. Halaman konfigurasi sistem antarmuka administratif untuk pengaturan parameter, konfigurasi *threshold* alarm, dan fungsi pemeliharaan sistem yang memerlukan level akses supervisor atau teknisi.

5.6 Pengujian Sistem dan Validasi Kinerja

Pengujian sistem *monitoring* dan kontrol *dissolved oxygen* dilakukan secara sistematis untuk memvalidasi fungsionalitas firmware dan kinerja HMI sesuai dengan kebutuhan yang telah ditetapkan dalam tahap perancangan. Protokol pengujian dirancang untuk mencakup berbagai skenario operasional yang mewakili kondisi aktual dalam operasi *wastewater treatment plant*, termasuk operasi normal, kondisi kesalahan, dan parameter operasional ekstrem.

Pengujian fungsionalitas sensor *dissolved oxygen* dilakukan untuk memverifikasi akurasi dan konsistensi pembacaan dalam berbagai rentang konsentrasi yang khas untuk aplikasi *wastewater treatment* dengan validasi melalui firmware *processing*. Pengujian kalibrasi menggunakan larutan standar dengan konsentrasi *dissolved oxygen* yang diketahui memvalidasi bahwa tanggapan sensor sesuai dengan spesifikasi pabrikan dengan akurasi yang dapat diterima untuk kebutuhan kontrol proses. Pengujian waktu tanggapan menunjukkan bahwa sensor mampu mencapai 90% tanggapan dalam waktu kurang dari 2 menit, yang memenuhi kebutuhan untuk aplikasi monitoring waktu nyata dengan firmware *processing*.

Validasi protokol komunikasi Modbus RTU dilakukan untuk memastikan transmisi data yang handal antara firmware mikrokontroler dan panel HMI dalam berbagai kondisi operasional. Pengujian mencakup skenario komunikasi normal, penanganan kondisi *timeout* dalam firmware, dan mekanisme pemulihan ketika gangguan komunikasi terjadi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem komunikasi mampu mempertahankan integritas data dengan tingkat kesalahan kurang dari 0,1% dalam pengujian operasi berkelanjutan periode 48 jam, memenuhi kebutuhan keandalan untuk aplikasi industri.

Pengujian algoritma kontrol yang diimplementasikan dalam firmware dilakukan untuk memvalidasi kinerja mode kontrol otomatis dalam mempertahankan *setpoint dissolved oxygen* yang telah ditentukan. Skenario pengujian mencakup pengujian respons step untuk mengevaluasi respons sistem kontrol terhadap perubahan *setpoint*, pengujian penolakan gangguan untuk menilai kemampuan firmware dalam menangani gangguan eksternal, dan pengujian stabilitas untuk memastikan sistem kontrol tidak mengalami osilasi atau perilaku tidak stabil dalam operasi yang diperpanjang.

Pengujian kinerja menunjukkan beberapa metrik yang dapat diukur dalam peningkatan dibandingkan sistem manual yang ada. Waktu respons untuk mendeteksi dan mengoreksi deviasi kadar *dissolved oxygen* berkurang dari interval 8 jam (pengecekan manual tiga kali sehari) menjadi *monitoring* berkelanjutan dengan tindakan koreksi dalam hitungan menit melalui firmware kontrol otomatis. Akurasi pemeliharaan *setpoint dissolved oxygen* juga menunjukkan peningkatan signifikan dengan standar deviasi berkurang hingga 60% dibandingkan variabilitas yang terjadi dengan kontrol manual.

Pengujian validasi juga mencakup penilaian terhadap manfaat operasional yang diperoleh dari implementasi firmware dan HMI sistem otomatis:

- a) Pengurangan kebutuhan operator untuk melakukan pengecekan manual *dissolved oxygen* dari tiga kali sehari menjadi supervisi melalui antarmuka HMI, sehingga sumber daya manusia dapat dialihkan untuk tugas lain yang memberikan nilai tambah.

- b) Pemeliharaan kadar *dissolved oxygen* yang lebih konsisten dibandingkan metode kontrol manual, melalui firmware kontrol presisi. Hal ini berdampak pada peningkatan efisiensi proses *biological treatment* dan kualitas *effluent* yang lebih baik.
- c) Kemampuan pencatatan data secara berkelanjutan melalui firmware menghasilkan data historis yang komprehensif untuk analisis tren, optimasi proses, dan kebutuhan pelaporan kepatuhan fasilitas *wastewater treatment*.

5.7 Hasil dan Pembahasan

Analisis kuantitatif menunjukkan peningkatan signifikan dalam berbagai aspek operasional melalui implementasi firmware dan HMI pada sistem otomatis. Konsistensi pemeliharaan kadar *dissolved oxygen* menunjukkan peningkatan dengan standar deviasi yang berkurang dari $\pm 1,2$ mg/L pada sistem manual menjadi $\pm 0,4$ mg/L pada sistem otomatis yang dikontrol firmware. Hal ini menunjukkan presisi kontrol yang jauh lebih baik, yang sangat penting untuk menjaga efisiensi proses *biological treatment*. Waktu tanggapan terhadap deviasi kadar *dissolved oxygen* juga menunjukkan peningkatan drastis dari rata-rata 4-6 jam dalam sistem manual menjadi 5-10 menit dengan sistem kontrol otomatis berbasis firmware. Hal ini menunjukkan responsivitas sistem yang jauh lebih tinggi terhadap kondisi proses yang berubah-ubah.

Implementasi firmware dan HMI otomatis menghasilkan pengurangan signifikan dalam kebutuhan sumber daya manusia untuk aktivitas *monitoring*. Alokasi waktu operator untuk *monitoring dissolved oxygen* berkurang dari sekitar 2 jam per hari (termasuk waktu perjalanan dan aktivitas pengukuran) menjadi 15-20 menit untuk supervisi melalui antarmuka HMI. Sumber daya manusia yang dibebaskan dari tugas rutin ini dapat dialokasikan untuk aktivitas lain yang lebih memberikan nilai tambah dalam operasi dan pemeliharaan fasilitas, menghasilkan peningkatan produktivitas keseluruhan fasilitas *wastewater treatment*.

Pencatatan data yang berkelanjutan melalui firmware meningkatkan resolusi dan keandalan data. Resolusi data historis meningkat dari 3 titik data per hari menjadi pencatatan berkelanjutan dengan interval *sampling* 1 menit melalui

firmware data *logging*. Hal ini memungkinkan analisis tren yang lebih akurat serta optimasi proses berdasarkan informasi real-time. Akurasi data juga meningkat karena eliminasi kesalahan manusia dalam aktivitas pembacaan dan pencatatan manual, menghasilkan *database* yang lebih handal untuk pengambilan keputusan manajemen dan pelaporan kepatuhan regulasi.

Analisis manfaat biaya menunjukkan implementasi sistem otomatis menghasilkan pengembalian investasi yang positif. Peningkatan efisiensi energi diperoleh melalui pengendalian motor aerator yang lebih presisi, menghindari kondisi *over-aeration* dan menghasilkan penghematan energi sebesar 10–15% dari total konsumsi sistem aerasi. Biaya pemeliharaan juga menurun seiring kemampuan sistem dalam memberikan informasi kinerja peralatan secara *real-time*. Hal ini memungkinkan penerapan strategi pemeliharaan prediktif yang lebih hemat biaya dibanding pendekatan reaktif.

Penilaian kualitatif dari umpan balik operator menunjukkan peningkatan signifikan dalam kondisi kerja dan kepuasan kerja dengan implementasi firmware dan antarmuka HMI yang *user-friendly*. Pengurangan dalam aktivitas pengecekan manual yang berulang memungkinkan operator untuk fokus pada tugas lainnya dalam operasi fasilitas. Tingkat kepercayaan dalam kontrol proses juga meningkat karena ketersediaan informasi *real-time* melalui HMI dan kemampuan respons otomatis firmware yang memastikan kinerja proses tetap stabil, bahkan ketika operator tidak berada langsung di area basin treatment.

Penilaian terhadap keberlanjutan jangka panjang menunjukkan prospek positif untuk operasi berkelanjutan dan potensi untuk peningkatan lebih lanjut dalam pengembangan firmware dan HMI. Kemampuan ekspansi sistem memungkinkan integrasi dengan parameter *monitoring* lain dalam proses *wastewater treatment*, yang membuka peluang untuk otomatisasi komprehensif yang dapat lebih meningkatkan efisiensi operasional. Proyek ini juga memberikan dampak positif terhadap transfer teknologi dan pengembangan keterampilan internal, yang menjadi dasar kuat untuk inisiatif otomatisasi di masa mendatang di lingkungan operasional PT. XYZ.

Penilaian manajemen menunjukkan bahwa implementasi sistem telah berhasil mengatasi berbagai tantangan operasional awal dan memberikan dasar yang kuat untuk pengembangan lanjutan. Kepatuhan terhadap regulasi lingkungan juga meningkat melalui dokumentasi proses yang lebih baik dan kinerja sistem yang konsisten. Ketersediaan data yang lengkap dan transparan mendukung kebutuhan pelaporan serta audit lingkungan.

BAB VI

PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Kegiatan Magang Industri di PT. XYZ selama periode enam bulan berhasil mengimplementasikan pengembangan firmware tertanam berbasis ESP8266 dan antarmuka HMI untuk sistem *monitoring* dan kontrol *dissolved oxygen* di area WWTP. Implementasi sistem otomatis menggantikan *monitoring* manual dengan solusi terintegrasi yang mencakup firmware modular menggunakan Arduino IDE, antarmuka operator menggunakan PI Studio, dan protokol komunikasi Modbus RTU untuk integrasi seamless antara komponen sistem.

Pencapaian teknis yang diraih meliputi:

1. Pengembangan firmware ESP8266 dengan arsitektur modular dan algoritma kontrol *threshold*, menghasilkan *uptime* sistem tinggi dan *response time* cepat untuk eksekusi perintah kontrol.
2. Perancangan antarmuka HMI menggunakan PI Studio dengan *dashboard* komprehensif dan komunikasi Modbus RTU dengan keandalan tinggi.
3. Optimasi sistem kontrol yang mencapai pengurangan signifikan standar deviasi kadar DO dan penghematan energi substansial melalui *variable speed control*.
4. Peningkatan efisiensi operasional dengan pengurangan drastis beban kerja operator dan peningkatan dari sistem *monitoring* manual terbatas menjadi *continuous data logging*.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil implementasi dan evaluasi sistem, diperlukan pengembangan berkelanjutan untuk mengoptimalkan kinerja dan memperluas kapabilitas sistem *monitoring*. Rekomendasi mencakup *enhancement* algoritma kontrol, ekspansi monitoring multi-parameter, dan peningkatan program magang untuk mendukung transfer pengetahuan dan standardisasi *development practices* dalam embedded systems dan industrial automation.

Saran pengembangan yang direkomendasikan:

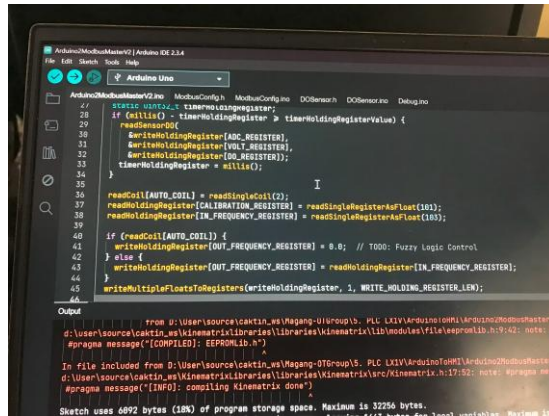
1. Implementasi algoritma PID untuk menggantikan *threshold switching* guna meningkatkan presisi kontrol dan mengurangi tekanan mekanis pada motor aerator.
2. Ekspansi *monitoring* multi-parameter (pH, suhu, turbidity) dengan modifikasi arsitektur firmware dan peningkatan tampilan dashboard pada HMI.
3. Integrasi IoT dan *remote monitoring* memanfaatkan kemampuan WiFi pada ESP8266 untuk *cloud data logging* dan antarmuka berbasis web.
4. Standardisasi lingkungan pengembangan, termasuk penerapan sistem version control, kerangka kerja automated testing, serta dokumentasi teknis yang lengkap untuk mendukung keberlanjutan pengembangan dan pemeliharaan sistem di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

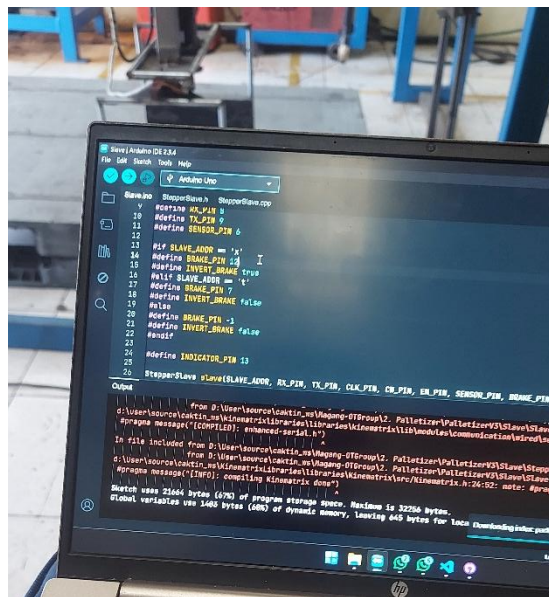
1. *Pedoman Praktik Kerja Lapangan, P3AI-Politeknik Negeri Malang*
2. https://wiki.dfrobot.com/Gravity__Analog_Dissolved_Oxygen_Sensor_SK_U_SEN0237
3. https://www.we-con.com.cn/en/product_page/219.html
4. https://www.dfrobot.com/product-1628.html?srsltid=AfmBOooYam__JBmSy9c5JfgSiI78mAMLZqWoWSIU7ZuURpcQUkcu4Y2n

LAMPIRAN

Lampiran 1 Dokumentasi Pengerjaan Firmware Sistem Kontrol Monitoring DO



Lampiran 2 Dokumentasi Pengerjaan Firmware Robot Palletizer



Lampiran 3 Sensor DO DF Robot



Lampiran 4 Kalibrasi Sensor DO



Lampiran 5 Dokumentasi VFD (Variable Frequency Drive)

