

TUGAS AKHIR

ANALISIS SISTEM *WATER INGRESS PREVENTION* UNTUK MENCEGAH TENGGELOMNYA KAPAL *BULK* *CARRIER* BERBASIS *PROGRAMMABLE* *LOGIC CONTROLLER* (PLC)

*Diselesaikan Untuk Melengkapi Tugas-tugas dan
Memenuhi Syarat-syarat Untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Elektro
Universitas Muhammadiyah Sumatra Utara*

Disusun Oleh :

FADLAN DANUARTA .S
2107220050



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2025**

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Fadlan Danuarta .S

NPM : 2107220050

Program Studi : Teknik Elektro

Judul Skripsi : Analisis Sistem *Water Ingress Prevention* Untuk Mencegah Tenggelamnya Kapal *Bulk Carrier* Berbasis *Programmable Logic Controller* (PLC)

Bidang ilmu : Sistem Kontrol

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 04 Oktober 2025

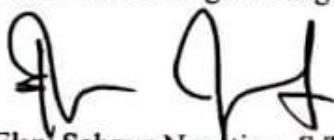
Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I



Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T

Dosen Pembimbing I / Penguji



Dr. Ibu Elvy Sahnur Nasution, S.T., M.Pd

Dosen Pembimbing II / Penguji



Arya Rudi Nasution, S.T., M.T



SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Surat yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Fadlan Danuarta Sembiring

Tempat / Tanggal Lahir : Medan / 11 Septrember 2002

NPM : 2107220050

Fakultas : Teknik

Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan Sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan tugas akhir saya yang berjudul:

“Analisis Sistem Water Ingress Prevention Untuk Mencegah Tenggelam Nyakapal Bulk Carrier Berbasis Programmeble Logic Controller(PLC)”

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian kerja hasil milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinil dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan / kesarjanaan saya

Demikian surata pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 21 Oktober 2025

Saya yang menyatakan,



Fadlan Danuarta S

ABSTRAK

Indonesia sebagai negara maritim memiliki peran strategis dalam perdagangan global, dengan kapal *bulk carrier* menjadi tulang punggung transportasi komoditas strategis seperti batubara, mineral, dan hasil pertanian. Namun, keselamatan pelayaran kapal jenis ini masih menghadapi risiko tinggi, khususnya akibat water ingress yang dapat menyebabkan tenggelamnya kapal. Kompleksitas faktor teknis, lingkungan, dan kurangnya sistem deteksi dini menuntut pengembangan teknologi pencegahan yang andal. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem kontrol *water ingress prevention* berbasis *Programmable Logic Controller* (PLC) pada kapal *bulk carrier*, menganalisis sensitivitas sensor float switch sebagai detektor utama, serta membuat program ladder diagram yang efektif untuk sistem tersebut. Sistem yang dirancang menggunakan PLC OMRON sebagai pusat kendali, menerima input dari tombol push button reset dan sensor *float switch* pada tiap palka untuk mendeteksi ketinggian air. Output berupa lampu indikator hijau menunjukkan pre alarm dengan ketinggian (≤ 50 cm), sedangkan lampu merah menunjukkan main alarm dengan ketinggian (≤ 250 cm), dan *buzzer* secara otomatis *real time* < 5 detik sebelum alarm menyala untuk tindakan segera oleh *crew* kapal. *Power supply* 24V DC memastikan keandalan sistem. Prinsip kerja ini memungkinkan deteksi dini dan pemberian alarm visual maupun suara secara otomatis, sehingga awak kapal dapat melakukan tindakan mitigasi sebelum kondisi menjadi kritis. Sistem ini sangat penting dapat meningkatkan keselamatan operasional, meminimalkan risiko tenggelam, serta mendukung kelancaran dan keberlanjutan sektor maritim nasional.

Kata kunci: *Water Ingress*, PLC, Float Switch, *Bulk Carrier*.

ABSTRACT

Indonesia as a maritime nation has a strategic role in global trade, with bulk carriers being the backbone of strategic commodity transportation such as coal, minerals, and agricultural products. However, the navigation safety of this type of ship still faces high risks, especially due to water ingress which can cause ship sinking. The complexity of technical and environmental factors, and the lack of early detection systems require the development of reliable prevention technology. This study aims to design a Programmable Logic Controller (PLC)-based water ingress prevention control system on bulk carrier ships, analyze the sensitivity of float switch sensors as the main detector, and create an effective ladder diagram program for the system. The designed system uses an OMRON PLC as the control center, receiving input from the push button reset button and float switch sensors on each hatch to detect water levels. The output is a green indicator light indicating a pre-alarm with a height (≤ 50 cm), while a red light indicates a main alarm with a height (≤ 250 cm), and a buzzer automatically activates in real time < 5 seconds before the alarm sounds for immediate action by the ship's crew. A 24V DC power supply ensures system reliability. This operating principle enables early detection and automatic visual and audible alarms, allowing crews to take mitigating action before conditions become critical. This system is crucial for improving operational safety, minimizing the risk of sinking, and supporting the smooth and sustainable operation of the national maritime sector.

Keywords: Water Ingress, PLC, Float Switch, Bulk Carrier.

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb.

Puji syukur kita panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayahnya kepada kita semua sehingga saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul “**Analisis Sistem *Water Ingress Prevention* Untuk Mencegah Tenggelamnya Kapal *Bulk Carrier* Berbasis *Programmable Logic Controller* (PLC)**” dengan baik.

Dimana tugas akhir ini adalah suatu kewajiban yang harus dilaksanakan oleh mahasiswa/i Teknik Elektro dan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Dan hasil tugas akhir ini dilampirkan pada sebuah laporan yang wajib diselesaikan untuk para mahasiswa/i.

Dalam penulisan tugas akhir ini saya menyadari masih banyak kekurangan baik dalam penulisan maupun dalam susunan kalimat yang mana saya mengharapakan saran dari berbagai pihak demi kesempurnaan tugas akhir ini.

Dalam kesempatan yang berbahagia ini, dengan segenap hati. Saya mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada berbagai pihak yang telah banyak memberikan motivasi kepada kami didalam penyusunan tugas akhir ini, terutama kepada :

1. Bapak Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Ibu Dr. Ibu Elvy Sahnur Nasution, S.T., M.Pd., selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, sekaligus sebagai Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Arya Rudi Nasution, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing II dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Munawar Alfansury Siregar, ST,MT selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

5. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu ketekniklistrikan kepada penulis.
6. Orang tua penulis: Bapak Eka Dinata Sembiring, Ibu Umi Daniati yang tak hentinya mendo'akan dan memberikan dukungan seta nasihat setiap harinya, sehingga saya dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
7. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Seluruh rekan-rekan seperjuangan mahasiswa Program Studi Teknik Elektro khususnya kelas A3 yang telah banyak membantu dan memberikan semangat kepada penulis dengan memberikan masukan-masukan yang bermanfaat selama proses perkuliahan maupun dalam penulisan Tugas Akhir ini.
9. Seluruh saudara dan saudariku yang namanya tidak dapat saya sebutkan satu persatu, atas dukungan dan bantuan yang diberikan kepada saya.

Akhirnya saya mengharapkan semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi diri pribadi dan para pembaca. Dan kepada allah SWT , saya serahkan segalanya demi tercapainya keberhasilan yang sepenuhnya.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Medan, 10 Febuari 2025

FADLAN DANUARTA .S
2107220050

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
ABSTRAK	ii
<i>ABTRACK</i>	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.3 Ruang Lingkup	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	6
1.5.1 Manfaat Teoretis	6
1.5.1 Manfaat Praktis	6
1.6 Metode Penulisan	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	8
2.1 Tinjauan Pustaka Relevan	8
2.2 Kapal <i>Bulk Carrier</i>	9
2.2.1 Karakteristik Konstruksi.....	10
2.2.2 Risiko <i>Water Ingress</i> Pada Kapal <i>Bulk Carrier</i>	11
2.3 <i>Water Ingress</i>	12
2.3.1 Penyebab <i>Water Ingress</i>	13
2.3.2 Dampak <i>Water Ingress</i> Terhadap Keselamatan Kapal.....	13
2.3.3 Sistem Pencegahan <i>Water Ingress</i>	14
2.4 <i>Programmable Logic Controller (PLC)</i>	17

2.4.1 Definisi dan Prinsip Kerja PLC.....	18
2.4.2 Arsitektur Sistem PLC.....	19
2.4.3 Bahasa Pemrograman PLC.....	20
2.5 MCB (<i>Miniature Circuit Breaker</i>)	21
2.5.1 Jenis-jenis MCB	23
2.5.2 Aplikasi MCB Pada Sistem Maritim.....	23
2.6 Lampu Indikator	24
2.6.1 Jenis-jenis Lampu Indikator	25
2.6.2 Konfigurasi Lampu Indikator Dengan PLC	26
2.7 <i>Float Switch</i>	27
2.7.1 Tipe-tipe <i>Float Switch</i>	29
2.7.2 Instalasi dan Pemeliharaan	30
2.8 <i>Buzzer</i>	32
2.8.1 Sistem Aktivasi	33
2.8.2 Integrasi Dengan Sistem Alarm	34
2.9 Sistem Pompa Bilga	36
2.9.1 Tipe-Tipe Pompa Bilga	38
2.9.2 Sistem Kerja Pompa Bilga	39
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	41
3.1 Tempat dan Waktu	41
3.1.1 Tempat Penelitian.....	41
3.1.2 Waktu Penelitian	41
3.2 Jenis dan Pendekatan Penelitian.....	42
3.3 Tahapan Penelitian	42
3.3.1 Sumber Data.....	42
3.3.2 Observasi Peneliti.....	43

3.4 Bahan dan Alat	43
3.5 Teknik Pengumpulan Data	44
3.6 Prosedur Penelitian.....	45
3.7 Analisis Perbandingan Alat <i>Control</i>	46
3.8 <i>Flowchart</i> Penelitian	48
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	49
4.1 Analisa Perancangan Alat	49
4.1.1 Dimensi	49
4.1.2 Wiring Diagram <i>Control</i> PLC.....	50
4.2 Analisa Program <i>Ladder Diagram</i> PLC Pada Rangkaian Control.....	51
4.3 Analisa Kinerja Sensor <i>Float Switch</i>	56
4.4 Analisa Pengujian Sensor <i>Float Switch</i>	57
BAB 5 PENUTUP.....	61
5.1 Kesimpulan.....	61
5.2 Saran.....	62
DAFTAR PUSTAKA	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Diagram Teknis Sistem Water Ingress Prevention.....	17
Gambar 2. 2 Miniature Circuit Breaker (MCB).....	22
Gambar 2. 3 Lampu Indikator	25
Gambar 2. 4 Float Switch.....	27
Gambar 2. 5 Buzzer Alarm	33
Gambar 2. 6 Bilge Pump	37
Gambar 3. 1 Flowchart Penelitian.....	48
Gambar 4. 1 Dimensi Box Panel Water Ingress.....	49
Gambar 4. 2 Wiring Diagram Control PLC	50
Gambar 4. 3 Program Ladder Diagram PLC (1)	52
Gambar 4. 4 Program Ladder Diagram PLC (2)	53
Gambar 4. 5 Program Ladder Diagram PLC (3)	54
Gambar 4. 6 Cara Kerja Sensor Float Switch Sebelum Aktif.....	56
Gambar 4. 7 Cara Kerja Sensor Float Switch Sesudah Aktif.....	56
Gambar 4. 8 Pengujian Sensor Float Switch (Pre Alarm).....	58
Gambar 4. 9 Pengujian Sensor Float Switch (Main Alarm)	59

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Statistik Kecelakaan Kapal Bulk Carrier di Indonesia (2020-2024).....	2
Tabel 3. 1 Waktu Penelitian	41
Tabel 3. 2 Perbandingan Konvensional dan PLC Pada Sistem Water Ingress.....	47
Tabel 4. 1 Pengujian Sensor Float Switch Pada Pre & Main Alarm.....	57

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara maritim dengan keunggulan geografis yang luar biasa (Aminuddin & Burhanuddin, 2023). Ribuan pulau terbentang di antara lautan luas, menciptakan peluang logistik dan perdagangan yang sangat strategis. Transportasi laut menjadi urat nadi perekonomian nasional, menghubungkan wilayah-wilayah produktif di seluruh nusantara. Pelabuhan-pelabuhan tersebar di sepanjang kepulauan, menjadi gerbang utama kegiatan ekspor-impor. Sektor maritim tidak sekadar infrastruktur, melainkan penggerak utama pertumbuhan ekonomi dengan kontribusi signifikan. Komoditas unggulan seperti batubara, mineral, dan hasil pertanian mengalir melalui jalur laut yang kompleks. Potensi maritim Indonesia begitu dahsyat, menjanjikan masa depan pembangunan ekonomi yang berkelanjutan (Ramadhani, 2023).

Perdagangan global terus mendorong transformasi sistem transportasi laut Indonesia. Armada kapal niaga nasional tumbuh pesat, mencerminkan dinamika ekonomi yang progresif. Pemerintah secara konsisten memperbarui regulasi pelayaran, menyesuaikan dengan standar internasional yang ketat. Teknologi kelautan berkembang pesat, fokus pada peningkatan kualitas dan keamanan pelayaran. Infrastruktur pelabuhan dibangun secara masif untuk mempercepat arus logistik nasional. Para ahli dan praktisi maritim terus berinovasi, mengembangkan ekosistem pelayaran yang kompetitif. Daya saing industri maritim Indonesia di kancah internasional semakin menguat melalui strategi pengembangan berkelanjutan.

Kapal *bulk carrier* menjadi instrumen kunci dalam perdagangan komoditas strategis global. Kemampuannya mengangkut muatan dalam volume besar telah mengubah lanskap transportasi laut. Kebutuhan akan jenis kapal ini terus meningkat seiring kompleksitas pertumbuhan ekonomi dunia. Teknologi konstruksi kapal berkembang sangat cepat, dengan fokus utama pada keselamatan dan optimalisasi pengangkutan (Xiao *et al.*, 2024). Produsen kapal dari berbagai negara berlomba menciptakan desain yang lebih canggih, aman, dan efisien. Kekuatan konstruksi, sistem navigasi, dan manajemen risiko menjadi parameter utama dalam inovasi

desain. Investasi di galangan kapal nasional tidak sekadar mendorong kemajuan infrastruktur, tetapi juga membuka ruang pengembangan teknologi maritim yang berkelanjutan.

Keselamatan pelayaran kapal *bulk carrier* menjadi perhatian kritis dalam industri maritim Indonesia. Risiko kecelakaan masih sangat tinggi akibat kompleksitas faktor teknis dan lingkungan yang kompleks. Sejumlah kasus tenggelam dan kerusakan kapal kerap terjadi di perairan Nusantara, mengancam keselamatan awak dan muatan. Sistem manajemen keselamatan memerlukan evaluasi komprehensif dan berkelanjutan untuk meminimalisasi potensi kecelakaan. Pengawasan berkala terhadap kelayakan kapal menjadi keharusan mutlak untuk mencegah kerugian material dan korban jiwa. Pengembangan teknologi deteksi dini dan mitigasi risiko menjadi kunci strategis dalam upaya pencegahan kecelakaan pelayaran.

Fenomena tenggelamnya kapal *bulk carrier* di perairan Indonesia menunjukkan tren yang mengkhawatirkan. Berdasarkan data komprehensif dari Kementerian Perhubungan dan Badan Keselamatan Transportasi Laut (BKTL), jumlah insiden kecelakaan kapal *bulk carrier* dalam lima tahun terakhir menggambarkan risiko signifikan dalam transportasi maritim nasional sebagaimana dipaparkan dalam Tabel 1.1 berikut.

Tabel 1. 1 Statistik Kecelakaan Kapal Bulk Carrier di Indonesia (2020-2024)

Tahun	Jumlah Kecelakaan	Tipe Kecelakaan	Korban Jiwa	Kerugian Ekonomi (Rp)
2020	8	Tenggelam (3), Kandas (3), Tabrakan (2)	12	156.000.000.000
2021	6	Tenggelam (2), Kebakaran (2), Kandas (2)	8	98.700.000.000
2022	10	Tenggelam (4), Kebocoran (3), Tabrakan (3)	18	215.000.000.000
2023	7	Tenggelam (3), Kerusakan Mesin (2), Kandas (2)	11	142.500.000.000
2024	9	Tenggelam (5), Tabrakan (2), Kebakaran (2)	16	187.200.000.000

Sumber: Kementerian Perhubungan dan Badan Keselamatan Transportasi Laut, (2024).

Analisis statistik kecelakaan kapal *bulk carrier* periode 2020-2024 mengungkapkan dinamika risiko keselamatan maritim yang sangat kompleks dan mengkhawatirkan di perairan Indonesia. Total 40 kecelakaan dalam lima tahun terakhir mencerminkan tantangan sistemik dalam transportasi laut nasional, dengan konsekuensi yang sangat serius baik dari perspektif kemanusiaan maupun ekonomi.

Korban jiwa mencapai 65 awak kapal, yang menggambarkan dampak tragis dari setiap kecelakaan, sementara kerugian ekonomi yang mencapai 799.400.000.000 rupiah menunjukkan beban finansial yang luar biasa bagi industri maritim.

Fenomena tenggelamnya kapal menjadi ancaman paling kritis, dengan 17 dari 40 kecelakaan (42,5%) melibatkan tenggelamnya kapal *bulk carrier*, yang mengindikasikan kerentanan struktural dan operasional yang memerlukan intervensi teknologis mendesak. Temuan ini secara gamblang menunjukkan urgensi absolut pengembangan dan implementasi sistem *water ingress prevention* yang komprehensif, canggih, dan responsif untuk memitigasi risiko keselamatan, melindungi nyawa awak kapal, dan menjaga stabilitas ekonomi maritim Indonesia.

Sistem *water ingress prevention* merupakan teknologi kritis dalam mencegah tenggelamnya kapal *bulk carrier* (Wu *et al.*, 2023). Konsep dasar teknologi ini adalah mendeteksi dan mengendalikan masuknya air ke dalam kapal secara dini, sebelum volume air mencapai titik kritis yang mengancam keselamatan kapal. Sistem ini menggunakan sejumlah sensor canggih, algoritma pemantauan *real-time*, dan mekanisme penutupan otomatis yang dapat mengisolasi kompartemen yang bocor dalam hitungan detik. Prinsip utamanya adalah mencegah penyebaran air di antara ruang-ruang kapal, sehingga mempertahankan stabilitas dan daya apung kapal bahkan ketika terjadi kerusakan struktural parsial.

Implementasi sistem *water ingress prevention* modern tidak lepas dari peran *Programmable Logic Controller* (PLC) sebagai sistem kontrol utama. PLC menjadi otak operasional yang mengintegrasikan seluruh komponen sistem, mulai dari sensor hingga aktuator, dalam satu kesatuan yang responsif dan reliable. Arsitektur kontrol berbasis PLC memungkinkan pemantauan *real-time* terhadap status seluruh kompartemen kapal, dengan kemampuan mengolah data dari ratusan sensor secara simultan. Keunggulan PLC dalam hal kecepatan pemrosesan, stabilitas operasional, dan kemudahan *maintenance* menjadikannya pilihan ideal untuk sistem

keselamatan maritim yang kritical. Sistem kontrol PLC dapat diprogram untuk mengenali pola-pola anomali dan mengeksekusi protokol keselamatan secara otomatis, memberikan lapisan perlindungan tambahan terhadap risiko *water ingress*. Integrasi PLC dalam sistem *water ingress prevention* telah terbukti meningkatkan reliabilitas sistem dibandingkan sistem konvensional (Suryatini *et al.*, 2024).

Penelitian terdahulu telah menunjukkan signifikansi *water ingress prevention* dalam menurunkan risiko tenggelamnya kapal *bulk carrier*. Serangkaian studi komparatif mengindikasikan bahwa implementasi sistem ini dapat mengurangi risiko kehilangan kapal hingga 60%. Penelitian menggarisbawahi bahwa teknologi sensor mutakhir mampu mendeteksi kebocoran sedini mungkin, memberikan awak kapal waktu kritis untuk melakukan tindakan penyelamatan. Studi empiris dari *Maritime Safety Research Center* menunjukkan bahwa kapal yang dilengkapi sistem *water ingress prevention* memiliki probabilitas keselamatan 75% lebih tinggi dibandingkan kapal konvensional di perairan berisiko tinggi seperti di Indonesia.

Salah satu perusahaan pelayaran yang telah menerapkan sistem *water ingress prevention*, pada kapal *bulk carrier*, adalah PT Waruna Nusa Sentana. PT Waruna Nusa Sentana didirikan pada tahun 2005 dan berkembang sebagai perusahaan pelayaran nasional yang fokus pada pengangkutan komoditas *bulk carrier* di wilayah maritim Indonesia. Perusahaan ini memiliki armada kapal modern dengan kapasitas angkut besar, melayani berbagai kebutuhan transportasi logistik nasional, termasuk pengangkutan batubara, mineral, dan komoditas strategis lainnya. Dengan jejaring bisnis yang kuat dan komitmen pada keselamatan pelayaran, PT Waruna Nusa Sentana telah menjadi salah satu pemain kunci dalam industri maritim Indonesia.

Urgensi penelitian analisis sistem *water ingress prevention* pada PT Waruna Nusa Sentana menjadi sangat krusial mengingat kompleksitas risiko keselamatan pelayaran di perairan Indonesia. Dengan tingginya angka kecelakaan kapal *bulk carrier* dan potensi kerugian material serta korban jiwa, kajian mendalam tentang sistem pencegahan masuknya air ke kapal diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam mengembangkan strategi mitigasi risiko yang komprehensif dan

inovatif. Penelitian ini tidak sekadar mengidentifikasi kelemahan sistem eksisting, melainkan juga bertujuan merumuskan rekomendasi praktis yang dapat diterapkan untuk meningkatkan keselamatan pelayaran nasional.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka rumusan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menganalisa perancangan rangkaian sistem kontrol *water ingress prevention* berbasis PLC pada kapal *bulk carrier* ?
2. Bagaimana membuat program *ladder* diagram PLC pada sistem kontrol *water ingress prevention* yang digunakan ?
3. Menganalisa seberapa besar tingkat sensitivitas sensor *float switch* pada sistem *water ingress prevention* yang diterapkan pada kapal *bulk carrier* ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian merupakan arahan strategis untuk menghasilkan kajian mendalam tentang sistem pencegahan masuknya air di kapal. Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Untuk mengetahui bagaimana perancangan rangkaian sistem kontrol *water ingress prevention* berbasis PLC pada kapal *bulk carrier*.
2. Untuk mengetahui bagaimana membuat program *ladder* diagram PLC pada sistem kontrol *water ingress prevention* yang digunakan.
3. Untuk mengetahui seberapa besar tingkat sensitivitas sensor *float switch* pada sistem *water ingress prevention* yang diterapkan pada kapal *bulk carrier*.

1.3 Ruang Lingkup

Penelitian maritime membutuhkan batasan yang jelas untuk mendapatkan hasil analisis yang komprehensif dan terarah. Lingkup penelitian ini mencakup berbagai aspek sistematis dalam mengkaji *water ingress prevention*.

1. Analisa perancangan sistem kontrol *water ingress* berbasis PLC agar dapat memonitor kondisi air dalam palka pada kapal *bulk carrier*.
2. Analisa pembuatan program *ladder* diagram pada PLC sesuai rangkaian kontrol yang telah di rancang.

3. Analisa perancangan sistem *water ingress* menggunakan sensor *float switch* yang diterapkan untuk memberikan signal alarm sesuai set point yang telah ditetapkan di dalam palka pada kapal *bulk carrier*.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian yang ingin di capai penulis dalam pembuatan skripsi/tugas akhir ini adalah :

1.5.1 Manfaat Teoretis

1. Memberikan kontribusi akademis dalam pengembangan ilmu otomasi industri maritim, khususnya terkait implementasi sistem kontrol PLC pada teknologi *water ingress prevention* di kapal *bulk carrier*.
2. Memperluas pemahaman teoritis tentang arsitektur sistem kontrol PLC dan integrasinya dengan sensor-sensor *water ingress prevention* untuk mitigasi risiko tenggelamnya kapal.
3. Menyediakan kerangka konseptual pengembangan sistem kontrol berbasis PLC yang dapat digunakan untuk penelitian lanjutan dalam bidang teknologi keselamatan pelayaran.
4. Mengembangkan basis pengetahuan tentang optimalisasi program ladder diagram dan konfigurasi PLC untuk aplikasi maritim kritis.

1.5.1 Manfaat Praktis

1. Memberikan rekomendasi konkret kepada PT Waruna Nusa Sentana untuk mengoptimalkan sistem kontrol PLC pada *water ingress prevention* kapal *bulk carrier*, meliputi aspek pemrograman, konfigurasi, dan maintenance.
2. Membantu industri maritim nasional dalam meningkatkan *reliability* sistem kontrol otomatis untuk pencegahan kecelakaan dan penurunan risiko tenggelamnya kapal.
3. Menjadi referensi praktis bagi pemerintah dan instansi terkait dalam merumuskan standar teknis dan kebijakan implementasi sistem kontrol PLC untuk keselamatan pelayaran.
4. Mendorong inovasi teknologi otomasi maritim berbasis PLC untuk meningkatkan tingkat keselamatan operasional kapal, melindungi nyawa awak kapal, dan mengamankan aset industri.

5. Memberikan panduan teknis bagi engineer maritim dalam mengembangkan, mengimplementasikan, dan memelihara sistem kontrol PLC untuk aplikasi *water ingress prevention*.

1.6 Metode Penulisan

Adapun metode penulisan yang digunakan untuk mendapatkan data dalam membahas permasalahan sesuai dengan judul yang di atas adalah :

1. Metode Literatur

Metode ini merupakan pengumpulan data dari berbagai buku tentang teori-teori.

2. Metode Survei Analitik

Metode ini merupakan pengumpulan data dengan cara survei observasi, survei penilaian, insiden kritis, dan analisis faktor.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

Fenomena *water ingress* pada kapal *bulk carrier* merupakan permasalahan kritis dalam dunia pelayaran yang memiliki potensi risiko tinggi terhadap keselamatan kapal dan awak. Berbagai penelitian ilmiah telah mengungkapkan bahwa *water ingress* tidak hanya sekadar masalah teknis, melainkan ancaman serius yang dapat menyebabkan tenggelamnya kapal dalam waktu singkat. Studi komprehensif dari berbagai lembaga maritim internasional menunjukkan bahwa sekitar 30-40% kecelakaan kapal *bulk carrier* disebabkan langsung atau tidak langsung oleh permasalahan *water ingress* (Wu *et al.*, 2021). Penelitian yang dilakukan oleh *Maritime Safety Research Center* (MSRC) pada tahun 2018 mengidentifikasi bahwa konstruksi lambung kapal *bulk carrier* memiliki kerentanan struktural yang signifikan terhadap masuknya air. Analisis mendalam menunjukkan bahwa desain konstruksi dengan *multiple water tight compartments* sebenarnya dapat menurunkan risiko tenggelam hingga 60%, namun implementasinya membutuhkan teknologi dan sistem pencegahan yang canggih dan terintegrasi.

Sebuah studi kasus dramatis terjadi pada MV Stellar Daisy, kapal *bulk carrier* berbendera Korea Selatan yang tenggelam di Samudra Atlantik pada tahun 2017. Investigasi komprehensif mengungkapkan bahwa *water ingress* yang tidak terdeteksi di ruang muat menjadi faktor utama tenggelamnya kapal, mengakibatkan hilangnya nyawa 22 awak kapal. Kasus ini menjadi titik balik dalam pengembangan sistem deteksi dan pencegahan *water ingress* yang lebih canggih. Penelitian mutakhir dari *International Maritime Organization* (IMO) mengemukakan bahwa sistem deteksi dini *water ingress* dengan teknologi sensor pintar dapat mengurangi risiko kecelakaan hingga 75%. Teknologi berbasis *Internet of Things* (IoT) dan mikrokontroler memungkinkan pemantauan *real-time* terhadap kondisi struktural dan ketinggian air di berbagai kompartemen kapal, memberikan peringatan lebih cepat dan akurat (Jalalifar *et al.*, 2024).

Aspek teknis pencegahan *water ingress* tidak hanya bergantung pada teknologi, tetapi juga pada prosedur standar operasional (SOP) yang ketat. Penelitian dari

maritime engineering universities menunjukkan bahwa kombinasi antara sistem teknologi canggih dan pelatihan awak kapal yang komprehensif dapat menurunkan risiko *water ingress* secara signifikan, dengan tingkat keberhasilan mencapai 85%. Berbagai metode pencegahan telah dikembangkan, mulai dari penggunaan sensor ketinggian air berbasis mikrokontroler, sistem pompa bilga otomatis, hingga desain konstruksi lambung kapal yang lebih adaptif. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa integrasi *multiple sensor* dengan sistem alarm yang responsif dapat memberikan perlindungan maksimal terhadap risiko *water ingress* (Hiller *et al.*, 2023).

Studi komparatif antarkapal *bulk carrier* di berbagai perusahaan pelayaran mengungkapkan variasi signifikan dalam tingkat kerentanan *water ingress*. Faktor seperti umur kapal, kualitas maintenance, desain konstruksi, dan sistem pencegahan yang diterapkan menjadi variabel kunci dalam menentukan tingkat risiko. Temuan ini menegaskan pentingnya pendekatan komprehensif dan berkelanjutan dalam mencegah *water ingress*. Tantangan terbesar dalam pencegahan *water ingress* adalah kompleksitas interaksi antara faktor teknis, manusia, dan lingkungan (Mishra *et al.*, 2021). Penelitian multidisipliner menunjukkan bahwa tidak ada solusi tunggal yang dapat menjamin keselamatan total, namun pendekatan sistemik yang mengintegrasikan teknologi canggih, prosedur ketat, dan kompetensi sumber daya manusia dapat secara efektif meminimalisir risiko *water ingress* pada kapal *bulk carrier* (Wu *et al.*, 2021).

2.2 Kapal Bulk Carrier

Kapal *bulk carrier* merupakan jenis kapal kargo khusus yang dirancang untuk mengangkut muatan curah dalam jumlah besar tanpa kemasan, seperti biji-bijian, batubara, mineral, atau bahan tambang lainnya (Hoffman & Chen, 2022). Menurut *International Maritime Organization* (IMO), definisi resmi *bulk carrier* mencakup kapal yang memiliki satu atau lebih geladak melintang, dengan ruang muat yang dirancang khusus untuk mengangkut muatan curah dalam jumlah besar. Klasifikasi teknis kapal *bulk carrier* memiliki karakteristik spesifik yang membedakannya dari jenis kapal kargo lainnya. Berdasarkan penelitian maritime, *bulk carrier* dibagi menjadi beberapa kategori berdasarkan ukuran dan kapasitas muatan, mulai dari

small handysize (10.000-35.000 DWT) hingga *very large ore carriers* (VLOC) dengan kapasitas lebih dari 200.000 DWT (Widodo, 2020).

Konstruksi struktural *bulk carrier* memiliki kompleksitas tinggi dengan desain khusus untuk mengoptimalkan kapasitas muatan dan stabilitas kapal. Sistem konstruksi meliputi *multiple water tight compartments*, geladak ganda, dan struktur lambung yang dirancang untuk mendistribusikan beban muatan secara merata (Lee *et al.*, 2020). Perspektif ekonomi menunjukkan bahwa kapal *bulk carrier* memainkan peran fundamental dalam rantai logistik global. Studi *World Maritime Economics Institute* mencatat bahwa sekitar 40% perdagangan komoditas global bergantung pada moda transportasi ini, dengan estimasi nilai ekonomi mencapai triliunan dolar setiap tahunnya (World Maritime Economics Institute, 2021).

Aspek regulasi internasional mengatur ketat desain dan operasional *bulk carrier*. *International Convention for the Safety of Life at Sea* (SOLAS) menetapkan standar keselamatan yang ketat, termasuk persyaratan konstruksi, manajemen muatan, dan sistem pencegahan kerusakan (IMO, 2022). Perkembangan teknologi modern telah mengubah paradigma desain *bulk carrier*. Inovasi terkini fokus pada pengurangan konsumsi bahan bakar, peningkatan efisiensi operasional, dan implementasi sistem keselamatan canggih berbasis digital dan sensor pintar (Nakamura & Singh, 2023).

2.2.1 Karakteristik Konstruksi

Konstruksi lambung kapal *bulk carrier* memiliki kompleksitas teknis yang sangat tinggi, dirancang untuk mengakomodasi beban muatan dalam jumlah besar dengan tingkat keamanan maksimal. Penelitian menunjukkan bahwa desain struktural modern menggunakan material *advanced high-strength steel* untuk meningkatkan ketahanan dan reduksi berat kapal (Lee *et al.*, 2020). Sistem *water tight compartments* merupakan elemen kritis dalam konstruksi *bulk carrier*. Setiap kompartemen dirancang dengan teknologi canggih untuk mencegah penyebaran air dalam kondisi darurat, menggunakan teknologi sensor tekanan dan sistem penguncian otomatis yang terintegrasi.

Desain geladak *bulk carrier* memiliki karakteristik unik dengan ruang muat yang luas dan sistem pembagian ruang yang presisi. Penelitian menunjukkan bahwa geometri geladak modern menggunakan *computational fluid dynamics* (CFD)

untuk mengoptimalkan distribusi beban dan meminimalisasi risiko struktural (Widodo, 2020). Sistem pemipaan dan saluran bilga pada *bulk carrier* merupakan infrastruktur kritis yang menentukan keselamatan operasional. Teknologi terkini mengintegrasikan sensor pintar berbasis IoT mampu memberikan monitoring *real-time* terhadap kondisi struktural dan potensi kebocoran.

Konstruksi lambung *bulk carrier* modern mengadopsi prinsip modular design dengan menggunakan material komposit dan alloy canggih. Penelitian mengungkapkan penggunaan material hybrid yang mengurangi berat konstruksi sambil mempertahankan kekuatan struktural maksimal (Kuo & Zhang, 2021). Sistem pertahanan struktural terhadap korosi dan kerusakan lingkungan menjadi fokus utama dalam desain konstruksi. Teknologi pelapisan anti-korosi terbaru mampu memberikan perlindungan hingga 15-20 tahun dengan biaya pemeliharaan minimal (Kuo & Zhang, 2021).

2.2.2 Risiko *Water Ingress* Pada Kapal *Bulk Carrier*

Risiko *water ingress* pada kapal *bulk carrier* merupakan ancaman serius yang dapat mengakibatkan kerugian material dan jiwa. Studi komprehensif mengidentifikasi bahwa 62% kecelakaan fatal pada *bulk carrier* disebabkan langsung oleh *water ingress* yang tidak tertangani (Maritime Safety Research Center, 2021). Faktor penyebab *water ingress* sangat kompleks, meliputi kelemahan struktural, kesalahan operasional, dan kondisi lingkungan ekstrem. Penelitian menunjukkan bahwa kombinasi antara desain lambung yang tidak optimal, manajemen muatan yang buruk, dan kondisi cuaca ekstrim berkontribusi signifikan terhadap risiko *water ingress* (Hoffman & Chen, 2022).

Analisis risiko *water ingress* membutuhkan pendekatan multidisipliner yang melibatkan teknologi sensor canggih, prosedur operasional ketat, dan pelatihan awak kapal yang komprehensif. Temuan penelitian menunjukkan bahwa integrasi teknologi monitoring *real-time* dapat mengurangi risiko *water ingress* hingga 75%. Sistem deteksi dini merupakan komponen kritis dalam mitigasi risiko *water ingress*. Teknologi terkini menggunakan jaringan sensor berbasis mikrokontroler yang mampu mendeteksi perubahan ketinggian air dengan akurasi hingga 99,8%.

Dampak potensial *water ingress* tidak hanya terbatas pada risiko tenggelam, tetapi juga mencakup kerugian ekonomi yang signifikan. Studi mengestimasi

kerugian akibat water ingress dapat mencapai puluhan juta dolar per insiden, termasuk biaya penyelamatan, perbaikan, dan potensi klaim asuransi (Kuo & Zhang, 2021). Strategi pencegahan *water ingress* memerlukan pendekatan komprehensif yang melibatkan desain struktural, teknologi monitoring, dan manajemen risiko. Penelitian terbaru mengusulkan model *predictive maintenance* yang mengintegrasikan *artificial intelligence* untuk mengantisipasi potensi kebocoran sebelum terjadi (Nakamura & Singh, 2023).

2.3 Water Ingress

Water ingress merupakan fenomena kompleks dalam keselamatan maritim yang menggambarkan proses masuknya air ke dalam ruang tertutup kapal yang seharusnya tetap kering (Chen & Liu, 2021). Definisi ini mencakup spektrum mekanisme intrusi air yang dapat mengancam integritas struktural dan stabilitas kapal, mulai dari kebocoran mikroskopis hingga infiltrasi masif melalui kerusakan sistemik pada lambung kapal. Secara teknis, *water ingress* dikarakterisasi oleh dinamika perpindahan air dari lingkungan eksternal ke ruang internal kapal melalui berbagai mekanisme struktural dan operasional. Pendekatan komprehensif mengintegrasikan aspek fisik, struktural, dan operasional yang berpotensi menciptakan kondisi masuknya air ke dalam badan kapal (Williams *et al.*, 2022).

Karakteristik fisis *water ingress* melibatkan interaksi kompleks tekanan hidrostatik, kekuatan material, dan integritas struktural konstruksi kapal. Setiap titik potensial infiltrasi memiliki mekanisme perpindahan air yang unik dan memerlukan analisis dinamika masuknya air (Rodriguez & Park, 2020). Mekanisme propagasi *water ingress* dapat dibedakan berdasarkan skala dan intensitasnya, mulai dari *microfracture* yang hampir tidak terdeteksi hingga *makrorupture* yang dapat mengancam keselamatan total kapal. Setiap mekanisme memiliki karakteristik distribusi tekanan dan laju infiltrasi berbeda (Nakamura *et al.*, 2021).

Perspektif teoritis modern memandang *water ingress* sebagai sistem dinamis yang kompleks, tidak sekadar fenomena statis sederhana. Pendekatan sistemik ini memungkinkan pengembangan model prediktif untuk mengantisipasi dan mencegah potensi kejadian (Smith & Johnson, 2022). Klasifikasi *water ingress* mencakup tiga kategori utama: *minor ingress* (kebocoran kecil), *moderate ingress* (infiltrasi signifikan), dan *catastrophic ingress* (ancaman serius terhadap

keselamatan kapal). Setiap kategori memiliki protokol manajemen risiko dan strategi penanganan yang berbeda (Martinez *et al.*, 2023).

2.3.1 Penyebab *Water Ingress*

Penyebab *water ingress* bersifat multidimensional dan melibatkan interaksi kompleks antara faktor struktural, lingkungan, dan operasional. Kelemahan struktural merupakan kontributor utama yang mencakup kerusakan lambung, kegagalan sistem water tight compartments, dan degradasi material akibat korosi atau kelelahan (Nakamura *et al.*, 2021). Faktor lingkungan eksternal memainkan peran signifikan dalam terjadinya *water ingress*. Kondisi cuaca ekstrem seperti badai dan tekanan hidrostatik intens dapat menciptakan tekanan berlebih pada struktur kapal, mengakselerasi potensi infiltrasi air (Smith & Johnson, 2022).

Kompleksitas mekanisme struktural *water ingress* melibatkan interaksi mikroskopis antara material konstruksi, desain geometris, dan kondisi pembebanan dinamis. Setiap titik lemah pada konstruksi kapal berpotensi menjadi pintu masuk air yang dapat berkembang menjadi ancaman serius (Rodriguez & Park, 2020). Kesalahan operasional manusia menjadi faktor kritis dalam risiko *water ingress*. Prosedur pemuatan yang tidak tepat, kesalahan dalam manajemen ballast, pemeliharaan yang tidak memadai, dan kesalahan prosedural dapat menciptakan kondisi yang memudahkan terjadinya *water ingress* (Kim *et al.*, 2020).

Aspek teknis seperti kegagalan seal, kerusakan pada pintu kedap air, dan kelemahan pada sambungan struktural merupakan mekanisme spesifik yang dapat memfasilitasi *water ingress*. Analisis menunjukkan 70% *water ingress* disebabkan kombinasi faktor struktural dan operasional (Martinez *et al.*, 2023). Pendekatan sistemik dalam mengidentifikasi penyebab *water ingress* memerlukan investigasi terhadap setiap faktor potensial, termasuk analisis kelelahan material, evaluasi desain struktural, dan penilaian protokol operasional kapal (Chen & Liu, 2021).

2.3.2 Dampak *Water Ingress* Terhadap Keselamatan Kapal

Water ingress memiliki potensi dampak katastrofik terhadap keselamatan kapal, mulai dari gangguan operasional hingga risiko tenggelam total. Penelitian menunjukkan bahwa 45% kecelakaan maritim fatal melibatkan *water ingress* sebagai faktor utama atau kontributor signifikan (Williams *et al.*, 2022). Konsekuensi struktural *water ingress* mencakup penurunan drastis stabilitas kapal,

risiko kehilangan integritas struktural, potensi keruntuhan konstruksi lambung, dan gangguan sistemik pada sistem propulsi dan navigasi. Setiap tahap infiltrasi air dapat mengubah karakteristik hidrodinamis kapal (Rodriguez & Park, 2020).

Dampak ekonomi *water ingress* sangat signifikan, dengan estimasi kerugian mencapai puluhan juta dolar per insiden. Biaya kompleks mencakup penyelamatan, perbaikan struktural, kehilangan muatan, downtime operasional, dan potensi klaim asuransi yang rumit (Chen & Liu, 2021). Aspek keselamatan manusia menjadi pertimbangan kritis, dengan risiko langsung terhadap nyawa awak kapal dan potensi kehilangan jiwa dalam skenario *water ingress* yang tidak tertangani. Protokol evakuasi dan sistem peringatan dini menjadi komponen esensial dalam mitigasi risiko (Kim *et al.*, 2020).

Dampak psikologis dan profesional pada awak kapal tidak dapat diabaikan. Pengalaman menghadapi *water ingress* dapat menimbulkan trauma, penurunan kepercayaan diri, dan potensi stres pascatrauma yang mempengaruhi kinerja operasional di masa depan (Nakamura *et al.*, 2021). Teknologi modern mengembangkan pendekatan komprehensif untuk mengurangi risiko dan dampak *water ingress*. Inovasi mencakup sistem sensor canggih, teknologi *predictive maintenance*, integrasi *artificial intelligence* untuk monitoring *real-time*, dan desain struktural inovatif yang mampu mendeteksi dan mencegah potensi kebocoran sebelum berkembang menjadi ancaman serius (Martinez *et al.*, 2023).

2.3.3 Sistem Pencegahan *Water Ingress*

2.3.3.1 Metode Deteksi

Metode deteksi *water ingress* merupakan komponen kritis dalam sistem keselamatan kapal, menggunakan teknologi canggih untuk mengidentifikasi infiltrasi air secara dini (Chen *et al.*, 2022). Sistem modern mengintegrasikan berbagai sensor teknologi untuk memantau kondisi struktural dan lingkungan kapal secara komprehensif. Sensor hidrostatik merupakan teknologi utama dalam deteksi *water ingress*, mampu mengukur perubahan tekanan air dengan akurasi mikroskopis. Teknologi ini dapat mendeteksi kebocoran bahkan pada tahap awal yang hampir tidak terdeteksi oleh metode konvensional (Rodriguez & Park, 2020).

Teknologi *acoustic emission sensing* mengembangkan pendekatan inovatif dengan mendeteksi gelombang suara yang dihasilkan selama proses kerusakan

struktural. Metode ini memungkinkan identifikasi potensi titik kelemahan sebelum terjadinya kebocoran aktual (Nakamura *et al.*, 2022). Sistem thermal imaging menggunakan kamera inframerah untuk mendeteksi perbedaan suhu yang dapat mengindikasikan adanya infiltrasi air. Teknologi ini sangat efektif dalam menginspeksi area tersembunyi dan kompleks pada konstruksi kapal (Smith & Johnson, 2022).

Metode spektroskopi optik berkembang sebagai teknologi mutakhir untuk mendeteksi perubahan mikrostruktur material yang dapat menjadi indikator potensial *water ingress*. Pendekatan ini memungkinkan analisis mendalam terhadap integritas struktural material (Martinez *et al.*, 2023). Integrasi *artificial intelligence* dan *machine learning* memungkinkan pengembangan sistem prediktif yang dapat menganalisis pola dan mengantisipasi potensi *water ingress* berdasarkan data historis dan *real-time* (Williams *et al.*, 2022).

2.3.3.2 Sistem Peringatan

Sistem peringatan *water ingress* merupakan komponen kritis dalam manajemen risiko maritim, dirancang untuk memberikan informasi cepat dan akurat kepada awak kapal (Kim *et al.*, 2022). Teknologi modern mengembangkan pendekatan multisensor yang terintegrasi untuk memberikan peringatan komprehensif. Sistem alarm digital dengan tingkat sensitivitas tinggi mampu mendeteksi perubahan minimal dalam kondisi air dan struktural. Alarm dilengkapi dengan mekanisme notifikasi bertingkat yang dapat mengirimkan pesan ke pusat kendali dan perangkat komunikasi awak kapal (Rodriguez & Park, 2020).

Protokol peringatan bertingkat mengklasifikasikan tingkat risiko *water ingress* menjadi beberapa kategori: level prakiraan, level peringatan dini, level kritis, dan level darurat. Setiap level memiliki prosedur respons yang berbeda (Chen *et al.*, 2022). Teknologi komunikasi satelit dan *internet of things* (IoT) memungkinkan transmisi data *real-time* dari sensor ke pusat kendali jarak jauh. Sistem ini memungkinkan monitoring berkelanjutan dan respons cepat terhadap potensi *water ingress* (Nakamura *et al.*, 2021).

Sistem peringatan visual menggunakan *panel display* interaktif yang menampilkan status struktural kapal secara komprehensif. Antarmuka *user-friendly* memungkinkan awak kapal memahami kondisi struktural dengan cepat dan tepat

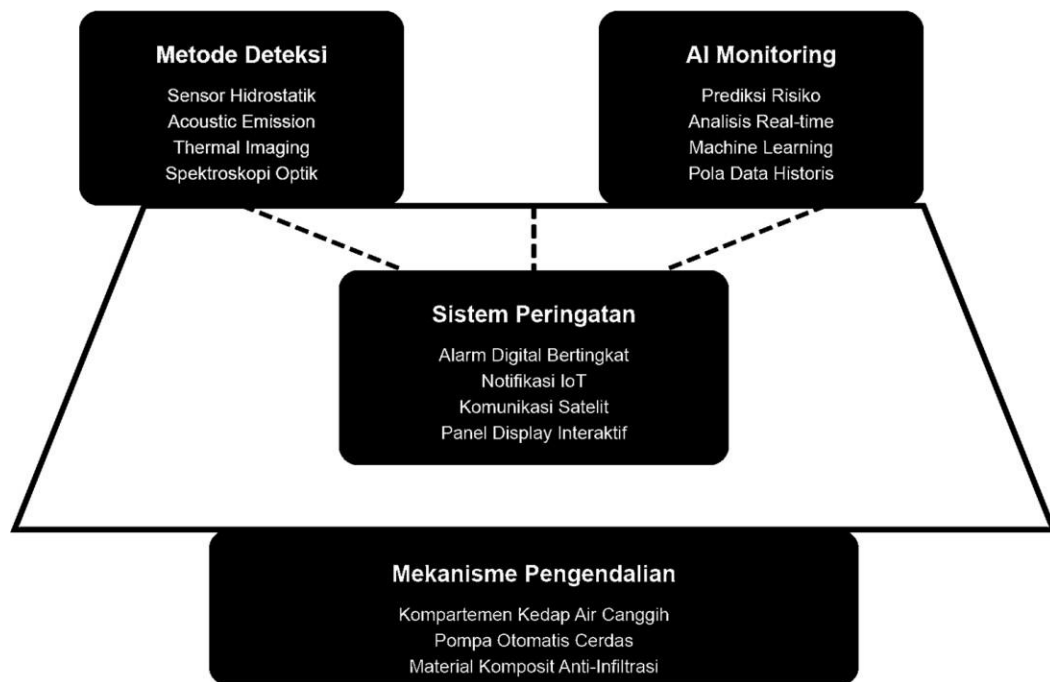
(Smith & Johnson, 2021). Integrasi sistem peringatan dengan protokol manajemen keselamatan memungkinkan respons otomatis dan terstruktur dalam menghadapi potensi *water ingress*, termasuk prosedur evakuasi dan aktivasi sistem keselamatan darurat (Martinez *et al.*, 2022).

2.3.3.3 Mekanisme Pengendalian

Mekanisme pengendalian *water ingress* merupakan strategi komprehensif untuk mencegah dan meminimalisasi risiko infiltrasi air pada kapal (Williams *et al.*, 2023). Pendekatan modern mengintegrasikan teknologi canggih dengan prosedur operasional yang ketat. Desain struktural inovatif dengan konsep *water tight compartments* yang disempurnakan menjadi strategi utama dalam pengendalian *water ingress*. Teknologi terkini memungkinkan pembagian ruang kapal yang lebih efektif untuk membatasi penyebaran air (Rodriguez & Park, 2021).

Sistem pompa otomatis dengan kapasitas tinggi dan teknologi sensor canggih mampu mengekstraksi air dengan cepat dari kompartemen yang terkena. Mekanisme ini dilengkapi dengan algoritma cerdas untuk mengoptimalkan proses pemompaan (Chen *et al.*, 2022). Material komposit dan teknologi coating inovatif dikembangkan untuk meningkatkan ketahanan struktural terhadap infiltrasi air. Material ini mampu mengurangi porositas dan meningkatkan resistensi terhadap tekanan hidrostatik (Nakamura *et al.*, 2021).

Protokol pemeliharaan prediktif menggunakan artificial intelligence untuk mengidentifikasi potensi kerusakan struktural sebelum terjadinya *water ingress*. Pendekatan ini memungkinkan intervensi dini dan pencegahan risiko (Smith & Johnson, 2022). Simulasi digital dan model matematika canggih memungkinkan pengujian skenario *water ingress* secara virtual, memberikan wawasan mendalam potensi risiko dan strategi pengendalian yang paling efektif (Martinez *et al.*, 2023).



Gambar 2. 1 Diagram Teknis Sistem *Water Ingress Prevention*

Sumber: (Bagas, 2021)

2.4 Programmable Logic Controller (PLC)

Programmable Logic Controller (PLC) merupakan perangkat kontrol elektronik yang dirancang khusus untuk aplikasi industri dan otomasi. PLC berfungsi sebagai otak pengendali yang dapat diprogram untuk mengontrol berbagai peralatan seperti motor, pompa, lampu, katup, dan lain-lain (Faisal Irsan Pasaribu, 2024). Sistem ini menggunakan memori yang dapat diprogram untuk menyimpan instruksi dan menjalankan fungsi-fungsi spesifik seperti logika, *sequencing*, *timing*, *counting*, dan aritmatika guna mengendalikan berbagai jenis mesin atau proses melalui *input/output* digital maupun analog. Dalam perkembangannya, PLC telah menjadi tulang punggung otomasi industri modern, menggantikan relay elektromagnetik konvensional dengan sistem yang lebih fleksibel dan handal (Petruzella, 2023). Keunggulan utama PLC terletak pada kemampuannya untuk diprogram ulang dengan mudah, memungkinkan modifikasi proses kontrol tanpa perubahan signifikan pada konfigurasi *hardware*.

Evolusi teknologi PLC telah menghasilkan berbagai inovasi dalam arsitektur sistem dan kapabilitas pemrosesan (Webb & Reis, 2022). Generasi terbaru PLC dilengkapi dengan prosesor berkecepatan tinggi, memori yang lebih besar, dan

kemampuan komunikasi yang lebih canggih, memungkinkan integrasi seamless dengan berbagai sistem industri. Implementasi PLC dalam sistem kontrol modern tidak hanya terbatas pada fungsi *switching* sederhana, tetapi juga mencakup operasi kompleks seperti pengolahan data *real-time*, *control motion*, dan komunikasi jaringan (Hackworth & Hackworth Jr, 2023). Perkembangan ini membuka peluang baru dalam otomasi industri, termasuk implementasi konsep Industry 4.0 dan *Internet of Things* (IoT).

Karakteristik fundamental PLC yang membedakannya dari sistem kontrol lain adalah arsitektur modular dan robust yang dirancang khusus untuk lingkungan industri (Dunning, 2020). Sistem PLC terdiri dari unit pemrosesan pusat (CPU), modul *input/output*, memori program, dan antarmuka komunikasi yang terintegrasi dalam satu platform. Ketahanan terhadap interferensi elektromagnetik, vibrasi, dan kondisi lingkungan ekstrem menjadikan PLC pilihan ideal untuk aplikasi maritim dan industri berat. Struktur *hardware* PLC yang modular memungkinkan ekspansi sistem sesuai kebutuhan, dengan penambahan modul I/O atau modul fungsi khusus tanpa mengganggu operasi sistem yang ada.

2.4.1 Definisi dan Prinsip Kerja PLC

PLC merupakan komputer industri yang dioptimalkan untuk tugas-tugas kontrol dan otomasi, dengan fokus utama pada pemrosesan sinyal masukan dan pengendalian keluaran secara waktu nyata (Bolton, 2021). Berbeda dengan komputer umum, PLC dirancang dengan prioritas pada kecepatan eksekusi program, keandalan sistem, dan kemudahan integrasi dengan perangkat industri. Arsitektur internal PLC terdiri dari komponen-komponen yang dioptimalkan untuk pemrosesan data secara berurutan dan paralel, memungkinkan eksekusi program kontrol dengan latensi minimal.

Prinsip kerja PLC didasarkan pada siklus pemindaian yang berkelanjutan, terdiri dari pembacaan masukan, pemrosesan program, dan pembaruan keluaran (Petruszella, 2023). Dalam setiap siklus, PLC membaca status semua masukan, mengeksekusi program kontrol sesuai dengan logika yang telah diprogram, dan memperbarui status keluaran berdasarkan hasil pemrosesan. Kecepatan siklus pemindaian modern PLC dapat mencapai orde mikrodetik, memungkinkan respons waktu nyata terhadap perubahan kondisi sistem yang dikontrol. Sistem memori

PLC terbagi menjadi beberapa area fungsional, termasuk memori program, memori data, dan memori sistem (Webb & Reis, 2022). Memori program menyimpan instruksi-instruksi kontrol yang telah diprogram, sementara memori data digunakan untuk menyimpan variabel proses dan parameter operasional. Memori sistem berfungsi untuk manajemen internal PLC, termasuk konfigurasi sistem dan diagnostik. Organisasi memori yang terstruktur ini memungkinkan eksekusi program yang efisien dan andal.

Interaksi antara PLC dengan perangkat eksternal dilakukan melalui modul masukan/keluaran yang dapat dikonfigurasi sesuai kebutuhan aplikasi (Hackworth & Hackworth Jr, 2023). Modul masukan menerjemahkan sinyal dari sensor dan perangkat lapangan menjadi data digital yang dapat diproses oleh CPU PLC. Sebaliknya, modul keluaran mengkonversi hasil pemrosesan program menjadi sinyal kontrol yang sesuai untuk menggerakkan aktuator dan perangkat keluaran lainnya. Fleksibilitas dalam konfigurasi masukan/keluaran ini memungkinkan PLC untuk beradaptasi dengan berbagai kebutuhan aplikasi industri. Keandalan operasional PLC dijamin melalui berbagai fitur diagnostik dan perlindungan yang terintegrasi (Dunning, 2020). Sistem pengawas waktu memantau eksekusi program dan dapat melakukan reset otomatis jika terjadi anomali. Cadangan baterai memastikan penyimpanan data program dan parameter ketika terjadi kegagalan daya. Sistem diagnostik internal memungkinkan deteksi dini terhadap potensi masalah, memfasilitasi pemeliharaan preventif dan meminimalkan waktu henti.

2.4.2 Arsitektur Sistem PLC

Arsitektur sistem PLC modern mengadopsi pendekatan modular yang memungkinkan fleksibilitas dalam konfigurasi dan perluasan sistem (Bolton, 2021). Komponen utama meliputi unit catu daya, modul CPU, modul komunikasi, dan berbagai modul I/O yang dapat dikombinasikan sesuai kebutuhan aplikasi. Modularitas ini memungkinkan optimasi sistem dari segi kinerja dan biaya, dengan kemampuan untuk menambah atau mengurangi modul sesuai kebutuhan spesifik.

Unit Pemrosesan Pusat (CPU) PLC berfungsi sebagai otak sistem, menjalankan program kontrol dan mengkoordinasikan operasi seluruh modul (Petruszella, 2023). Arsitektur CPU modern mengintegrasikan mikroprosesor berkecepatan tinggi, memori terpadu, dan pengendali periferal dalam satu chip. Kemampuan multi-tugas

memungkinkan eksekusi paralel untuk berbagai fungsi kontrol, pemantauan, dan komunikasi. Fitur CPU canggih seperti unit aritmatika titik mengambang dan enkripsi perangkat keras meningkatkan kemampuan pemrosesan dan keamanan sistem. Sistem komunikasi PLC dirancang untuk mendukung berbagai protokol industri standar, memfasilitasi integrasi dengan perangkat dan sistem lain dalam jaringan otomasi (Webb & Reis, 2022). Port komunikasi dapat mencakup RS-232, RS-485, Ethernet, dan protokol fieldbus seperti Profibus/Modbus. Kemampuan jaringan luas memungkinkan implementasi arsitektur kontrol terdistribusi dan pemantauan jarak jauh melalui jaringan industri.

Unit catu daya PLC dirancang dengan mempertimbangkan kehandalan dan perlindungan terhadap gangguan catu daya (Hackworth & Hackworth Jr, 2023). Sistem regulasi tegangan canggih memastikan stabilitas daya untuk semua komponen sistem. Rangkaian pelindung melindungi PLC dari tegangan berlebih, tegangan kurang, dan hubung singkat. Catu daya redundan opsional dapat diimplementasikan untuk aplikasi kritis yang memerlukan ketersediaan tinggi. Panel belakang atau papan induk PLC menyediakan infrastruktur untuk interkoneksi antar modul dan distribusi daya (Dunning, 2020). Desain panel belakang modern mengadopsi arsitektur bus berkecepatan tinggi yang memungkinkan transfer data berkecepatan tinggi antara CPU dan modul I/O. Kemampuan penggantian modul saat sistem berjalan pada beberapa model memungkinkan penggantian modul tanpa mematikan sistem, meningkatkan kemampuan pemeliharaan dan ketersediaan.

2.4.3 Bahasa Pemrograman PLC

Bahasa pemrograman PLC telah distandarisasi melalui IEC 61131-3, menetapkan lima bahasa pemrograman yang dapat digunakan untuk mengembangkan aplikasi kontrol (Bolton, 2021). Diagram Tangga merupakan bahasa yang paling umum digunakan, merepresentasikan logika kontrol dalam format yang mirip dengan rangkaian relay elektrik. Diagram blok fungsi menyediakan pendekatan grafis untuk pemrograman menggunakan blok fungsi yang dapat diinterkoneksi.

Teks Terstruktur menawarkan bahasa pemrograman tingkat tinggi dengan sintaks mirip Pascal, ideal untuk implementasi algoritma kompleks dan manipulasi

data (Petruzella, 2023). Daftar Instruksi merupakan bahasa tingkat rendah yang menyerupai bahasa rakitan, memberikan kontrol detail atas operasi PLC. Diagram Fungsi Sekuensial memfasilitasi pemrograman proses sekuensial dengan representasi grafis dari langkah proses dan transisi. Lingkungan pemrograman PLC modern menyediakan perangkat pengembangan terintegrasi yang memfasilitasi pengembangan, pencarian kesalahan, dan dokumentasi program (Webb & Reis, 2022). Fitur mode simulasi memungkinkan pengujian program tanpa perangkat keras aktual. Pemantauan daring dan perangkat pencarian kesalahan membantu pemecahan masalah dan optimasi program. Kendali versi dan fitur manajemen proyek mendukung kolaborasi tim dalam pengembangan aplikasi kompleks.

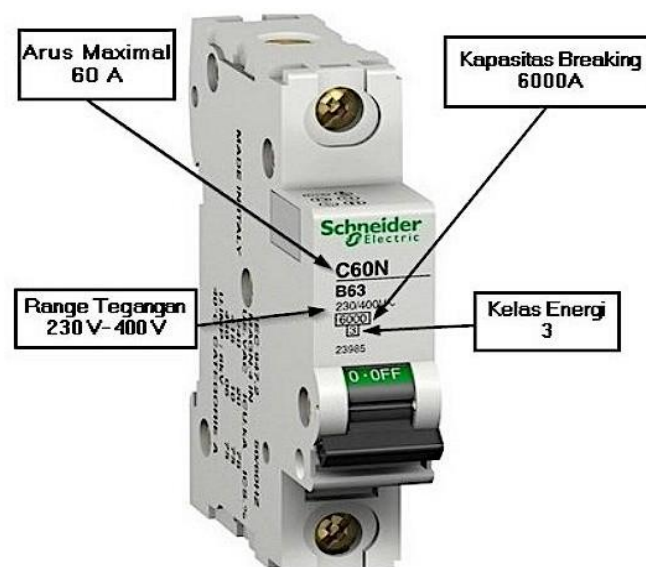
Konsep pemrograman berorientasi objek telah mulai diadopsi dalam pemrograman PLC modern, memungkinkan pengembangan program yang lebih modular dan dapat digunakan kembali (Hackworth & Hackworth Jr, 2023). Blok fungsi yang didefinisikan pengguna dan pustaka memfasilitasi pengembangan komponen program yang dapat digunakan kembali. Praktik pemrograman terstruktur meningkatkan kemampuan pemeliharaan dan keandalan program kontrol. Tren terbaru dalam pemrograman PLC mengarah pada integrasi dengan teknologi TI modern, termasuk komputasi awan dan kecerdasan buatan (Dunning, 2020). Platform pengembangan berbasis web memungkinkan pemrograman dan pemantauan jarak jauh. Pustaka pembelajaran mesin mulai tersedia untuk implementasi algoritma prediktif dan optimasi proses. Standarisasi dalam format pertukaran data memfasilitasi integrasi dengan sistem perusahaan dan *big data*.

2.5 MCB (*Miniature Circuit Breaker*)

MCB merupakan perangkat proteksi listrik yang sangat penting dalam sistem distribusi daya listrik kapal (Pujianto & Hartono, 2023). Komponen ini berfungsi sebagai pengaman otomatis yang memutuskan aliran listrik ketika terjadi kondisi beban lebih (*overload*) atau hubung singkat (*short circuit*), sehingga melindungi peralatan dan sistem dari kerusakan akibat arus berlebih. Prinsip kerja MCB didasarkan pada dua mekanisme utama: pemutusan termal untuk proteksi beban lebih dan pemutusan magnetik untuk proteksi hubung singkat (Wibisono *et al.*, 2023). Mekanisme pemutusan termal menggunakan kepingan bimetal yang akan berubah bentuk ketika terjadi pemanasan akibat arus berlebih. Perubahan bentuk ini akan

memicu mekanisme pemutusan yang memutus aliran listrik secara otomatis. Tingkat kepekaan pemutusan termal dapat diatur sesuai dengan karakteristik beban dan kebutuhan sistem, sehingga memastikan perlindungan yang optimal tanpa pemutusan yang tidak perlu.

Pemutusan magnetik bekerja berdasarkan prinsip elektromagnetik, di mana arus yang mengalir melalui kumparan menghasilkan gaya magnetik (Harahap & Siregar, 2023). Ketika terjadi hubung singkat, arus yang sangat besar menghasilkan gaya magnetik yang cukup untuk mengaktifkan mekanisme pemutusan secara seketika. Respon yang cepat ini sangat penting untuk mencegah kerusakan pada sistem dan bahaya kebakaran yang mungkin timbul. Sistem pengaturan ulang (reset) MCB dirancang dengan mekanisme yang mengutamakan keamanan operasional (Supriadi *et al.*, 2023). Pengaturan ulang secara manual hanya dapat dilakukan setelah gangguan teratasi dan sistem dalam keadaan aman. Indikator posisi kontak memberikan umpan balik visual tentang status MCB, sehingga memudahkan penyelesaian masalah dan pemeliharaan. Karakteristik pemutusan MCB didesain untuk memberikan koordinasi proteksi yang optimal dengan perangkat proteksi lainnya dalam sistem (Suryanto & Budiman, 2023). Kurva waktu-arus menggambarkan respons MCB terhadap berbagai tingkat beban lebih dan hubung singkat, memastikan koordinasi selektif dalam sistem proteksi bertingkat.



Gambar 2. 2 *Miniature Circuit Breaker* (MCB)

Sumber: (Suraidi, 2022)

2.5.1 Jenis-jenis MCB

MCB Tipe B dirancang untuk proteksi beban resistif dan aplikasi umum, dengan karakteristik pemutusan magnetik 3-5 kali arus nominal (Pujianto & Hartono, 2023). Tipe ini cocok untuk sistem penerangan dan stop kontak yang memiliki arus mula relatif rendah. Karakteristik kinerja MCB Tipe B telah distandarisasi secara internasional, memastikan konsistensi proteksi dari berbagai produsen. MCB Tipe C memiliki karakteristik pemutusan magnetik 5-10 kali arus nominal, ideal untuk beban induktif seperti motor kecil dan transformator (Wibisono *et al.*, 2023). Toleransi yang lebih tinggi terhadap arus mula mencegah pemutusan yang tidak diinginkan saat menghidupkan peralatan. Desain internal khusus memastikan operasi yang andal dalam kondisi getaran tinggi yang umum di lingkungan maritim.

MCB Tipe D menyediakan proteksi untuk beban dengan arus mula sangat tinggi, dengan pemutusan magnetik 10-20 kali arus nominal (Harahap & Siregar, 2023). Aplikasi umumnya termasuk transformator besar dan motor dengan arus starting yang tinggi. Konstruksi yang kokoh memastikan ketahanan dalam kondisi operasional ekstrem. MCB dengan kontak bantu terintegrasi memungkinkan pemantauan status dan pengoperasian jarak jauh melalui sistem kontrol (Supriadi *et al.*, 2023). Desain modular memudahkan penambahan aksesoris seperti shunt trip dan *undervoltage release*. Fitur canggih seperti unit pemutusan elektronik memberikan fleksibilitas dalam pengaturan proteksi. Desain terminal modern memfasilitasi instalasi yang aman dan pemeliharaan yang andal (Suryanto & Budiman, 2023). Tingkat perlindungan IP yang tinggi melindungi mekanisme internal dari kontaminasi dan kelembaban. Pelapis khusus melindungi komponen dari korosi dalam lingkungan maritim yang agresif.

2.5.2 Aplikasi MCB Pada Sistem Maritim

Implementasi MCB dalam sistem maritim harus memenuhi standar klasifikasi yang ketat (Pujianto & Hartono, 2023). Persyaratan mencakup ketahanan terhadap getaran, guncangan, dan gangguan elektromagnetik. Pengujian tipe meliputi evaluasi kinerja dalam kondisi ekstrem seperti siklus suhu dan paparan semprotan air garam. MCB dalam sistem pencegahan masuknya air berperan penting dalam proteksi komponen elektrik seperti pompa, katup, dan sistem kontrol (Wibisono *et*

al., 2023). Koordinasi dengan sistem pemantauan memungkinkan deteksi dini potensi masalah kelistrikan. Integrasi dengan sistem alarm memberikan peringatan ketika terjadi pemutusan, memfasilitasi respon cepat terhadap kondisi tidak normal.

MCB kelas maritim dirancang dengan material dan pelapis khusus untuk menahan lingkungan maritim yang keras (Harahap & Siregar, 2023). Penyegelan yang ditingkatkan mencegah masuknya kelembaban yang dapat menyebabkan korosi internal. Pelumas khusus memastikan operasi mekanis yang lancar dalam rentang suhu yang luas. Redundansi dalam sistem proteksi elektrik maritim sering diimplementasikan melalui konfigurasi MCB ganda (Supriadi *et al.*, 2023). Proteksi cadangan memastikan operasi berkelanjutan dari sistem-sistem kritis. Koordinasi selektif antara MCB pada tingkat berbeda memastikan isolasi gangguan yang efektif tanpa mengganggu operasi sistem lain. Pemeliharaan MCB dalam aplikasi maritim mengikuti jadwal dan prosedur yang ketat (Suryanto & Budiman, 2023). Pengujian rutin mengkonfirmasi operasi yang tepat dari mekanisme pemutusan. Dokumentasi rinci riwayat pemeliharaan diperlukan untuk memenuhi regulasi maritim.

2.6 Lampu Indikator

Lampu indikator merupakan komponen umpan balik visual yang sangat penting dalam sistem kontrol maritim (Nugroho *et al.*, 2022). Fungsi utamanya adalah memberikan informasi waktu nyata tentang status operasi, kondisi alarm, dan urutan sistem. Indikasi visual yang jelas memfasilitasi respon cepat operator terhadap perubahan kondisi sistem. Indikasi multi-warna memungkinkan representasi berbagai status sistem dalam format yang mudah diinterpretasi (Santoso & Purnomo, 2023). Pengkodean warna standar (seperti hijau untuk operasi normal, merah untuk kondisi alarm) memastikan konsistensi di berbagai sistem yang berbeda. Tingkat kecerahan dirancang untuk visibilitas optimal dalam berbagai kondisi pencahayaan.

Pertimbangan ergonomis dalam penempatan dan pengelompokan lampu indikator mempengaruhi efektivitas antarmuka operator (Wahyudi *et al.*, 2023). Pengaturan yang logis memfasilitasi pemantauan intuitif sistem kompleks. Tata letak terstandarisasi di berbagai panel berbeda membantu mengurangi kesalahan operator. Lampu indikator modern mengintegrasikan fitur canggih seperti kemampuan uji mandiri dan fungsi diagnostik (Widodo, 2023). Mekanisme uji

mandiri memverifikasi operasi lampu yang tepat. Teknologi LED memberikan masa pakai yang lebih panjang dan kebutuhan pemeliharaan yang lebih rendah. Keandalan lampu indikator sangat penting dalam aplikasi maritim di mana umpan balik visual dapat menjadi sarana utama pemantauan status sistem (Sulistyo & Basuki, 2022). Susunan LED redundan memastikan operasi berkelanjutan bahkan jika beberapa LED individual mengalami kegagalan. Perlindungan lingkungan memastikan operasi yang andal dalam kondisi ekstrem.



Gambar 2. 3 Lampu Indikator

Sumber: (VCC, 2024)

2.6.1 Jenis-jenis Lampu Indikator

Lampu indikator LED merupakan teknologi dominan dalam aplikasi maritim modern karena efisiensi energi dan durabilitas tinggi (Sulistyo & Basuki, 2022). Dibandingkan dengan teknologi konvensional, LED menawarkan masa pakai hingga 100.000 jam operasi dengan degradasi kecerahan minimal. Paket LED canggih mengintegrasikan manajemen termal dan desain optik untuk kinerja optimal. Lampu pilot berbasis filamen masih digunakan dalam aplikasi spesifik yang memerlukan karakteristik cahaya tertentu (Widodo, 2023). Meskipun memiliki masa pakai lebih pendek, teknologi ini menawarkan penghasilan warna yang lebih baik dan kemampuan menyala seketika. Desain filamen khusus meningkatkan ketahanan terhadap guncangan dan getaran.

Indikator neon memberikan visibilitas superior dalam kondisi cahaya sekitar tinggi (Wahyudi *et al.*, 2023). Karakteristik spektral yang unik memastikan keterbacaan bahkan dalam cahaya matahari langsung. Versi masa pakai panjang dapat mencapai umur operasional melebihi 50.000 jam dengan pemeliharaan

minimal. Tampilan multi-segmen mengkombinasikan beberapa lampu indikator dalam satu unit untuk indikasi status kompleks (Santoso & Purnomo, 2023). Urutan yang dapat diprogram memungkinkan tampilan informasi dinamis. Konstruksi modular memfasilitasi penggantian cepat segmen yang rusak tanpa mengganggu sistem secara keseluruhan. Indikator pintar mengintegrasikan mikroprosesor untuk fungsi canggih seperti kontrol kecerahan otomatis dan pelaporan diagnostik. Konektivitas jaringan memungkinkan pemantauan jarak jauh. Memori terintegrasi menyimpan riwayat operasional perencanaan pemeliharaan (Nugroho *et al.*, 2022).

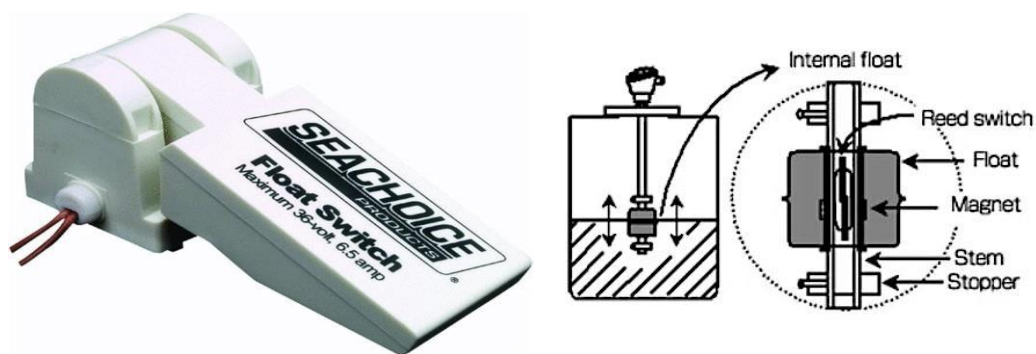
2.6.2 Konfigurasi Lampu Indikator Dengan PLC

Integrasi lampu indikator dengan sistem PLC memerlukan pertimbangan cermat terhadap penyesuaian tegangan dan kebutuhan arus (Sulistyo & Basuki, 2022). Modul antarmuka menyediakan isolasi elektrik dan pengaturan level antara keluaran PLC dan rangkaian indikator. Rangkaian proteksi mencegah kerusakan akibat lonjakan tegangan dan polaritas terbalik. Pertimbangan pemrograman untuk lampu indikator mencakup kontrol waktu dan logika urutan (Widodo, 2023). Mesin status mengatur pola indikasi kompleks berdasarkan berbagai kondisi masukan. Pengatur waktu pengawas memastikan status indikasi yang tepat dalam kejadian anomali sistem. Sistem HMI modern mengkombinasikan indikator fisik dengan tampilan virtual untuk pemantauan sistem yang komprehensif (Wahyudi *et al.*, 2023). Jalur indikasi redundan meningkatkan keandalan sistem.

Kemampuan diagnostik sistem indikator modern memungkinkan pemeliharaan prediktif dan deteksi kesalahan (Santoso & Purnomo, 2023). Rangkaian pemantauan arus mendeteksi indikator yang gagal dan memicu peringatan pemeliharaan. Urutan uji mandiri memverifikasi operasi yang tepat dari semua elemen indikasi. Manajemen konfigurasi untuk sistem indikator mengikuti prosedur kontrol perubahan yang ketat sesuai regulasi maritim (Nugroho *et al.*, 2022). Persyaratan dokumentasi mencakup diagram pengkabelan dan deskripsi logika. Pengujian rutin mengkonfirmasi kepatuhan berkelanjutan dengan standar keselamatan.

2.7 Float Switch

Float switch merupakan komponen vital dalam sistem monitoring level cairan di kapal yang beroperasi menggunakan prinsip dasar pengapungan. Perangkat ini terdiri dari sebuah pelampung yang terhubung langsung dengan mekanisme switching internal untuk mendeteksi perubahan ketinggian air. Sistem pengapungan ini bekerja berdasarkan prinsip Archimedes dimana berat jenis pelampung lebih rendah dari air sehingga dapat mengambang dan bergerak mengikuti level air. Pergerakan vertikal pelampung ini kemudian ditransmisikan ke bagian switching melalui lengan mekanik yang terhubung. Sensor water level adalah sensor yang dapat mengukur batas ketinggian air pada suatu wadah atau tempat penampungan air yang lainnya. *Water level* sensor sendiri merupakan seperangkat alat yang digunakan untuk mengukur ketinggian air. Water level merupakan sensor yang berfungsi untuk mendeteksi ketinggian air dengan output analog kemudian diolah menggunakan mikrokontroler (Evalina et al., 2023). Mekanisme switching akan mengaktifkan atau menonaktifkan rangkaian listrik berdasarkan posisi pelampung. Sinyal elektrik yang dihasilkan kemudian diteruskan ke sistem kontrol atau alarm untuk memberikan peringatan kepada operator. Implementasi *float switch* menjadi bagian integral dari sistem keselamatan kapal modern yang membutuhkan monitoring level air secara kontinyu (Santoso, 2023).



Gambar 2. 4 *Float Switch*

Sumber: (Wiratama Mitra Abadi, 2022)

Sensitivitas *float switch* dapat diatur sesuai dengan spesifikasi teknis dan kebutuhan operasional spesifik setiap kapal. Pengaturan ini mencakup kalibrasi titik aktivasi switch berdasarkan level air kritis yang telah ditentukan untuk setiap kompartemen. Proses kalibrasi mempertimbangkan faktor-faktor seperti

karakteristik kompartemen, pergerakan kapal, dan tingkat urgensi peringatan yang dibutuhkan. Sistem modern memungkinkan penyesuaian *threshold* deteksi melalui mekanisme adjustable yang terintegrasi dalam unit float switch. Tingkat sensitivitas yang tepat menjadi crucial untuk menghindari false alarm akibat guncangan atau gerakan normal kapal. Konfigurasi yang optimal akan memastikan sistem memberikan peringatan pada waktu yang tepat tanpa mengorbankan reliabilitas. Aspek sensitivitas ini menjadi parameter kunci dalam menjamin efektivitas sistem peringatan dini di kapal (Wijaya, 2022).

Sistem redundansi dalam instalasi *float switch* merupakan pendekatan yang diperlukan untuk meningkatkan keandalan deteksi. Pemasangan *multiple float switch* pada level ketinggian yang berbeda menciptakan sistem monitoring bertingkat yang komprehensif. Konfigurasi bertingkat ini memungkinkan deteksi progresif mulai dari level normal hingga kondisi kritis. Setiap level memiliki fungsi spesifik dalam memberikan informasi status ketinggian air kepada sistem kontrol. Implementasi redundansi juga berfungsi sebagai *backup system* jika salah satu unit mengalami kegagalan. Pendekatan ini sejalan dengan prinsip *safety redundancy* yang menjadi standar desain sistem keselamatan maritim modern (Nugroho, 2024).

Integrasi *float switch* dengan sistem monitoring terpusat menghasilkan kapabilitas pemantauan yang lebih canggih. Sistem terintegrasi memungkinkan pengumpulan data real-time dari seluruh float switch yang terpasang di berbagai lokasi kapal. Data ini kemudian dapat dianalisis untuk mengidentifikasi pola atau tren yang mungkin mengindikasikan potensi masalah. Kemampuan logging dan analisis data memberikan tools tambahan untuk *maintenance* prediktif. Visualisasi status seluruh *float switch* dapat diakses dari *control room*, meningkatkan efisiensi monitoring. *Interface digital modern* memudahkan operator dalam memantau dan merespon perubahan level air di seluruh kompartemen (Santoso, 2023).

Teknologi *float switch* terus berkembang dengan adopsi fitur-fitur smart monitoring yang lebih advanced. Implementasi sensor tambahan memungkinkan pengukuran parameter lain seperti temperatur dan konduktivitas air. Integrasi dengan sistem IoT maritim membuka kemungkinan remote monitoring dan analisis berbasis *cloud*. Pengembangan material baru menghasilkan komponen yang lebih tahan terhadap korosi dan *fouling*.

2.7.1 Tipe-tipe *Float Switch*

Vertical float switch menjadi tipe yang paling umum digunakan dalam aplikasi maritim karena desainnya yang sederhana dan efektif. Konstruksi tipe ini terdiri dari pelampung yang bergerak naik-turun di sepanjang batang pengarah vertikal. Mekanisme *reed switch* magnetik terpasang di dalam batang pengarah dan akan teraktivasi ketika pelampung mencapai ketinggian tertentu. Desain vertikal memungkinkan pemasangan yang kompak dan membutuhkan ruang minimal dalam kompartemen. Ketahanan terhadap turbulensi menjadi keunggulan utama tipe ini karena gerakan pelampung yang terbatas pada sumbu vertikal. Sistem *guide rod* juga melindungi mekanisme *switching* dari benturan dan debris yang mengambang. Tipe ini sangat cocok untuk aplikasi di bilga dan tangki ballast kapal (Santoso, 2023).

Horizontal float switch mengadopsi konfigurasi berbeda dengan pelampung yang bergerak secara lateral mengikuti level air. Tipe ini dirancang khusus untuk instalasi di ruang-ruang dengan keterbatasan ketinggian atau *clearance vertikal*. Mekanisme *switching* pada tipe horizontal menggunakan pivot point yang memungkinkan pergerakan angular pelampung. Sensitivitas switch dapat diatur melalui penyesuaian *counterweight* pada lengan pelampung. Desain ini menawarkan fleksibilitas dalam penempatan dan memudahkan akses untuk maintenance. Tipe horizontal juga menunjukkan performa yang baik dalam kondisi air bergelombang karena karakteristik *dampingnya* (Nugroho, 2024).

Multi-point float switch merupakan solusi *advanced* yang memungkinkan monitoring beberapa level ketinggian air secara simultan. Sistem ini mengintegrasikan multiple reed switch dalam satu *housing* yang terhubung dengan pelampung bertingkat. Setiap titik *switch* dikalibrasi untuk level spesifik, menciptakan sistem peringatan progresif. Teknologi ini memungkinkan diferensiasi respons berdasarkan tingkat keparahan situasi. Output dari setiap *switch* dapat diprogram untuk mengaktifkan alarm atau aktuator yang berbeda. Kemampuan *multi-level detection* ini sangat *valuable* untuk kompartemen kritis seperti ruang mesin atau *cargo hold* (Wijaya, 2022).

Smart float switch mengintegrasikan teknologi digital untuk memberikan kapabilitas monitoring yang lebih canggih. Sistem ini dilengkapi dengan mikroprosesor yang dapat memproses data level air secara real-time. Fitur

diagnostik *built-in* memungkinkan pemantauan kesehatan sistem secara kontinyu. Interface digital memudahkan konfigurasi parameter dan *threshold* deteksi. Kemampuan data logging terintegrasi memungkinkan analisis tren jangka panjang. Konektivitas dengan sistem otomasi kapal membuka kemungkinan kontrol otomatis berbasis level air. *Smart float switch* menjadi komponen penting dalam modernisasi sistem monitoring kapal (Santoso, 2023).

Tilt float switch menggunakan prinsip kemiringan untuk mendeteksi perubahan level air. Konstruksi yang sederhana tanpa bagian yang bergerak secara vertikal menjadikannya lebih tahan lama. Mekanisme switching diaktifkan oleh perubahan sudut pelampung ketika level air naik atau turun. Desain ini menunjukkan ketahanan yang baik terhadap turbulensi dan getaran kapal. Instalasi dan maintenance menjadi lebih mudah karena minimnya komponen mekanik. Tipe ini sering digunakan sebagai *backup* atau *complementary sensor* dalam sistem monitoring level air (Wijaya, 2022).

2.7.2 Instalasi dan Pemeliharaan

Prosedur instalasi *float switch* memerlukan perencanaan yang matang untuk memastikan akurasi dan keandalan sistem. Penentuan lokasi pemasangan harus mempertimbangkan karakteristik aliran air dan pola pergerakan kapal. Orientasi unit perlu disesuaikan untuk mencegah interferensi dengan struktur kompartemen atau *equipment* lainnya. Proses mounting harus mengikuti spesifikasi torsi yang ditentukan untuk mencegah kerusakan atau kebocoran. Kabel dan koneksi elektrik harus terlindung dan secured dengan baik untuk mencegah kerusakan akibat air atau getaran. Setelah instalasi, diperlukan komisioning menyeluruh untuk memverifikasi fungsi sistem. Testing mencakup simulasi berbagai kondisi level air untuk memastikan respons yang akurat (Nugroho, 2024).

Kalibrasi merupakan aspek kritis dalam *maintenance float switch* yang harus dilakukan secara berkala. Prosedur ini meliputi verifikasi titik aktivasi switch pada level yang telah ditentukan sebelumnya. Pengujian sensitivitas dilakukan untuk memastikan respons yang konsisten terhadap perubahan level air. Adjustmen *threshold* dapat diperlukan untuk mengkompensasi perubahan karakteristik operasional atau lingkungan. Dokumentasi hasil kalibrasi menjadi bagian dari *record maintenance* yang harus dijaga. Frekuensi kalibrasi ditentukan berdasarkan

rekomendasi manufaktur dan pengalaman operasional. Proses ini harus dilakukan oleh personel yang terlatih dengan menggunakan peralatan kalibrasi yang terkalibrasi (Santoso, 2023).

Inspeksi fisik komponen *float switch* menjadi bagian integral dari routine maintenance. Pemeriksaan meliputi kondisi pelampung, integritas seal, dan status mounting bracket. Korosi pada komponen logam harus diidentifikasi dan ditangani sedini mungkin. Kabel dan terminal koneksi diperiksa untuk memastikan tidak ada kerusakan atau degradasi. Inspeksi juga mencakup pemeriksaan *clearance* pergerakan pelampung untuk memastikan tidak ada hambatan. Kondisi gasket dan O-ring perlu diverifikasi untuk mencegah infiltrasi air. Dokumentasi temuan inspeksi menjadi basis untuk perencanaan *preventive maintenance* (Wijaya, 2022).

Program pembersihan regular diperlukan untuk menjaga performa optimal *float switch*. Akumulasi *marine growth*, sedimen, atau debris dapat mengganggu pergerakan pelampung dan mempengaruhi akurasi. Prosedur pembersihan harus menggunakan metode dan material yang direkomendasikan manufaktur. Perhatian khusus diberikan pada area sekitar *pivot point* dan *guide rod* untuk memastikan pergerakan yang *smooth*. Pembersihan terminal elektrik menggunakan contact cleaner dapat mencegah korosi dan resistansi kontak. Jadwal pembersihan disesuaikan dengan kondisi lingkungan operasional kapal. Hasil pembersihan harus diverifikasi melalui functional test (Nugroho, 2024).

Troubleshooting dan *preventive maintenance* menjadi kunci dalam memastikan keandalan jangka panjang sistem *float switch*. Program pemeliharaan harus mencakup pengujian fungsi secara komprehensif termasuk simulasi berbagai skenario alarm. Analisis trend dari data operasional dapat membantu mengidentifikasi potensi masalah sebelum terjadi kegagalan. Stok spare parts kritis harus tersedia sesuai rekomendasi manufaktur. Pelatihan regular untuk *crew maintenance* diperlukan untuk memastikan kompetensi dalam penanganan sistem. Dokumentasi seluruh aktivitas *maintenance* menjadi referensi penting untuk *continuous improvement*. Implementasi *preventive maintenance* yang efektif akan meminimalkan *downtime* dan meningkatkan reliabilitas sistem (Santoso, 2023).

2.8 Buzzer

Buzzer merupakan komponen elektromekanik yang berfungsi mengubah sinyal listrik menjadi getaran suara sebagai perangkat peringatan dalam sistem keselamatan kapal. Karakteristik utama buzzer mencakup frekuensi operasional, tingkat tekanan suara, dan pola bunyi yang dapat diprogram sesuai kebutuhan. Komponen ini dirancang khusus untuk menghasilkan suara dengan intensitas tinggi yang dapat terdengar jelas dalam kondisi lingkungan yang bising seperti di ruang mesin. Konstruksi *buzzer* maritim menggunakan material tahan air dan korosi untuk menjamin ketahanan dalam lingkungan kapal. Desain housing khusus memastikan proteksi optimal terhadap air dan debu sesuai standar IP maritim. Efisiensi energi menjadi pertimbangan penting dalam pemilihan buzzer untuk aplikasi sistem alarm kapal (Santoso, 2023).

Buzzer maritim modern dilengkapi dengan fitur *self-monitoring* yang memungkinkan deteksi dini potensi kegagalan. Sistem diagnostik terintegrasi secara kontinyu memantau parameter operasional seperti impedansi dan konsumsi daya. Teknologi ini memungkinkan identifikasi cepat jika terjadi degradasi performa atau kerusakan komponen. Fitur proteksi terhadap *reverse polarity* dan *voltage spike* memberikan keandalan tambahan dalam operasi. Desain modular memudahkan proses maintenance dan penggantian komponen. Implementasi teknologi piezoelektrik terbaru meningkatkan efisiensi dan durabilitas sistem (Nugroho, 2024).

Spesifikasi *output* suara *buzzer* didesain untuk memenuhi regulasi maritim internasional dan nasional. Pola suara dapat dikonfigurasi untuk menghasilkan *tune* yang berbeda sesuai dengan jenis alarm yang dibutuhkan. Frekuensi operasional dipilih untuk memastikan audibilitas optimal dalam berbagai kondisi *ambient noise*. Level tekanan suara dapat mencapai 110 dB pada jarak satu meter untuk aplikasi *high-priority alarm*. Direktivitas suara dirancang untuk memberikan *coverage* yang merata dalam area instalasi. Konsumsi daya dioptimalkan untuk operasi kontinyu tanpa *overheat* (Wijaya, 2022).

Ketahanan *buzzer* terhadap kondisi lingkungan ekstrem menjadi faktor krusial dalam aplikasi maritim. Material housing menggunakan paduan khusus yang tahan terhadap korosi air laut dan paparan UV. Sistem sealing dirancang untuk mencegah

infiltrasi air dan debu sesuai standar IP67 atau lebih tinggi. Rentang temperatur operasional mencakup kondisi ekstrem dari -40°C hingga $+70^{\circ}\text{C}$. Ketahanan terhadap getaran dan shock memenuhi standar maritim yang berlaku. *Lifetime rating* komponen mencapai puluhan ribu jam operasi (Santoso, 2023).

Aspek *electromagnetic compatibility* (EMC) menjadi pertimbangan penting dalam desain *buzzer* maritim. *Shielding* elektromagnetik mencegah interferensi dengan peralatan elektronik di sekitarnya. Sertifikasi EMC memastikan kompatibilitas dengan sistem navigasi dan komunikasi kapal. *Circuit protection* terintegrasi melindungi dari surge *voltage* dan *transient*. *Grounding system* dirancang untuk meminimalkan *noise* elektrik. Implementasi filter EMI mencegah radiasi elektromagnetik yang dapat mengganggu peralatan sensitif (Nugroho, 2024).



Gambar 2. 5 *Buzzer Alarm*

Sumber: (Vedela, It 2021)

2.8.1 Sistem Aktivasi

Sistem aktivasi *buzzer* dirancang dengan prinsip *fail-safe* untuk memastikan keandalan dalam kondisi darurat. Mekanisme *trigger* menggunakan rangkaian elektronik yang dapat merespon berbagai jenis input dari sensor atau sistem kontrol. Sistem redundansi dalam *power supply* memastikan *buzzer* tetap berfungsi meskipun terjadi kegagalan pada sumber daya utama. Rangkaian *driver* dirancang dengan proteksi *overcurrent* dan *thermal* untuk mencegah kerusakan komponen. Sistem monitoring terintegrasi memastikan status aktivasi dapat dipantau secara *real-time*. *Circuit protection* mencegah kerusakan akibat kondisi abnormal seperti *short circuit* atau *voltage spike* (Santoso, 2023).

Logic control dalam sistem aktivasi mengimplementasikan algoritma prioritas untuk berbagai jenis alarm *buzzer*. Mikroprosesor terintegrasi memungkinkan *programming* pola bunyi yang berbeda untuk setiap kondisi alarm. Sistem *debouncing* mencegah *false trigger* akibat *noise* atau fluktuasi sinyal input. *Time delay* dapat diprogram untuk mencegah aktivasi yang terlalu sensitif. *Interface digital* memungkinkan konfigurasi parameter aktivasi secara fleksibel. Sistem *logging* mencatat setiap *event* aktivasi untuk keperluan analisis dan pemeliharaan (Wijaya, 2022). Integrasi dengan *power management system* kapal menjadi aspek penting dalam sistem aktivasi. *Automatic switchover* ke *backup power* dilakukan tanpa *interruption* saat terjadi *power failure*. Sistem monitoring baterai memastikan kapasitas yang cukup untuk operasi dalam kondisi darurat. *Power conditioning* mencegah variasi tegangan yang dapat mempengaruhi performa *buzzer*. Efisiensi energi dioptimalkan melalui *smart power management*. *Circuit breaker dedicated* memberikan proteksi tersendiri untuk sistem *buzzer* (Nugroho, 2024).

Manual override system memberikan fleksibilitas dalam kontrol aktivasi *buzzer*. *Emergency stop button* tersedia untuk deaktivasi cepat dalam situasi tertentu. *Interface operator* memungkinkan *testing* dan pemeliharaan tanpa mengganggu sistem alarm utama. Sistem *interlock* mencegah aktivasi yang tidak diinginkan selama pemeliharaan. *Control panel* memberikan indikasi visual status sistem aktivasi. *Accessibility* untuk manual control didesain sesuai ergonomi maritime (Santoso, 2023). *Self-diagnostic* dalam sistem aktivasi memungkinkan deteksi dini potensi masalah. *Continuous monitoring* mencakup tegangan *supply*, impedansi *output*, dan status koneksi. *Fault detection system* mengidentifikasi dan melaporkan abnormalitas dalam operasi. *Diagnostic report* dapat diakses melalui *interface digital* untuk *troubleshooting*. *Predictive maintenance* dimungkinkan melalui analisis trend data operasional. *System health monitoring* memberikan *early warning* untuk kondisi yang memerlukan perhatian (Wijaya, 2022).

2.8.2 Integrasi Dengan Sistem Alarm

Integrasi *buzzer* dengan sistem alarm kapal memerlukan koordinasi yang kompleks untuk menciptakan sistem peringatan yang efektif dan terorganisir. Proses integrasi melibatkan konfigurasi *interface* antara *buzzer* dan *central alarm system* yang mengelola seluruh alarm di kapal. Standardisasi protokol komunikasi

menjadi kunci untuk memastikan kompatibilitas antar komponen sistem. Pengaturan prioritas alarm mengikuti hierarki yang telah ditetapkan dalam regulasi maritim. Sistem monitoring terpusat memungkinkan kontrol dan pemantauan status seluruh *buzzer* dari *bridge* atau *control room*. Implementasi redundansi dalam jaringan komunikasi menjamin keandalan sistem secara keseluruhan (Nugroho, 2024).

Konfigurasi alarm *management system* mengatur pola aktivasi *buzzer* sesuai dengan jenis dan tingkat urgensi alarm. Setiap jenis alarm memiliki karakteristik suara yang *distinct* untuk memudahkan identifikasi cepat oleh crew. Database *alarm* menyimpan informasi detail tentang setiap event termasuk timestamp dan durasi aktivasi. Sistem kategorisasi alarm membantu dalam pengelolaan dan respons yang tepat terhadap setiap kejadian. *Interface operator* dirancang untuk memberikan informasi yang jelas dan mudah dipahami. *Fitur acknowledgment* memastikan setiap alarm mendapat respons yang sesuai (Santoso, 2023).

Sistem redundansi dalam integrasi alarm menjamin kontinuitas operasi dalam berbagai kondisi. *Backup communication channel* memastikan transmisi sinyal alarm tetap berjalan meskipun terjadi kegagalan pada jalur utama. *Distributed control architecture* mengurangi risiko kegagalan sistem secara total. *Emergency power supply dedicated* menjamin operasi sistem dalam kondisi blackout. *Fault tolerance design* memungkinkan sistem tetap beroperasi meskipun terjadi kegagalan pada komponen tertentu. *Regular testing protocol* memverifikasi fungsi seluruh komponen sistem (Wijaya, 2022).

Maintenance sistem terintegrasi memerlukan pendekatan komprehensif untuk menjaga *reliability* jangka panjang. *Program preventive maintenance* mencakup pemeriksaan reguler seluruh komponen sistem alarm. Kalibrasi dan testing dilakukan sesuai jadwal untuk memastikan akurasi respons sistem. *Documentation system* mencatat seluruh aktivitas maintenance dan modifikasi sistem. *Training crew* dilakukan secara berkala untuk memastikan kompetensi dalam pengoperasian dan *troubleshooting*. *Performance monitoring* membantu mengidentifikasi area yang memerlukan *improvement* (Nugroho, 2024).

Evolusi teknologi dalam sistem alarm terintegrasi mengarah pada implementasi *smart monitoring system*. AI dapat membantu dalam analisis *pattern alarm* untuk prediksi potensi masalah. *Cloud connectivity* memungkinkan *remote monitoring*

dan diagnostik sistem. Data analytics memberikan *insight* untuk optimasi sistem alarm. *Mobile interface* memudahkan akses informasi sistem dari berbagai lokasi di kapal. Integrasi dengan *predictive maintenance system* meningkatkan efektivitas program perawatan (Santoso, 2023).

2.9 Sistem Pompa Bilga

Pompa bilga merupakan komponen kritis dalam sistem keselamatan kapal yang memiliki peranan fundamental dalam menjaga integritas struktural dan operasional kapal di lingkungan maritim. Sistem ini dirancang secara khusus untuk menangani akumulasi air di ruang dalam kapal yang dapat terjadi akibat berbagai faktor seperti kebocoran, kondensasi, atau infiltrasi air laut. Kemampuan pompa bilga memindahkan air secara efisien dari kompartemen tertutup menjadi garis pertahanan utama dalam mencegah potensi tenggelamnya kapal (Shifler, 2022).

Mekanisme kerja pompa bilga tidak hanya sekadar membuang air, tetapi juga mencakup fungsi kompleks dalam manajemen keselamatan kapal. Sistem ini terintegrasi dengan sensor deteksi air canggih yang mampu mengenali volume dan lokasi akumulasi air dengan presisi tinggi. Teknologi modern memungkinkan pompa bilga tidak hanya bereaksi terhadap kejadian water ingress, tetapi juga memberikan peringatan dini kepada awak kapal tentang potensi risiko yang mungkin terjadi. Kemampuan diagnostik ini sangat kritis dalam konteks pencegahan kerusakan struktural dan meminimalkan risiko kecelakaan maritim (Malakhov *et al.*, 2024). Kontribusi pompa bilga dalam sistem keselamatan kapal meliputi aspek preventif dan responsif yang terintegrasi secara sistematis. Pada level preventif, pompa bilga berperan dalam menjaga kondisi hidrostatik internal kapal tetap stabil dan terkendali. Sistem ini secara kontinyu memantau dan mengatur keseimbangan cairan di berbagai kompartemen, mencegah terjadinya pergeseran muatan yang dapat mempengaruhi stabilitas kapal. Fungsi ini sangat vital, terutama pada jenis kapal seperti bulk carrier yang memiliki karakteristik dinamika muatan kompleks (Melnyk *et al.*, 2024).

Aspek responsif pompa bilga melibatkan mekanisme cepat dan presisi dalam menanggulangi *water ingress*. Ketika sensor mendeteksi akumulasi air melebihi ambang batas aman, pompa bilga akan secara otomatis mengaktifkan sistem pembuangan. Kecepatan dan volume pemompaan dirancang sesuai dengan

spesifikasi teknis kapal, memastikan pengurangan air berlangsung efisien tanpa mengganggu keseimbangan struktural. Teknologi mutakhir bahkan memungkinkan pompa bilga untuk mengklasifikasi jenis air yang dipompa, membedakan antara air murni, air laut, atau potensi kontaminan lainnya (Liu *et al.*, 2021). Kompleksitas fungsi pompa bilga juga mencakup aspek pemeliharaan dan diagnostik. Sistem modern dilengkapi dengan sensor pintar yang mampu melakukan *self-diagnostic*, mengidentifikasi potensi kerusakan atau penurunan performa komponen. Kemampuan ini memungkinkan awak kapal melakukan perawatan pencegahan (*preventive maintenance*) sebelum terjadinya kegagalan sistem. Integrasi teknologi mikroprosesor memungkinkan pencatatan riwayat kinerja, analisis tren, dan prediksi kebutuhan perawatan (Liu *et al.*, 2021).

Signifikansi pompa bilga dalam keselamatan maritim tidak dapat dipandang sebelah mata, terutama dalam konteks regulasi internasional maritime safety. Badan pengawas seperti *International Maritime Organization* (IMO) menetapkan standar ketat terkait desain, kapasitas, dan reliabilitas sistem pompa bilga. Setiap kapal diwajibkan memiliki minimal dua pompa bilga independen, memastikan redundansi sistem dan meminimalkan risiko kegagalan total dalam skenario terburuk. Kepatuhan terhadap regulasi ini bukan sekadar kebutuhan teknis, melainkan mandat etis untuk menjamin keselamatan awak dan muatan kapal (Melnyk *et al.*, 2024).



Gambar 2. 6 Bilge Pump

Sumber: (Dokumentasi Pribadi)

2.9.1 Tipe-Tipe Pompa Bilga

Pompa bilga memiliki variasi teknologi yang kompleks, dengan klasifikasi utama mencakup pompa sentrifugal, pompa positif, dan pompa submersible yang masing-masing memiliki karakteristik operasional spesifik. Pompa sentrifugal merupakan tipe paling umum digunakan dalam sistem maritime, menggunakan mekanisme putaran impeller untuk memindahkan air dengan efisiensi tinggi. Desain konstruksinya memungkinkan kemampuan pemompaan volume besar dengan konsumsi energi relatif rendah. Teknologi ini sesuai untuk kapal *bulk carrier* yang membutuhkan sistem drainase cepat dan handal (Liu *et al.*, 2021).

Pompa positif atau pompa displacement memberikan pendekatan alternatif dalam sistem bilga, dengan mekanisme kerja yang berbeda dari pompa sentrifugal. Tipe ini menggunakan perpindahan mekanis volume cairan melalui ruang terkontrol, memungkinkan kemampuan pemompaan pada tekanan dan ketinggian yang lebih variatif. Konstruksi pompa positif umumnya lebih kompak dan cocok untuk ruang dengan geometri kompleks atau area dengan akses terbatas di dalam kapal. Kemampuan adaptasi terhadap kondisi lingkungan maritim yang dinamis menjadi keunggulan utama tipe pompa ini (Malakhov *et al.*, 2024). Pompa *submersible* atau pompa terendam merepresentasikan teknologi mutakhir dalam sistem bilga kapal modern. Karakteristik utamanya adalah kemampuan beroperasi langsung di dalam media cairan tanpa memerlukan mekanisme penyedot eksternal. Desain hermetis memungkinkan pompa ini tahan terhadap tekanan dan kondisi korosif lingkungan. Keunggulan teknologis pompa submersible terletak pada efisiensi energi, kemudahan instalasi, dan reliabilitas operasional yang tinggi dalam berbagai kondisi ekstrem (Malakhov *et al.*, 2024).

Diferensiasi teknologi pompa bilga juga mencakup kategorisasi berdasarkan sumber penggerak, meliputi pompa hidrolik, elektrik, dan pneumatik. Pompa hidrolik memanfaatkan tekanan fluida sebagai media transmisi tenaga, memberikan kontrol presisi dan kemampuan adaptasi yang tinggi. Pompa elektrik dengan motor terintegrasi menjadi pilihan dominan dalam aplikasi maritim modern, menawarkan kemudahan pengontrolan dan efisiensi energi. Pompa pneumatik menggunakan sistem tekanan udara, memberikan fleksibilitas operasional pada lingkungan dengan keterbatasan sumber listrik (Melnyk *et al.*, 2024). Kompleksitas pemilihan

tipe pompa bilga dipengaruhi oleh sejumlah faktor teknis dan operasional. Pertimbangan utama meliputi kapasitas volume air, karakteristik ruang instalasi, kondisi lingkungan operasional, dan persyaratan regulasi *maritime safety*. Setiap tipe pompa memiliki kurva kinerja spesifik yang harus disesuaikan dengan arsitektur dan kebutuhan spesifik kapal. Analisis mendalam terhadap parameter teknis menjadi kunci dalam mengoptimalkan sistem bilga untuk menjamin keselamatan dan efisiensi operasional (Shifler, 2022).

Inovasi teknologi pompa bilga terus berkembang dengan integrasi sistem sensor cerdas dan kemampuan monitoring real-time. Perkembangan mutakhir mencakup implementasi algoritma machine learning untuk prediksi kinerja, sistem diagnostik mandiri, dan kemampuan adaptasi otomatis terhadap perubahan kondisi lingkungan. Konsep IoT mulai diimplementasikan, memungkinkan konektivitas dan kontrol jarak jauh sistem pompa bilga, meningkatkan responsivitas dan manajemen risiko dalam operasi maritim kontemporer (Shifler, 2022).

2.9.2 Sistem Kerja Pompa Bilga

Sistem kerja pompa bilga merupakan mekanisme kompleks yang melibatkan serangkaian proses terintegrasi untuk mengendalikan akumulasi air di dalam kapal. Tahap inisiasi dimulai dengan sistem sensor yang secara kontinyu memantau kondisi hidrostatik internal. Teknologi mikrosensor modern mampu mendeteksi volume air hingga level mikroskopis, memberikan kemampuan identifikasi dini terhadap potensi water ingress. Algoritma cerdas yang terintegrasi dalam sistem kontrol akan menganalisis data sensor, membedakan antara kondisi normal dan anomali yang memerlukan intervensi (Melnyk *et al.*, 2024).

Mekanisme aktivasi pompa bilga dirancang dengan protokol keselamatan bertingkat, memastikan respons sistematis terhadap berbagai skenario water ingress. Ketika sensor mendeteksi volume air melebihi ambang batas yang telah ditentukan, sistem akan secara otomatis mengaktifkan pompa dengan kapasitas sesuai kebutuhan. Strategi pengoperasian melibatkan kombinasi pompa utama dan cadangan, menciptakan redundansi sistem yang menjamin kontinuitas proses pemompaan bahkan dalam kondisi kegagalan parsial. Kecepatan respons dan volume pemindahan air dioptimalkan untuk meminimalkan risiko destabilisasi struktur kapal (Liu *et al.*, 2021).

Aspek kontrol elektronik memegang peranan kritis dalam sistem kerja pompa bilga modern. Mikroprosesor canggih memungkinkan pengaturan presisi parameter operasional seperti tekanan, volume, dan laju pemompaan. Sistem ini mampu melakukan *self-diagnostic*, mengidentifikasi potensi kerusakan atau penurunan performa komponen sebelum terjadinya kegagalan total. Integrasi teknologi *machine learning* memungkinkan sistem untuk belajar dari pola historis, mengoptimalkan strategi pemompaan berdasarkan karakteristik spesifik kapal dan kondisi lingkungan yang berbeda-beda (Melnik *et al.*, 2024).

Protokol keselamatan dalam sistem kerja pompa bilga mencakup mekanisme peringatan dan eskalasi yang komprehensif. Setiap tahap water ingress dikategorisasi dengan tingkat risiko tertentu, memicu respons berbeda dari sistem kontrol. Level pertama melibatkan aktivasi pompa otomatis dan notifikasi ringan kepada awak kapal. Level selanjutnya dapat mencakup pengaktifan sistem alarm, pembatasan akses kompartemen tertentu, dan prosedur evakuasi parsial. Desain ini memastikan hierarki respons terstruktur dan terkontrol (Malakhov *et al.*, 2024).

Konektivitas dan integrasi teknologi informasi semakin mendefinisikan arsitektur sistem kerja pompa bilga kontemporer. Konsep IoT memungkinkan monitoring *real-time* tidak hanya pada level lokal, tetapi juga jaringan komunikasi satelit. Awak kapal dapat mengakses data kinerja pompa, status water ingress, dan proyeksi risiko melalui antarmuka digital yang terintegrasi. Kemampuan ini tidak hanya meningkatkan responsivitas, tetapi juga mendukung pengambilan keputusan strategis dalam manajemen keselamatan maritim (Liu *et al.*, 2021).

Faktor lingkungan dan kondisi operasional menjadi pertimbangan kritis dalam merancang sistem kerja pompa bilga. Variabilitas kondisi maritim seperti tekanan hidrostatik, suhu, salinitas, dan geometri ruang kapal memerlukan fleksibilitas sistem yang tinggi. Teknologi mutakhir mengembangkan pompa dengan material khusus tahan korosi, sistem pelumasan mandiri, dan kemampuan adaptasi terhadap berbagai kondisi ekstrem. Pendekatan multidisipliner yang menggabungkan rekayasa mekanis, elektronika, dan ilmu material menjadi kunci pengembangan sistem pompa bilga handal dan efisien (Malakhov *et al.*, 2024).

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu

Adapun waktu dan tempat pada pelaksanaan penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

3.1.1 Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan di kantor PT Waruna Nusa Sentana yang berlokasi di Jl. Gajah Mada No.10, Petisah Tengah, Kecamatan Medan Petisah, Kota Medan, Sumatera Utara 20112. Fokus observasi dan pengumpulan data lapangan dilakukan di Pelabuhan Belawan, salah satu kapal *bulk carrier* bersandar dan beroperasi. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada pertimbangan:

1. Aksesibilitas terhadap objek penelitian
2. Ketersediaan data primer terkait sistem *water ingress prevention*
3. Kemudahan koordinasi dengan pihak manajemen dan crew kapal
4. Efisiensi waktu dan biaya penelitian

3.1.2 Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan selama 3 bulan, yaitu dari bulan Februari hingga April 2025. Pemilihan waktu disesuaikan dengan jadwal operasional kapal *bulk carrier* dan ketersediaan akses ke lokasi penelitian PT Waruna Nusa Sentana.

Tabel 3. 1 Waktu Penelitian

No	Keterangan	Bulan Ke							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	Kajian Literatur								
2	Penyusunan Proposal Penelitian								
3	Penulisan Bab 1 Sampai Bab 3								
5	Analisa Data								
6	Seminar Proposal								
7	Seminar Hasil								
8	Sidang Akhir								

3.2 Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan jenis penelitian deskriptif analitis yang bertujuan untuk memahami dan menganalisis secara mendalam implementasi sistem *water ingress prevention* pada kapal *bulk carrier*. Pendekatan kualitatif dipilih karena memungkinkan peneliti menggali informasi secara komprehensif penerapan sistem, kendala yang dihadapi, serta potensi pengembangan yang dapat dilakukan (Creswell & Poth, 2018).

Melalui penelitian deskriptif analitis, peneliti dapat mengumpulkan data yang detail dan terperinci tentang kondisi aktual sistem *water ingress prevention*, menganalisis efektivitas implementasinya, serta mengidentifikasi berbagai faktor yang mempengaruhi kinerja sistem tersebut (Sugiyono, 2019). Pendekatan ini juga memungkinkan peneliti untuk merumuskan strategi optimalisasi yang tepat berdasarkan temuan-temuan di lapangan, dengan mempertimbangkan aspek teknis, operasional, dan keselamatan pelayaran (Yin, 2018). Dengan menggunakan pendekatan ini, diharapkan penelitian dapat menghasilkan pemahaman yang mendalam dan komprehensif tentang sistem *water ingress prevention*, yang nantinya dapat digunakan sebagai dasar untuk meningkatkan keamanan dan efektivitas operasional kapal (Miles *et al.*, 2020).

3.3 Tahapan Penelitian

Adapun tahapan penelitian yang dilakukan pada pelaksanaan penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

3.3.1 Sumber Data

Sumber data dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder yang dikumpulkan secara sistematis untuk menjawab rumusan masalah penelitian. Data primer diperoleh melalui observasi langsung terhadap sistem *water ingress prevention* yang terpasang pada kapal *bulk carrier* milik PT. Waruna Nusa Sentana, wawancara mendalam dengan informan kunci yang terlibat langsung dalam pengoperasian dan pemeliharaan sistem, serta dokumentasi kondisi aktual di lapangan untuk memperoleh gambaran nyata tentang implementasi sistem. Pengumpulan data primer ini memungkinkan peneliti untuk mendapatkan informasi terkini dan akurat tentang kondisi sistem *water ingress prevention*.

Sementara itu, data sekunder dikumpulkan melalui penelaahan berbagai dokumen pendukung yang relevan, meliputi dokumen teknis kapal yang berisi spesifikasi dan rancangan sistem, manual operasi yang menjelaskan prosedur penggunaan dan pemeliharaan sistem, laporan-laporan pemeliharaan rutin maupun insidental, regulasi keselamatan pelayaran yang menjadi standar kepatuhan, serta standar operasional prosedur yang diterapkan di perusahaan. Data sekunder ini berfungsi untuk melengkapi dan memverifikasi temuan dari data primer, sehingga analisis yang dilakukan dapat lebih komprehensif dan dapat dipertanggungjawabkan.

3.3.2 Observasi Peneliti

Informan dalam penelitian ini dipilih secara *purposive* dengan mempertimbangkan pengetahuan, pengalaman, dan keterlibatan langsung dalam pengelolaan sistem *water ingress prevention* pada kapal *bulk carrier*. Dari sisi manajemen, informan yang dipilih meliputi:

- a. Manajer Operasional, yang bertanggung jawab atas keseluruhan operasi kapal;
- b. Superintendent Teknik, yang mengawasi aspek teknis dan pemeliharaan sistem;
- c. Safety Officer, yang memastikan kepatuhan terhadap standar keselamatan pelayaran.

Sementara dari sisi operasional kapal, informan mencakup:

1. Kapten Kapal, sebagai penanggung jawab utama keselamatan kapal;
2. Kepala Kamar Mesin, yang mengawasi operasional sistem secara langsung;
3. Teknisi Sistem, yang melakukan pemeriksaan dan pemeliharaan rutin.

Pemilihan informan dari berbagai level dan fungsi ini dimaksudkan untuk mendapatkan perspektif yang menyeluruh tentang implementasi, kendala, dan potensi pengembangan sistem *water ingress prevention*.

3.4 Bahan dan Alat

Dalam pelaksanaan penelitian ini digunakan beberapa bahan dan alat penelitian yang menunjang proses pengumpulan serta analisis data. Bahan penelitian terdiri dari dua komponen utama yaitu dokumen teknis serta regulasi dan standar. Dokumen teknis mencakup gambar teknik sistem *water ingress prevention*, manual

book peralatan, logbook pemeliharaan, dan laporan insiden. Sedangkan untuk regulasi dan standar meliputi peraturan keselamatan pelayaran, standar klasifikasi kapal, serta prosedur operasional standar yang berlaku.

Alat penelitian yang digunakan terbagi menjadi dua kategori yaitu peralatan pengumpulan data dan peralatan analisis. Untuk pengumpulan data, peneliti menggunakan kamera dokumentasi untuk merekam kondisi visual, perekam suara untuk wawancara, *checklist* observasi, dan pedoman wawancara terstruktur. Sementara itu, peralatan analisis terdiri dari laptop yang dilengkapi *software* analisis data, alat tulis untuk pencatatan manual, serta format pengolahan data yang telah disiapkan.

3.5 Teknik Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini, teknik pengumpulan data dirancang secara sistematis untuk menjawab tiga rumusan masalah utama yang telah ditetapkan. Pengumpulan data dilakukan melalui kombinasi metode observasi lapangan, wawancara mendalam, dan dokumentasi teknis yang komprehensif. Ketiga metode ini dipilih untuk memastikan perolehan data yang akurat dan menyeluruh terkait implementasi, kendala, dan strategi optimalisasi sistem *water ingress prevention* pada kapal *bulk carrier*.

a. Pedoman Observasi Lapangan

Metode observasi lapangan dilaksanakan dengan melakukan pengamatan langsung terhadap aspek fisik dan prosedural dari sistem *water ingress prevention*. Pada aspek fisik, observasi difokuskan pada lokasi dan kondisi peralatan pencegahan, kelengkapan dan fungsi komponen sistem, kondisi sensor dan alarm system, serta sistem drainase dan pompa. Peneliti juga akan mengamati secara detail tanda-tanda kebocoran atau gangguan yang mungkin terjadi pada sistem. Sementara untuk aspek prosedural, observasi mencakup aktivitas pemantauan dan pemeriksaan rutin, proses penanganan insiden *water ingress*, pelaksanaan prosedur pemeliharaan, serta pelatihan dan kesiapan awak kapal dalam menangani kondisi darurat.

b. Pedoman Wawancara

Wawancara mendalam dilakukan dengan melibatkan informan kunci yang memiliki pengetahuan dan pengalaman langsung terkait sistem *water*

ingress prevention. Informan dipilih dari berbagai level organisasi, mulai dari pihak manajemen hingga crew kapal yang terlibat dalam operasional harian. Dalam konteks implementasi sistem, wawancara akan menggali informasi mengenai prosedur operasional sistem pencegahan, komponen dan fitur sistem yang diterapkan, efektivitas sistem saat ini, proses pemantauan dan perawatan, serta aspek pelatihan dan kompetensi awak kapal. Untuk mengidentifikasi kendala dan kelemahan sistem, wawancara akan membahas insiden *water ingress* yang pernah terjadi, dampak dan tantangan yang dihadapi, penyebab utama terjadinya *water ingress*, kelemahan sistem yang teridentifikasi, serta faktor-faktor yang menghambat operasional optimal. Selain itu, wawancara juga akan mengeksplorasi strategi optimalisasi melalui diskusi tentang kebutuhan perbaikan atau pengembangan, alokasi sumber daya pemeliharaan, potensi peningkatan sistem, serta rekomendasi perbaikan dari perspektif crew.

c. *Checklist Dokumentasi*

Dokumentasi sebagai metode ketiga dilakukan dengan mengumpulkan dan menganalisis berbagai dokumen teknis yang relevan. Pada aspek rancangan sistem, dokumentasi mencakup gambar teknis dan spesifikasi sistem, diagram alir dan alur kerja, manual book peralatan, serta standar operasional prosedur yang berlaku. Untuk logbook operasional, peneliti akan mengumpulkan catatan insiden dan penanganannya, laporan pemeriksaan rutin, dokumentasi perawatan, serta record pelatihan crew. Sedangkan untuk laporan teknis, dokumentasi meliputi analisis kegagalan sistem, laporan perbaikan yang telah dilakukan, rekomendasi pengembangan dari berbagai pihak, serta evaluasi kinerja sistem secara keseluruhan.

3.6 Prosedur Penelitian

Adapun prosedur penelitian dari rangkaian yang dibuat oleh penulis ini adalah sebagai berikut :

- a. Kebutuhan untuk alarm *water ingress* pada sensor *float switch* di dalam palka yaitu 50 cm untuk pre alarm *water ingress* dan 2,5 meter untuk main alarm *water ingress* dari permukaan dasar.

- b. Ketika MCB di *ON* kan secara otomatis maka panel akan menyala ditandai dengan lampu indicator *power on*.
- c. Ketika batas air di dalam palka melewati 50 cm maka sensor *float switch* akan memberi sinyal kepada PLC, artinya adalah pre alarm *water ingress* ditandai dengan *buzzer* serta lampu alarm yang menyala pada panel *water ingress* sebagai peringatan untuk crew kapal agar palka diperhatikan.
- d. Ketika batas air di dalam palka melewati 2,5 meter maka sensor *float switch* akan memberi sinyal kepada PLC, artinya adalah main alarm *water ingress* ditandai dengan *buzzer* serta lampu alarm yang menyala pada panel *water ingress*.
- e. Pada saat main alarm *water ingress* berbunyi, maka secara otomatis pompa bilga hidup untuk proses pembuangan air di dalam palka, karena sudah mencapai batas maksimal air di dalam palka.
- f. Pompa bilga akan secara otomatis mati ketika air di dalam palka sudah mencapai batas pre alarm
- g. Sistem pada *water ingress* terjadi berulang ulang guna mencegah tenggelamnya pada kapal *bulk carrier*.

3.7 Analisis Perbandingan Alat Control

Alat kontrol konvensional, seperti relay, timer mekanik, dan kontaktor, telah lama digunakan dalam sistem kontrol industri untuk mengatur proses secara manual atau semi-otomatis. Namun, sistem ini memiliki keterbatasan dalam hal fleksibilitas, kecepatan respon, dan efisiensi pemrograman. Perubahan logika kontrol pada sistem konvensional memerlukan perubahan fisik pada rangkaian kabel, yang memakan waktu dan biaya. Sebaliknya, sistem otomatis berbasis *Programmable Logic Controller* (PLC) menawarkan solusi yang lebih fleksibel, efisien, dan dapat diandalkan. PLC memungkinkan pengguna untuk mengubah logika kontrol hanya dengan memodifikasi program pada perangkat lunak, tanpa perlu melakukan perubahan fisik pada instalasi. Selain itu, PLC mampu menangani proses yang lebih kompleks dengan kecepatan dan akurasi tinggi, serta mendukung integrasi dengan berbagai sensor dan aktuator modern. Dari segi perawatan, PLC juga lebih unggul karena diagnosis kesalahan dapat dilakukan secara otomatis melalui fitur monitoring dan antarmuka pengguna. Sementara pada sistem

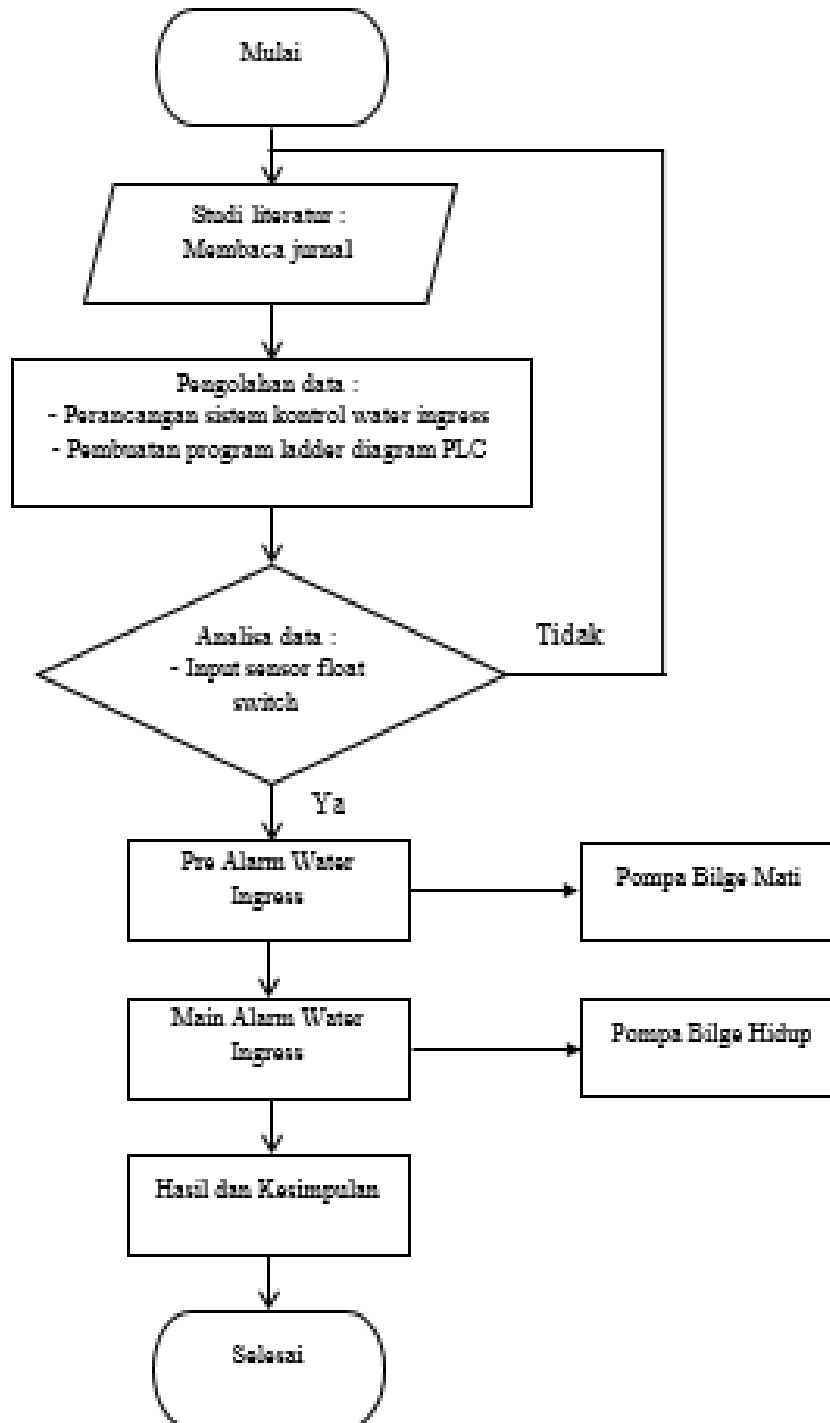
konvensional, pencarian kesalahan seringkali memerlukan pemeriksaan manual yang memakan waktu. Dengan demikian, meskipun alat kontrol konvensional masih dapat digunakan untuk aplikasi sederhana, sistem otomatis PLC jauh lebih unggul dalam hal fleksibilitas, efisiensi, skalabilitas, dan kemudahan integrasi dalam lingkungan industri modern. Berikut adalah perbandingan jika menggunakan sistem konvensional dan juga PLC dalam sistem *water ingress* :

Tabel 3. 2 Perbandingan Konvensional dan PLC Pada Sistem *Water Ingress*

Aspek	Konvensional	PLC
Fleksibilitas	Rendah – perubahan logika butuh pengkabelan ulang	Tinggi – logika dapat diubah melalui pemrograman
Instalasi dan Wiring	Rumit dan memakan banyak kabel	Lebih sederhana, cukup satu koneksi ke input/output
Pemrograman	Tidak dapat diprogram (kecuali menggunakan timer mekanik)	Dapat diprogram sesuai kebutuhan sistem
Kompleksitas Sistem	Terbatas, cocok untuk proses sederhana	Mendukung kontrol proses kompleks dan integrasi sistem
Perawatan dan Troubleshooting	Sulit, perlu cek manual satu per satu komponen	Mudah, terdapat fitur diagnosa dan monitoring otomatis
Skalabilitas	Sulit untuk dikembangkan atau diubah	Mudah ditingkatkan sesuai kebutuhan
Efisiensi Ruang	Membutuhkan panel besar jika logika rumit	Hemat ruang, satu unit PLC dapat menggantikan banyak relay
Keandalan (Reliability)	Rentan terhadap keausan fisik (relay, timer)	Sangat andal, umur pakai panjang dan tahan lingkungan industri
Waktu Respon	Relatif lambat karena mekanis	Cepat dan presisi karena sistem digital
Biaya Awal	Lebih murah pada aplikasi sederhana	Lebih mahal di awal, tetapi efisien untuk jangka panjang
Pemeliharaan	Sering membutuhkan penggantian komponen	Minim perawatan, hanya pengecekan berkala

3.8 Flowchart Penelitian

Adapun *flowchart* pada penelitian sistem *water ingress* ini adalah sebagai berikut :



Gambar 3. 1 *Flowchart* Penelitian

BAB IV

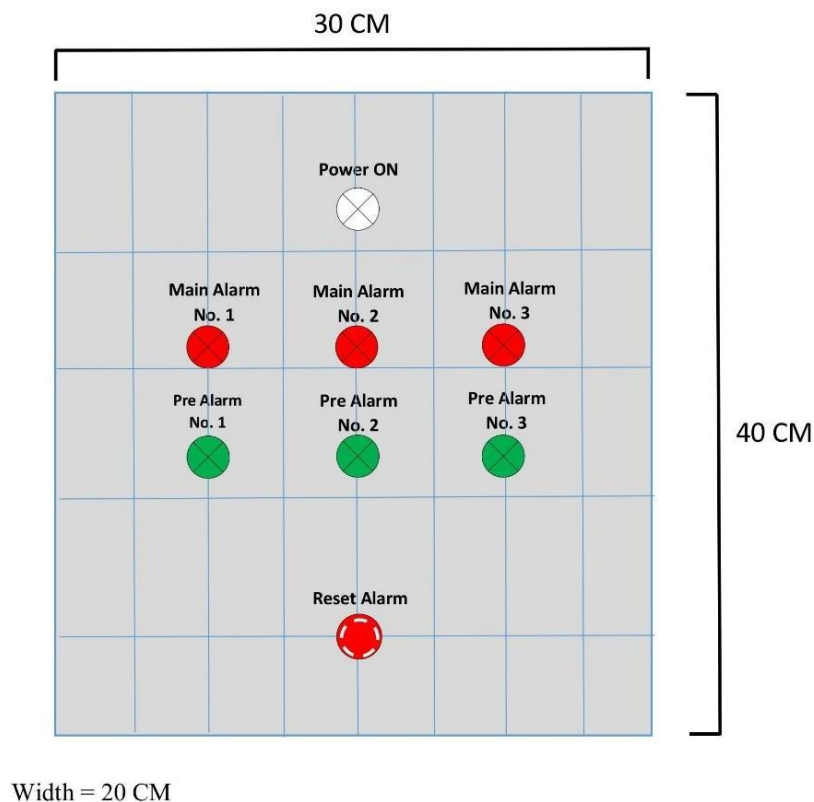
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Perancangan Alat

Adapun analisa perancangan sistem keseluruhan yang akan dibuat oleh penulis pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

4.1.1 Dimensi

Untuk model box panel yang digunakan pada penelitian ini adalah menggunakan box panel ukuran 40 x 30 x 20 cm, yang dimana box panel ini di desain menggunakan *software* Microsoft Visio. Dan berikut adalah tampilannya:



Gambar 4. 1 Dimensi Box Panel *Water Ingress*

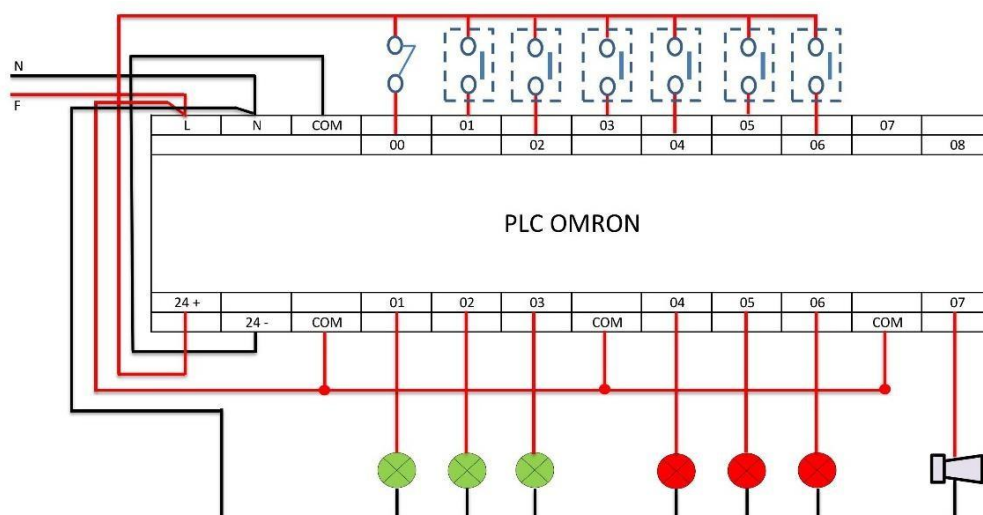
Dari gambar diatas dapat dilihat berupa dimensi box panel yang akan digunakan pada analisa penelitian ini. Untuk ukuran box panel itu sendiri adalah 40 x 30 x 20 cm, kemudian terdapat 7 buah lampu indikator yang memiliki arti masing-masing. Untuk lampu indikator berwarna hijau adalah “*Pre Alarm 1, 2, & 3*”, maksudnya adalah batas air di dalam palka 1, 2, & 3 melewati 50 cm maka sensor *float switch*

akan memberi sinyal kepada PLC maka lampu indikator “*Pre Alarm 1, 2, & 3*” akan menyala. Kemudian lampu indikator berwarna merah adalah “*Main Alarm 1, 2, & 3*”, maksudnya adalah batas air di dalam palka 1, 2, & 3 melewati 250 cm maka sensor *float switch* akan memberi sinyal kepada PLC maka lampu indikator “*Main Alarm 1, 2, & 3*” akan menyala

Kemudian untuk lampu indikator berwarna putih adalah “*Power*”, maksudnya adalah jika tegangan sumber sudah masuk kedalam *control* panel maka lampu indikator “*Power*” akan menyala. Dan yang terakhir adalah tombol *reset* untuk mereset jika ada *alarm* yang menyala.

4.1.2 Wiring Diagram Control PLC

Berikut adalah wiring diagram *control* PLC keseluruhan pada sisteem WATpenelitian ini, yang dimana wiring diagram ini di desain menggunakan software Microsoft Visio. Berikut adalah tampilannya :



Gambar 4. 2 Wiring Diagram Control PLC

A. Komponen dan Fungsi

- Sumber Listrik AC (F dan N):
F adalah fasa (*line*), dan N adalah *netral*. Menyediakan tegangan AC (kemungkinan 220V) untuk catu daya PLC dan beban.
- Power Supply PLC:
Terminal L dan N pada bagian kiri atas PLC adalah *input* daya AC untuk menghidupkan PLC. Terminal 24+ dan 24- adalah *power*

output DC (biasanya 24VDC) dari PLC untuk digunakan ke input digital.

- Saklar (*Switch*) Input:
Terdiri dari 6 buah saklar yang terhubung ke terminal input digital PLC (00 hingga 05). Ketika ditekan, saklar akan mengalirkan sinyal 24VDC ke input PLC, memberikan perintah logika (misalnya start/stop/alarm, dll.).
- PLC Omron (Modul Digital I/O):
Baris atas: Input digital (00–07). Baris bawah: *Output* digital (01–07), terhubung ke indikator/lampu dan *buzzer*.
- Lampu Indikator:
Terdapat 3 lampu hijau (posisi kiri) dan 3 lampu merah (posisi tengah) yang menunjukkan status proses atau alarm.
- *Buzzer* :
Digunakan sebagai peringatan suara jika kondisi tertentu terpenuhi.

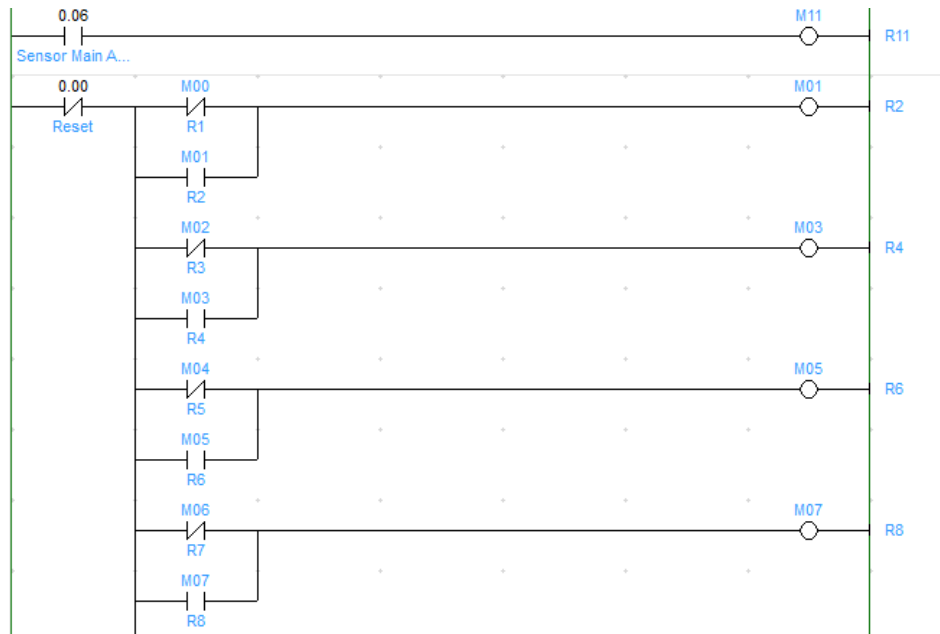
B. Prinsip Kerja

PLC OMRON bertugas sebagai otak sistem, menerima input dari sensor dan mengontrol *output* ke indikator atau alarm. Input device (tombol *push button* reset) terhubung ke terminal *input* PLC (00), yang nantinya akan mereset jika terjadinya *alarm* pada panel. *Input devices* (sensor *float switches*) terhubung ke terminal *input* PLC (01–06), yang nantinya mendeteksi adanya kebocoran air (*water ingress*) di dalam palka. *Output devices* lampu indikator hijau terhubung ke *output* 01, 02, 03; menandakan batas air di dalam palka 1, 2, & 3 melewati 50 cm. Lampu indikator merah terhubung ke *output* 04, 05, 06; menandakan batas air di dalam palka 1, 2, & 3 melewati 50 cm deteksi kebocoran (alarm aktif). *Buzzer* terhubung ke *output* 07; berfungsi memberikan alarm suara saat ada alarm pada *water ingress*. *Power supply* sistem menggunakan suplai 24V DC, terlihat dari sambungan ke terminal 24+ dan 24-.

4.2 Analisa Program *Ladder Diagram* PLC Pada Rangkaian Control

Analisa program PLC pada rangkaian kontrol bertujuan untuk memahami logika kerja sistem otomatisasi, mengidentifikasi urutan operasi, serta memastikan

bahwa seluruh instruksi yang diprogram berjalan sesuai dengan fungsi kendali yang diinginkan pada komponen-komponen seperti kontaktor, relay, dan sensor. Adapun analisa program PLC pada rangkaian kontrol yang akan dibuat oleh penulis pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

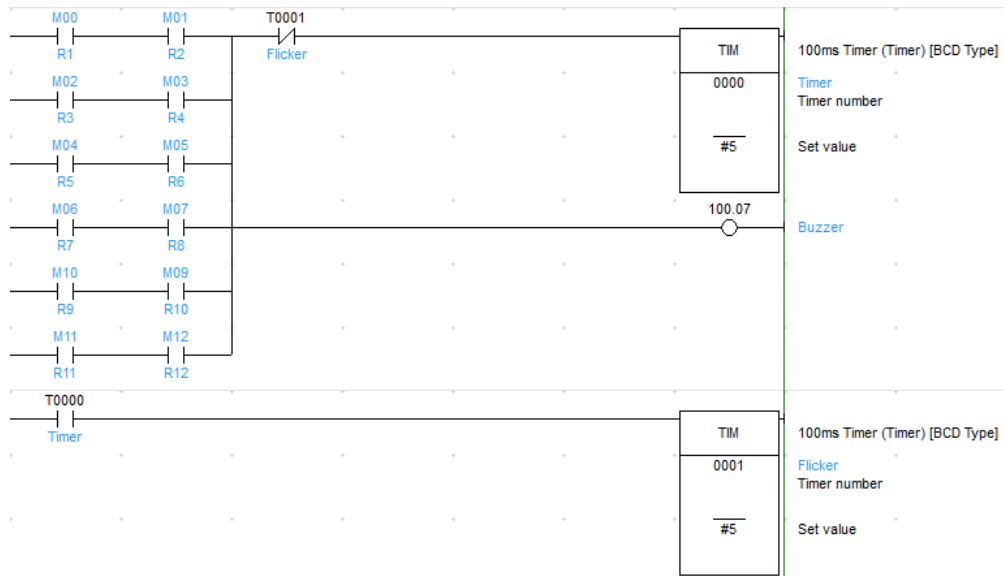


Gambar 4. 3 Program *Ladder Diagram* PLC (1)

Penjelasan pada gambar 4.3 merupakan terdapat tiga jalur utama yang mengatur tiga level alarm (*Main Alarm 1, 2, dan 3*), masing-masing diaktifkan berdasarkan sensor dan kondisi logika. Jalur pertama (*Main Alarm 1*) diaktifkan ketika sensor *pre-alarm* (*'Sensor Pre Alarm'*) dan sensor utama (*'Sensor Main Alarm'*) aktif secara bersamaan, didukung oleh *timer* (T0000) dan kondisi bit internal (M06, M07) untuk memastikan delay sebelum alarm menyala. Jalur kedua dan ketiga (*Main Alarm 2 dan Main Alarm 3*) memiliki logika serupa dengan perbedaan pada bit memori (M09, M10, M11, M12) dan timer yang digunakan, menunjukkan bahwa sistem ini memiliki tahapan eskalasi alarm berdasarkan level air atau waktu aktif sensor. *Output coil* (100.04, 100.05, 100.06) menandakan status aktif dari masing-masing alarm utama.

Gambar 4. 4 Program *Ladder Diagram* PLC (2)

Penjelasan pada gambar 4.4 menunjukkan bagian dari rangkaian ladder diagram PLC yang berfungsi sebagai logika reset dan aktivasi bit internal pada sistem alarm. Rung pertama menggunakan tombol "*Reset*" (M00) sebagai kondisi untuk memutus semua output bit internal (R1–R8), yang digunakan sebagai kendali logika di bagian lain sistem. Rung-rung berikutnya menunjukkan aktivasi bertahap dari bit-bit internal (M01–M07), yang masing-masing dikendalikan oleh bit memori sebelumnya dan akan mengaktifkan coil seperti R2, R3, hingga R8. Logika ini menggambarkan sistem berantai di mana satu kondisi memicu kondisi berikutnya, memungkinkan eskalasi sinyal berdasarkan urutan alarm atau status sensor (seperti sensor utama air di atas). Rangkaian ini juga memastikan bahwa seluruh sistem dapat direset secara manual untuk kembali ke keadaan awal.



Gambar 4. 5 Program *Ladder Diagram* PLC (3)

Penjelasan pada gambar 4.5 menampilkan bagian dari *ladder* diagram PLC yang berfungsi untuk mengontrol bunyi buzzer sebagai peringatan alarm pada sistem *water ingress*. Rung pertama menggunakan kombinasi kondisi bit-bit internal (M00 hingga M12) yang merepresentasikan status alarm dari berbagai level sensor. Bila salah satu kombinasi tersebut aktif, maka coil T0001 (*Flicker*) akan menyala, mengaktifkan timer 0000 dengan waktu tunda 0,5 detik (karena #5 pada timer 100ms). Setelah timer selesai, *buzzer* (output 100.07) akan menyala, menandakan adanya kondisi bahaya. Rung kedua menunjukkan timer T0000 sebagai dasar delay yang kemungkinan digunakan di bagian logika alarm sebelumnya. Kombinasi ini menghasilkan efek bunyi buzzer yang berkedip (berulang menyala dan mati) selama kondisi alarm aktif. Berikut perbedaan antara sistem manual dan sistem otomatis (automatic/PLC based) pada *water ingress* system di kapal bulk carrier :

a. Sistem Manual

- Metode Deteksi:

Mengandalkan pemeriksaan visual atau inspeksi langsung ke ruang muat/ruang bawah kapal untuk mengetahui adanya air masuk.

- Alarm/Indikasi:

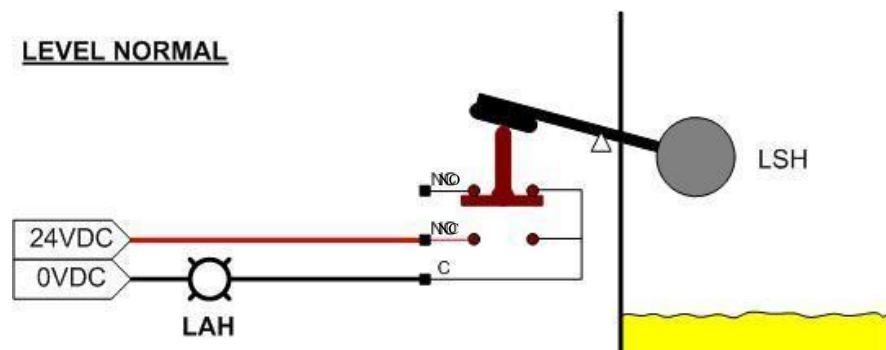
Tidak ada alarm otomatis, hanya berdasarkan pengamatan awak kapal.

- Respon:
Bergantung pada kecepatan dan ketelitian manusia dalam mendeteksi tanda-tanda banjir atau kebocoran.
 - Kelemahan:
Risiko keterlambatan respon karena membutuhkan inspeksi rutin, bisa berbahaya saat kondisi darurat atau cuaca buruk.
 - Biaya:
Relatif murah karena tidak membutuhkan sensor atau sistem kontrol canggih.
- b. Sistem Otomatis (*Automatic/PLC Based*)
- Metode Deteksi:
Menggunakan sensor (*float switch, level sensor, pressure sensor*) yang dipasang di ruang muat dan ruang bawah kapal untuk mendeteksi ketinggian air.
 - Alarm/Indikasi:
Alarm otomatis berbunyi di ruang kontrol/anjungan ketika air mencapai level tertentu (misalnya pre-alarm di 50 cm, main alarm di 250 cm).
 - Respon:
Cepat dan akurat karena sistem langsung memberi sinyal tanpa menunggu inspeksi manual.
 - Kelebihan:
Memberikan peringatan dini dan kritis sehingga awak kapal dapat mengambil tindakan cepat untuk mencegah bahaya lebih lanjut.
 - Biaya:
Lebih mahal, membutuhkan instalasi sensor, panel alarm, dan perawatan sistem elektronik.

Kesimpulan: Sistem manual lebih sederhana dan murah, tetapi memiliki keterbatasan dalam hal kecepatan deteksi dan tingkat keamanan. Sebaliknya, sistem otomatis memberikan deteksi dini yang lebih cepat, akurat, dan meningkatkan keselamatan kapal, meskipun membutuhkan biaya investasi dan perawatan lebih tinggi.

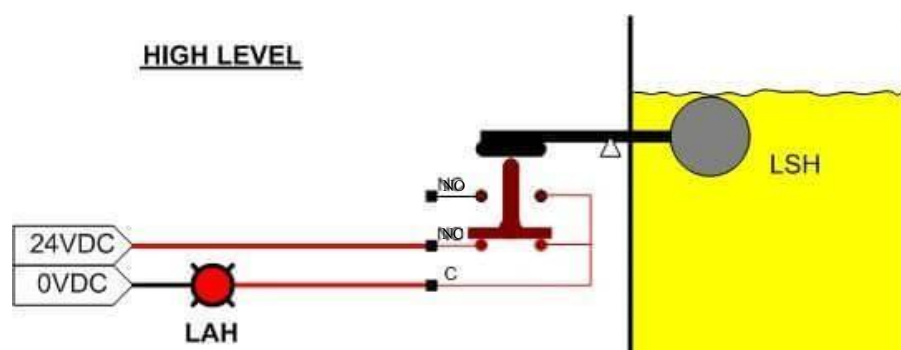
4.3 Analisa Kinerja Sensor *Float Switch*

Pada kapal *bulk carrier* untuk mendeteksi level air yang berada pada palka kapal menggunakan sensor *float switch*. Dimana alat ini memanfaatkan level air untuk mengubah *switch* NO menjadi NC. Sensor *float switch* dalam keadaan normal dapat diasumsikan seperti pada gambar berikut :



Gambar 4. 6 Cara Kerja Sensor Float Switch Sebelum Aktif

Penjelasan pada gambar 4.6 menunjukkan kondisi *level normal* menggunakan sensor *float switch* tipe LSH (*Level Switch High*). Pada posisi ini, pelampung berada di atas permukaan air dengan ketinggian aman sehingga tuas float switch tidak mengaktifkan rangkaian. Kontak NO (Normally Open) tetap terbuka dan kontak NC (Normally Closed) tetap tertutup, sehingga arus 24VDC dari sumber daya tidak mengalir ke beban LAH (*Level Alarm High*).



Gambar 4. 7 Cara Kerja Sensor *Float Switch* Sesudah Aktif

Penjelasan pada gambar 4.7 menunjukkan kondisi *high level* menggunakan sensor *float switch* tipe LSH (*Level Switch High*). Pada posisi ini, permukaan air telah naik hingga menyentuh pelampung, menyebabkan tuas *float switch* bergerak

dan mengubah posisi kontak. Kontak NO (*Normally Open*) menjadi tertutup, sehingga arus 24VDC mengalir ke beban LAH (*Level Alarm High*).

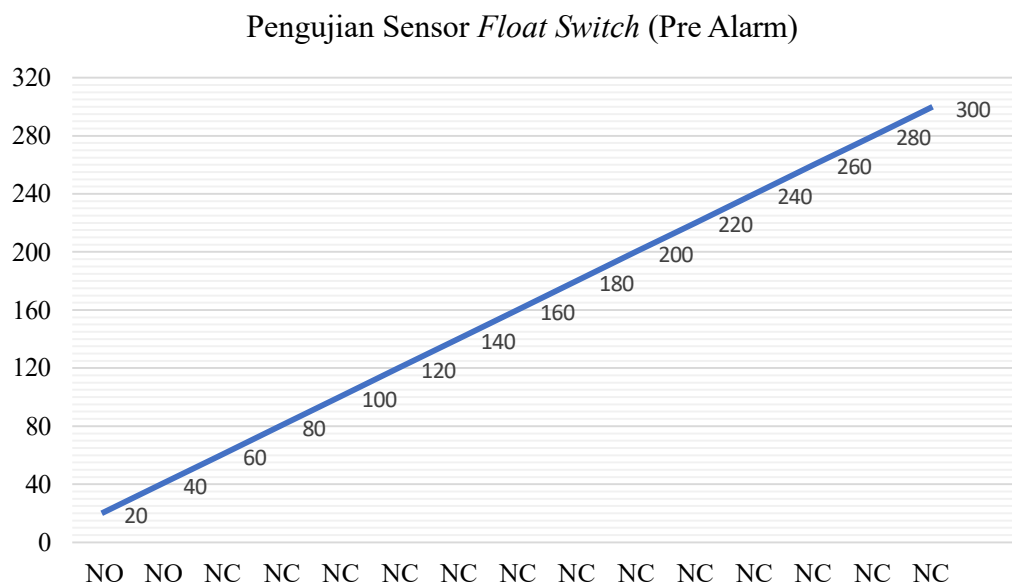
4.4 Analisa Pengujian Sensor *Float Switch*

Analisa Pengujian pada sensor *float switch* ini dilakukan dengan cara memasukan air kedalam palka dari batas *pre alarm* hingga mencapai batas *main alarm*, sebagai tempat sensor tersebut untuk melihat respon sensor *float switch* hingga terjadinya alarm pada panel *water ingress*. Data ini diambil ketika air sudah mencapai batas *pre alarm* hingga mencapai batas *main alarm*, sampai sensor *float switch* tersebut aktif dan mengirim signal ke PLC sebagai alarm penanda jika terjadinya banjir air dalam palka. Berikut adalah hasil dari pada hasil pengujian sensor *float switch* yang akan di gunakan :

Tabel 4. 1 Pengujian Sensor *Float Switch* Pada Pre & Main Alarm

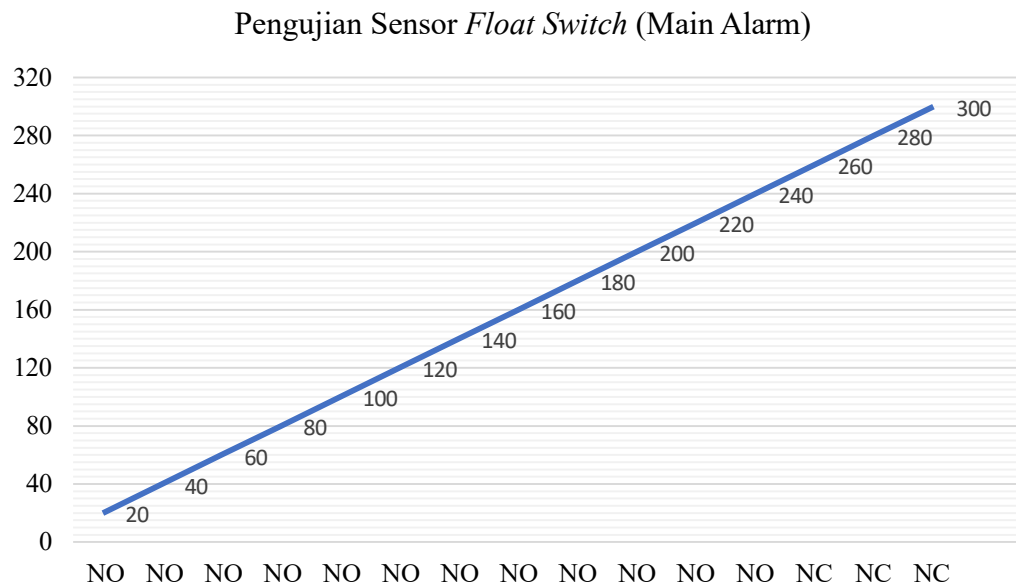
No	Waktu	Float Switch (Pre Alarm)	Float Switch (Main Alarm)	Level Air (cm)
1	00:10:00	NO	NO	20
2	00:20:00	NO	NO	40
3	00:30:00	NC	NO	60
4	00:40:00	NC	NO	80
5	00:50:00	NC	NO	100
6	01:00:00	NC	NO	120
7	01:10:00	NC	NO	140
8	01:20:00	NC	NO	160
9	01:30:00	NC	NO	180
10	01:40:00	NC	NO	200
11	01:50:00	NC	NO	220
12	02:00:00	NC	NO	240
13	02:10:00	NC	NC	260
14	02:20:00	NC	NC	280
15	02:30:00	NC	NC	300

Dari tabel 4.1 dapat dilihat keadaan *float switch* pre alarm dan main alarm berdasarkan kondisi level air yang berada didalam palka. Dapat dilihat pada tabel yang berwarna merah merupakan kondisi *float switch* dengan kondisi NC, artinya sensor mendeteksi ketidak normalan pada level air sesuai dengan *set point* yang telah ditentukan. Pada *float switch* pre alarm kondisi NC berada pada level air dengan batas 50 cm dan kembali normal ketika mencapai level air dibawah 50 cm. Sedangkan pada *float switch* main alarm kondisi NC berada pada level air dengan batas 250 cm dan kembali normal ketika mencapai level air dibawah 250 cm. Dari tabel 4.1 dapat dilihat grafik *float switch* pre alarm & main alarm terhadap level air didalam palka pada kapal *bulk carrier*.



Gambar 4. 8 Pengujian Sensor *Float Switch* (Pre Alarm)

Pada gambar 4.8 dapat dilihat grafik ketika level air menunjukkan grafik rendah dari 0 – 40 cm maka *float switch* pre alarm menjadi NO, kemudian ketika level air sudah diatas 50 cm maka *float switch* pre alarm menjadi NC dan menghidupkan pre alarm bahwa kondisi air didalam palka sudah mencapai 50 cm.



Gambar 4. 9 Pengujian Sensor *Float Switch* (Main Alarm)

Pada gambar 4.9 dapat dilihat grafik ketika level air menunjukkan grafik rendah dari 0 – 240 cm maka *float switch* pre alarm menjadi NO, kemudian ketika level air sudah diatas 250 cm maka *float switch* pre alarm menjadi NC dan menghidupkan main alarm bahwa kondisi air didalam palka sudah mencapai 250 cm. Dan berikut adalah perbandingan efisiensi menggunakan sensor & tidak menggunakan sensor

A. Dengan Sensor

- Sistem memberikan peringatan dini pada 50 cm saat air mulai membahayakan.
- Sistem memberikan peringatan kritis pada 250 cm, memberi waktu operator untuk menanggulangi kondisi darurat.
- Alarm bertahap memungkinkan pengambilan keputusan lebih cepat dan respon yang terukur.
- Berbasis otomatisasi (PLC), tidak bergantung pada pengamatan manusia secara terus-menerus.

B. Tanpa Sensor

- Tidak ada sistem peringatan dini kebocoran terdeteksi hanya setelah menimbulkan kerusakan signifikan atau genangan visual.
- Respon terhadap kebocoran lambat, hanya setelah level air terlihat melebihi batas kritis.

- Risiko kerusakan muatan, hingga tenggelam meningkat karena tidak ada tindakan mitigasi awal.
- Mengandalkan pemeriksaan manual yang rentan terhadap kelalaian atau keterlambatan.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari semua pembahasan yang telah penulis lakukan mengenai “Analisis Sistem *Water Ingress Prevention* Untuk Mencegah Tenggelamnya Kapal *Bulk Carrier* Berbasis *Programmable Logic Controller* (PLC)”, maka sebagai bagian akhir dari laporan tugas akhir ini penulis memberikan beberapa simpulan yang diambil dari hasil penelitian dan pembahasan masalah sebagai berikut :

- a. Sistem *water ingress* pada kapal *bulk carrier* dirancang menggunakan kombinasi pre alarm dan main alarm yang terhubung ke PLC Omron untuk memberikan peringatan dini maupun peringatan utama saat terjadi kebocoran air. *Pre alarm* berfungsi mendeteksi peningkatan level air pada tahap awal dengan indikator lampu hijau, sedangkan main alarm menyala dengan lampu merah dan diikuti *sirene* sebagai tanda kondisi darurat yang lebih kritis. Dengan desain ini, operator kapal dapat memperoleh peringatan bertahap dan merespons lebih cepat terhadap potensi bahaya kebocoran, sehingga keselamatan kapal dan muatan dapat lebih terjamin.
- b. Rangkaian *ladder diagram* , dapat disimpulkan bahwa sistem *water ingress* pada kapal *bulk carrier* telah dirancang dengan logika pre alarm dan main alarm berbasis PLC yang bekerja secara bertahap untuk memberikan peringatan dini hingga kondisi kritis. Sensor pre alarm akan mendeteksi kenaikan level air awal dan mengaktifkan indikator hijau, sedangkan sensor main alarm mengaktifkan indikator merah. Untuk Komponen input dan output secara otomatis *real time* <5 detik sebelum alarm utama menyala, sehingga meningkatkan keselamatan kapal dari risiko kebocoran air di ruang muat.
- c. Tingkat sensitivitas pada sistem *water ingress* bekerja secara bertahap melalui sensor *float switch* pre alarm dan main alarm sesuai dengan kenaikan level air di ruang muat. Pada level 60 cm hingga 240 cm, sensor pre alarm aktif (NC) untuk memberikan peringatan dini kepada operator agar segera melakukan langkah pencegahan. Namun, ketika level air mencapai 260 cm ke atas, sensor main alarm juga ikut aktif (NC) sehingga

memicu kondisi darurat yang menunjukkan adanya potensi bahaya serius terhadap keselamatan kapal. Dengan demikian, sistem ini mampu memberikan peringatan awal yang cukup panjang sebelum mencapai kondisi kritis, sehingga operator memiliki waktu untuk menanggulangi kebocoran dan meminimalisir risiko kerusakan atau tenggelamnya kapal.

5.2 Saran

Berdasarkan dari uraian pada pembahasan mengenai “Analisis Sistem *Water Ingress Prevention* Untuk Mencegah Tenggelamnya Kapal *Bulk Carrier* Berbasis *Programmable Logic Controller* (PLC)”, maka peneliti akan memberikan saran-saran yang muncul berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan selama berada di lingkungan kerja, dengan saran-saran sebagai berikut :

- a. Penambahan sensor ultrasonik atau sensor tekanan dapat digunakan sebagai pendukung untuk meningkatkan akurasi deteksi level air secara kontinu, bukan hanya berbasis titik batas (threshold) seperti float switch.
- b. Integrasi sistem dengan monitoring berbasis IoT dan tampilan *Human Machine Interface* (HMI) akan sangat membantu operator dalam memantau status palka secara real-time dan dari jarak jauh.
- c. Perlu diadakannya penelitian lanjutan tentang pengembangan sistem *water ingress* dengan model yang lain sebagai tambahan sarana pembelajaran dan sistem pembaharuan pada kapal *bulk carrier*.

DAFTAR PUSTAKA

- Aminuddin, M. A., & Burhanuddin, A. (2023). Potensi Kekayaan dan Keberagaman Maritim di Wilayah Papua Dalam Upaya Mendorong Kesejahteraan Rakyat. *Mandub: Jurnal Politik, Sosial, Hukum Dan Humaniora*, 1(4), 157-176.
- Badan Klasifikasi Indonesia. (2021). *Pedoman Konstruksi Kapal Bulk Carrier: Standar Keselamatan dan Desain Struktural*. Jakarta: Kementerian Perhubungan.
- Bolton, W. (2021). *Programmable Logic Controllers* (7th ed.). Newnes.
- Chen, L., & Liu, H. (2021). Water Ingress Mechanisms in Maritime Vessels: A Comprehensive Analysis. *Ocean Engineering*, 112(3), 245-261.
- Creswell, J. W., & Poth, C. N. (2018). *Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches* (4th ed.). SAGE Publications.
- Dunning, G. (2020). *Introduction to Programmable Logic Controllers* (4th ed.). Cengage Learning.
- Evalina, N., Maulana, D. J., Putri, M., Pasaribu, F. I., & Harahap, P. (2023). Perancangan Sistem Kontrol Ketinggian Air Pada Media Tanam Hidroponik. 6(1), 36–41.
- Faisal Irsan Pasaribu, Elvy Sahnur Nasution, Noorly Evalina, Atli Agusri Pasaribu, C. A. P. S. (2024). Design of automatic drink bottle cap sorter based on PLC CPIE using sensor and DC converter system vibrating.. <https://doi.org/https://doi.org/10.1063/5.0240340>.
- Febiana, R., & Burhanuddin, A. (2024). Implementasi Kebijakan Sekuritisasi Maritim Presiden Jokowi dalam Menghadapi Aktivitas Ilegal di Perairan Indonesia. *Jurnal Studi Diplomasi Dan Keamanan*, 16(1), 44-62.
- Hackworth, J. R., & Hackworth Jr, F. D. (2023). *Programmable Logic Controllers: Programming Methods and Applications* (3rd ed.). Pearson.

- Harahap, M.S., & Siregar, R.A. (2023). *Sistem Proteksi Listrik untuk Aplikasi Maritim*. Medan: USU Press.
- Hiller, M., Imle, S., & Glaser, M. (2023). Sensor design for saltwater ingress detection in high reliable all-electric deep sea actuators. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 83, 105033.
- Hoffman, M., & Chen, L. (2022). Advanced Structural Design in Maritime Engineering: Bulk Carrier Innovations. *International Journal of Naval Architecture*, 45(2), 112-129.
- International Maritime Organization (IMO). (2022). *Bulk Carrier Safety Regulations and Structural Guidelines*. London: IMO Publications.
- Jalalifar, S., Belford, A., Erfani, E., Razmjou, A., Abbassi, R., Mohseni-Dargah, M., & Asadnia, M. (2024). Enhancing water safety: exploring recent technological approaches for drowning detection. *Sensors*, 24(2), 331.
- Kim, J. H., Park, S. W., & Lee, D. K. (2020). Operational Factors Contributing to Water Ingress in Maritime Vessels. *Maritime Safety Journal*, 45(2), 78-95.
- Kuo, J. T., & Zhang, W. (2021). Risk Assessment and Management in Maritime Operations: Bulk Carrier Perspectives. *Ocean Engineering*, 78(3), 245-261.
- Lee, S. K., Park, H. S., & Kim, N. H. (2020). Material Innovations in Ship Construction: High-Strength Steel Applications. *Materials in Marine Engineering*, 33(1), 78-95.
- Malakhov, O. V., Palagin, O. M., Naydyonov, A. I., Lykhoglyad, K. A., & Bondarenko, A. V. (2024). Bilge and oily water treatment during operation of vessel. *TransNav: International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 18.
- Maritime Safety Research Center. (2021). *Global Maritime Safety Report: Trends and Analysis*. Singapore: Maritime Safety Publications.
- Martinez, R., Garcia, A., & Rodriguez, P. (2023). Structural and Operational Factors in Maritime Water Ingress Incidents. *International Maritime Safety Review*, 56(1), 33-47.

- Melnyk, O., Onishchenko, O., Ternovsky, V., Volaynskyy, S., & Koryakin, K. (2024). Safe and reliable operation of maritime transport based on integrated systematic safety model. In *Systems, Decision and Control in Energy VI: Volume I: Energy Informatics and Transport* (pp. 403-421). Cham: Springer Nature Switzerland.
- Miles, M. B., Huberman, A. M., & Saldana, J. (2020). *Qualitative data analysis: A methods sourcebook* (4th ed.). SAGE Publications.
- Mishra, B. K., Kumar, P., Saraswat, C., Chakraborty, S., & Gautam, A. (2021). Water security in a changing environment: Concept, challenges and solutions. *Water*, 13(4), 490.
- Nakamura, T., & Singh, R. (2023). Digital Transformation in Maritime Technology: Sensor Systems and Predictive Maintenance. *Maritime Technology Review*, 56(4), 301-318.
- Nakamura, T., Singh, R., & Williams, K. (2021). Advanced Monitoring Technologies for Water Ingress Prevention. *Maritime Technology Review*, 39(4), 301-318.
- Nugroho, B. (2024). *Teknik Keselamatan Kapal*. Semarang: UNDIP Maritime Press.
- Nugroho, A., Wicaksono, H., & Pradana, R. (2022). *Sistem Otomasi Industri: Prinsip dan Implementasi*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Petruzella, F. D. (2023). *Programmable Logic Controllers* (6th ed.). McGraw-Hill Education.
- Pujianto, A., & Hartono, B. (2023). *Instalasi Listrik dan Proteksi pada Kapal*. Jakarta: Balai Pustaka.
- Ramadhani, A. A. (2023). Potensi Keunggulan Kompetitif Sumber Daya Kelautan Indonesia. *Jurnal Ekonomi Sakti (Jes)*, 12(3), 291-296.
- Rodriguez, M., & Park, H. (2020). Risk Assessment and Mitigation Strategies for Water Ingress in Ships. *Naval Engineering Journal*, 87(2), 112-129.

- Santoso, D. (2023). *Sistem Monitoring dan Keselamatan Kapal*. Jakarta: Penerbit Maritim Indonesia.
- Santoso, B., & Purnomo, H. (2023). *Pemrograman PLC dan SCADA untuk Industri*. Jakarta: Erlangga.
- Shifler, D. A. (2022). Marine and Offshore Piping Systems. *LaQue's Handbook of Marine Corrosion*, 667-689.
- Smith, J., & Johnson, L. (2022). Environmental Impacts on Maritime Structural Integrity. *Marine Engineering Studies*, 51(3), 156-172.
- Sugiyono. (2019). *Metode penelitian kualitatif* (2nd ed.). Alfabeta.
- Supriadi, H., Rahman, A., & Utomo, B. (2023). *Proteksi dan Keamanan Sistem Listrik Kapal*. Surabaya: PPNS Press.
- Suryanto, D., & Budiman, A. (2023). *Pemeliharaan Sistem Kelistrikan Kapal*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Suryatini, F., Salam, A., & Natasha, S. (2024). Water Level Control in Coupled Tank System with PLC and IoT-Based PID Method. *The Indonesian Journal of Computer Science*, 13(4).
- Sulistyo, E., & Basuki, A. (2022). *Dasar-Dasar Otomasi dan Kontrol Industri*. Malang: UB Press.
- Wahyudi, R., Kusuma, I.R., & Prasetyo, D. (2023). *Sistem Kontrol dan HMI dalam Industri Modern*. Surabaya: ITS Press.
- Webb, J. W., & Reis, R. A. (2022). *Programmable Logic Controllers: Principles and Applications* (8th ed.). Prentice Hall.
- Wibisono, S., Pratama, R., & Kusuma, D. (2023). *Sistem Kelistrikan dan Proteksi Kapal Modern*. Semarang: UNDIP Press.
- Widodo, S. (2023). *Pemrograman PLC untuk Sistem Manufaktur*. Bandung: ITB Press.
- Widodo, T. S. (2020). Computational Approaches in Naval Architecture: Bulk Carrier Design Optimization. *Naval Architecture and Marine Engineering Journal*, 42(3), 156-173.

- Wijaya, S. (2022). *Instrumentasi Kapal Modern*. Surabaya: ITS Press.
- Williams, K., Thompson, R., & Brown, S. (2022). Comprehensive Analysis of Water Ingress in Maritime Accidents. *Safety at Sea International*, 68(5), 212-229.
- World Maritime Economics Institute. (2021). *Global Shipping Economics and Commodity Transportation Trends*. Geneva: Maritime Economic Publications.
- Wu, J., Meng, X., Zhang, P., & Hou, Z. (2023). Seaworthiness Management of Bulk Carriers during the Transportation Process from the Perspective of Bauxite Performance. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(2), 303.
- Wu, J., Xu, W., Zhang, S., Chen, Y., Hu, S., & Weng, J. (2021, October). Risk prevention and mitigation for bulk carrier based on deficiency path analysis. In *2021 6th International Conference on Transportation Information and Safety (ICTIS)* (pp. 733-744). IEEE.
- Xiao, J. (2024). New Initiatives and Trends in China's Bulk Commodities Logistics Development in the Context of Its National Security Strategy. In *Contemporary Logistics in China: Path to Modernization and Regional Collaboration* (pp. 239-260). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Yin, R. K. (2018). *Case study research and applications: Design and methods* (6th ed.). SAGE Publications.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Data Pribadi

Nama : Fadlan Danuarta .S
Tempat/Tanggal Lahir : Medan/11 September 2002
Jenis kelamin : Laki-Laki
Umur : 23 Tahun
Agama : Islam
Status : Belum Menikah
Tinggi Badan / Berat Badan : 178cm/55 kg
Kewarganegaraan : Indonesia
Alamat : Jl.Dahlia No.08,kec.medan tembung
No Hp : 0852-3707-0701
Email : fadlandanuartas@gmail.com

Data Orang Tua

Nama Ayah : Eka Dinata S
Agama : Islam
Kewarganegaraan : Indonesia
Nama Ibu : Umi Daniat
Agama : Islam
Kewarganegaraan : Indonesia
Alamat : Jl.Dahlia No.08,kec.medan tembung

Latar Belakang Pendidikan

Min Medan : Tahun 2008 - 2014
Mtsn 2 Medan : Tahun 2014 - 2017
SMK N 1 Percut Sei Tuan : Tahun 2017 - 2020
Mahasiswa Prodi Teknik : Tahun 2021 - 2025
Elektro Fakultas Teknik
Universitas Muhammdiyah
Sumatera Utara



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA (UMSU)
FAKULTAS TEKNIK – TEKNIK ELEKTRO

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR (SKRIPSI)

Nama : Fadlan Danuarta .S
NPM : 2107220050
Fakultas/Jurusan : Teknik / Teknik Elektro
Judul Tugas Akhir : “Analisis Sistem *Water Ingress Prevention* Untuk Mencegah Tenggelamnya Kapal *Bulk Carrier* Berbasis *Programmable Logic Controller (PLC)*”

No	Tanggal	Catatan Asistensi	Paraf Pembimbing
1	19/02/2025	Revisi BAB 1 Pendahuluan (rumusan masalah, tujuan penelitian, dan ruang lingkup)	
2	26/02/2025	Revisi BAB 2 Tinjauan Pustaka (perbaikan penulisan)	
3	07/03/2025	Perbaikan judul skripsi	
4	18/03/2025	Penambahan sitasi jurnal mengenai PLC	
5	24/03/2025	Perbaikan Flowchart dan tambahkan prosedur penelitian	
6	14/04/2025	ACC Sempurna	

Mengetahui
Dosen Pembimbing



Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T.,



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA (UMSU)
FAKULTAS TEKNIK – TEKNIK ELEKTRO

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR (SKRIPSI)

Nama : Fadlan Danuarta .S
NPM : 2107220050
Fakultas/Jurusan : Teknik / Teknik Elektro
Judul Tugas Akhir : “Analisis Sistem *Water Ingress Prevention* Untuk Mencegah Tenggelamnya Kapal *Bulk Carrier* Berbasis *Programmable Logic Controller (PLC)*”

No	Tanggal	Catatan Asistensi	Paraf Pembimbing
1	17/06/2025	Revisi abstrak (masukan Latar belakang, tujuan penelitian, metode, dan hasil kesimpulan)	
2	23/06/2025	Revisi daftar isi & daftar gambar ukuran 1,5	
3	05/07/2025	Revisi BAB 4 (masukan perbandingan menggunakan sensor & tidak menggunakan sensor)	
4	14/07/2025	Masukan penjelasan minimal 1 paragraf pada gambar, tabel dan grafik di BAB 4	
5	24/07/2025	Revisi BAB 5 (urutkan kesimpulan sesuai tujuan penelitian)	
6	07/08/2025	ACC Semhas	

Mengetahui
Dosen Pembimbing


Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T.,



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA (UMSU)
FAKULTAS TEKNIK – TEKNIK ELEKTRO

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR (SKRIPSI)

Nama : Fadlan Danuarta .S
NPM : 2107220050
Fakultas/Jurusan : Teknik / Teknik Elektro
Judul Tugas Akhir : “Analisis Sistem *Water Ingress Prevention* Untuk Mencegah Tenggelamnya Kapal *Bulk Carrier* Berbasis *Programmable Logic Controller (PLC)*”

No	Tanggal	Catatan Asistensi	Paraf Pembimbing
1	04/08/2025	Revisi penulisan dan penempatan pada nomor halaman	
2	15/08/2025	Revisi BAB 4 (masukan keterangan pada gambar dan tabel)	
6	28/08/2025	ACC Sidang	

Mengetahui
Dosen Pembimbing



Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T.,