KEMENTERIAN PERHUBUNGAN
BADAN PENGEMBANGAN
SUMBER DAYA MANUSIA PERHUBUNGAN

SEKOLAH TINGGI ILMU PELAYARAN



SKRIPSI

PERANCANGAN SISTEM BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT) DALAM MONITORING KELEMBAPAN RUANG MUAT GUNA MENDUKUNG EFISIENSI PROSES PEMUATAN KAPAL CURAH DI MV.EVRYDIKI

Oleh:

YOSIA GUSEVA SIMATUPANG
NRP. 364210962

PROGRAM PENDIDIKAN DIPLOMA IV
JURUSAN NAUTIKA
JAKARTA
2026

KEMENTERIAN PERHUBUNGAN
BADAN PENGEMBANGAN
SUMBER DAYA MANUSIA PERHUBUNGAN

SEKOLAH TINGGI ILMU PELAYARAN

PERANCANGAN SISTEM BERBASIS *INTERNET OF THINGS* (IOT) DALAM *MONITORING* KELEMBAPAN RUANG MUAT GUNA MENDUKUNG EFISIENSI PROSES PEMUATAN KAPAL CURAH DI MV.EVRYDIKI

Diajukan Guna Memenuhi Persyaratan
Untuk Penyelesaian Program Pendidikan Diploma IV

Oleh:

YOSIA GUSEVA SIMATUPANG
NRP. 364210962

PROGRAM PENDIDIKAN DIPLOMA IV
JURUSAN NAUTIKA
JAKARTA
2026

KEMENTERIAN PERHUBUNGAN
BADAN PENGEMBANGAN
SUMBER DAYA MANUSIA PERHUBUNGAN

SEKOLAH TINGGI ILMU PELAYARAN

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama	:	Yosia Guseva Simatupang
NRP	:	364210962
Program Pendidikan	:	Diploma IV
Jurusan	:	Nautika
Judul	:	Perancangan Sistem Berbasis *Internet of Things* (IoT) Dalam *Monitoring* Kelembapan Ruang Muat Guna Mendukung Efisiensi Proses Pemuatan Kapal Curah Pada MV.EVRYDIKI

Jakarta, 13 April 2026

Penulis



YOSIA GUSEVA SIMATUPANG

KEMENTERIAN PERHUBUNGAN
BADAN PENGEMBANGAN
SUMBER DAYA MANUSIA PERHUBUNGAN

SEKOLAH TINGGI ILMU PELAYARAN

TANDA PERSETUJUAN SKRIPSI

Nama	:	Yosia Guseva Simatupang
NRP	:	364210962
Program Pendidikan	:	Diploma IV
Jurusan	:	Nautika
Judul	:	Perancangan Sistem Berbasis *Internet of Things* (IoT) Dalam *Monitoring* Kelembapan Ruang Muat Guna Mendukung Efisiensi Proses Pemuatan Kapal Curah Pada MV.EVRYDIKI

Jakarta, 24 Juni 2026

Pembimbing Utama	Pembimbing Pendamping
Capt. Irfan Faozun, M.M	Dr. Winarno, S.ST., M.H
Pembina (IV/a)	Pembina (IV/a)
NIP. 197309082008121001	NIP. 197602082002121003

Mengetahui:
Ketua Jurusan Nautika

Capt. Suhartini, S.Si.T., M.M., M.M.Tr.
Penata Tk. I (III/d)
NIP. 19800307 200502 2 002

KEMENTERIAN PERHUBUNGAN
BADAN PENGEMBANGAN
SUMBER DAYA MANUSIA PERHUBUNGAN

SEKOLAH TINGGI ILMU PELAYARAN

TANDA PENGESAHAN SKRIPSI

Nama	:	Yosia Guseva Simatupang
NRP	:	364210962
Program Pendidikan	:	Diploma IV
Jurusan	:	Nautika
Judul	:	Perancangan Sistem Berbasis *Internet of Things* (IoT) Dalam *Monitoring* Kelembapan Ruang Muat Guna Mendukung Efisiensi Proses Pemuatan Kapal Curah Pada MV.EVRYDIKI

Ketua Penguji	Anggota Penguji 2	Anggota Penguji 3
Dr. Capt. Jaja Suparman, MM.	Rosna Yuherlina S., S.Kom., M.M.Tr	Capt. Irfan Faozun, M.M.
Pembina Tk. I (IV/b)	Pembina (IV/a)	Pembina (IV/a)
NIP. 19670811 199903 1 001	NIP. 19720503 199803 2 003	NIP. 19730908 200812 1 001

Mengetahui:
Ketua Jurusan Nautika

Capt. Suhartini, S.Si.T., M.M., M.M.Tr.
Penata Tk. I (III/d)
NIP. 19800307 200502 2 002

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena telah memberikan berkah dan karunia-Nya, sehingga skripsi ini dapat diselesaikan tepat waktu dan memenuhi persyaratan untuk menyelesaikan pendidikan Diploma IV di Sekolah Tinggi Ilmu Pelayaran Jakarta.Dalam hal penulisan skripsi ini, penulis memilih judul:

"Perancangan Sistem Berbasis In*ternet of Things* (IoT) Dalam *Monitoring* Kelembapan Ruang Muat Guna Mendukung Efisiensi Proses Pemuatan Kapal Curah Pada MV.EVRYDIKI"

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyampaikan berbagai permasalahan yang telah diidentifikasi dan dikaitkan dengan teori-teori dari beberapa referensi yang relevan. Penulis menyadari bahwa masih terdapat beberapa kekurangan, baik dalam penyajian materi maupun penggunaan bahasa. Berkat bimbingan serta bantuan dari dosen pembimbing, pembimbing pembantu, dan berbagai pihak terkait, skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Melalui kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan rasa hormat dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan, baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ungkapan terima kasih kepada yang terhormat:

1. Bapak Dr. Capt. Tri Cahyadi, M.H., M.Mar. selaku Ketua Sekolah Tinggi Ilmu Pelayaran (STIP) Jakarta.
2. Ibu Capt. Suhartini, S.Si.T., M.M., M.M.Tr. selaku Ketua Jurusan Nautika.
3. Bapak Pesta Veri Ahmadi N, S. ST. Pel. selaku Wakil Ketua Jurusan Nautika.
4. Bapak Capt. Irfan Fauzon, M.M. selaku dosen pembimbing utama yang telah memberikan banyak pengarahan, masukan serta bimbingan kepada penulis.
5. Bapak Dr. Winarno, S.ST., M.H. selaku dosen pembimbing pendamping yang telah memberikan banyak pengarahan, masukan serta bimbingan kepada penulis.
6. Kedua orang tua tercinta, Bapak Capt. Agus Parulian Simatupang, S.ST., M.Mar. dan Ibu Eva Gloria Banjarnahor, S.ST., Bd., SKM., MARS., terima kasih atas doa, dukungan, tulus kasih sayang, perjuangan, serta pengertian penulis dalam menjalani pendidikan di STIP yang tiada henti sampai sekarang ini serta Adik Kandung Efraim Guseva Simatupang, Felicia Guseva Simatupang, dan Latisha Guseva Simatupang

yang selalu mendoakan untuk menjadi yang terbaik serta memberikan motivasi penulis sampai sekarang.

7. Seluruh kru kapal MV. ERYDIKI dan seluruh pegawai di perusahaan Aweidhia atas bimbingan dan pengetahuan yang telah diberikan kepada saya selama melakukan praktek laut.
8. Seluruh taruna/i angkatan 64 seperjuangan baik susah maupun senang selama di asrama maupun di luar asrama yang selalu memberi semangat.
9. Seluruh tim regional Bogor, yang menemani dan memotivasi penulis dalam penyelesaian skripsi ini.
10. Seluruh anggota kamar G209 dan G202, yang menemani dan memotivasi penulis dalam penyelesaian skripsi ini.
11. Seluruh pegawai perpustakaan Sekolah Tinggi Ilmu Pelayaran Jakarta terimakasih atas bantuannya dalam mencari buku-buku yang penulis butuhkan dalam menyusun skripsi ini.
12. Semua pihak yang tidak dapat peneliti sebutkan satu per satu terima kasih atas bantuannya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.

Akhir kata, semoga skripsi ini dapat penulis berharap skripsi ini dapat memberikan kontribusi bagi bidang nautika dalam bentuk pengetahuan, serta dapat memenuhi persyaratan program Diploma IV di Sekolah Tinggi Ilmu Pelayaran Jakarta.

Jakarta, 24 Juni 2026
Penulis



YOSIA GUSEVA SIMATUPANG
NRP. 364210962

DAFTAR ISI

SAMPUL DALAM i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS ii
TANDA PERSETUJUAN SKRIPSI iii
TANDA PENGESAHAN SKRIPSI iv
KATA PENGANTAR v
DAFTAR ISI vii
DAFTAR GAMBAR ix
DAFTAR TABEL x
DAFTAR SINGKATAN xi
DAFTAR LAMPIRAN xii
ABSTRAK xiii
ABSTRACT xiv
BAB I PENDAHULUAN 1
A. LATAR BELAKANG 1
B. RUMUSAN MASALAH 5
C. TUJUAN DAN MANFAAT PENGEMBANGAN 6
D. SPESIFIKASI PRODUK YANG DIKEMBANGKAN 6
BAB II LANDASAN TEORI 9
A. TINJAUAN PUSTAKA 9
B. PENELITIAN TERDAHULU 28
C. KERANGKA PEMIKIRAN 32
BAB III METODE PENELITIAN 33
A. JENIS DAN PENDEKATAN PENELITIAN 33
B. MODEL PENGEMBANGAN 34
C. SUMBER DATA 35
D. PROSEDUR PENELITIAN 37
E. UJI COBA PRODUK 44
F. DESAIN UJI COBA 45
G. SUBJEK UJI COBA 47
H. JENIS DATA 48
I. METODE DAN INSTRUMEN PENGUMPULAN DATA 49

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN 53
A. HASIL PENELITIAN 53
B. PENYAJIAN DATA UJI DATA 55
C. HASIL ANALISIS DATA 61
D. HASIL PRODUK 62
E. PEMBAHASAN HASIL PENELITIAN 65
F. LUARAN PRODUK 66
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 69
A. SIMPULAN 69
B. SARAN 70
DAFTAR PUSTAKA 71
DAFTAR LAMPIRAN 74

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Modul sensor DHT22 24
Gambar 2.2 Bentuk fisik ESP32 25
Gambar 2.3 Buzzer 27
Gambar 2.4 Aplikasi *Monitoring* 28
Gambar 2.5 Kerangka Pemikiran 32
Gambar 3.1 Diagram Alur Prosesur Penelitian 37
Gambar 3.2 *Flowchart* program sistem *monitoring* 40
Gambar 3.3 *Wiring diagram sistem monitoring* kelembapan 40
Gambar 4.1 Grafik komparasi kelembapan sensor DHT22 dan kalibrator pada skenario kondisi normal 56
Gambar 4.2 Pengujian simulasi pemanasan dan tampilan aplikasi *monitoring* 57
Gambar 4.3 *Prototipe smart maritime cargo monitoring system* (tampak luar) 63
Gambar 4.4 Rangkaian komponen internal prototipe 63
Gambar 4.5 *Prototipe Smart Maritime Cargo Monitoring System* dalam Simulasi Instalasi di Ruang Palka 67

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu. 29
Tabel 3.1 Keterangan penilaian validasi 50
Tabel 3.2 Presentase penilaian validasi 51
Tabel 4.1 Perbandingan pembacaan sensor DHT22 dan alat kalibrator pada skenario kondisi normal 55
Tabel 4.2 Data pengujian skenario simulasi anomaly humidity dan responsivitas sistem peringatan dini 57
Tabel 4.3 Rekapitulasi hasil pengujian dua skenario prototipe *Smart Maritime Cargo Monitoring System* 58
Tabel 4.4 Skala penilaian validasi 58
Tabel 4.5 Hasil validasi prototipe oleh dosen ahli 59
Tabel 4.6 Hasil validasi prototipe oleh taruna nautika (pengguna akhir) 60
Tabel 4.7 Spesifikasi teknis prototipe *Smart Maritime Cargo Monitoring System* 63

DAFTAR SINGKATAN

IoT	*Internet of Things*
Mv	*Motor Vessel*
R&D	*Research and Development*
ESP32	*Espresif Systems* 32
DHT22	*Digital Humidity and Temperature* 22
RH	*Relative Humidity*
IMSBC Code	*Internaional Maritime Solid Bulk Cargoes Code*
IMO	*International Maritime Organization*
SOLAS	*Safety of Life at Sea*
HTML	*Hypertext Markup Language*
IDE	*Integrated Development Environment*
GPIO	*General Purpose Input Output*
DC	*Direct Current*
USB	*Universal Serial Bus*

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 MV EVRYDIKI 74
Lampiran 2 *Ship Particular* 75
Lampiran 3 *Crew List* 76
Lampiran 4 Kondisi Palka 77
Lampiran 5 Pengujian Alat Dengan Dosen Validator 1 78
Lampiran 6 Lembar Penilaian Validasi 1 79
Lampiran 7 Pengujian Alat Dengan Dosen Validator 2 80
Lampiran 8 Lembar Validasi 2 81
Lampiran 9 Hasil Validasi Pengguna 82
Lampiran 10 Pengujian Oleh pengguna 83
Lampiran 11 *Coding Program* 84
Lampiran 12 Formulir Pengajuan Sinopsis 100
Lampiran 13 Lembar Bimbingan 1 103
Lampiran 14 Lembar Bimbingan 2 104

ABSTRAK

Yosia Guseva Simatupang, 2026. *"Perancangan Sistem Berbasis IoT Dalam Monitoring Kelembapan Ruang Muat Guna Mendukung Efisiensi Proses Pemuatan Kapal Curah Pada MV.EVRYDIKI"*

Pemantauan kelembapan ruang muat pada kapal curah merupakan aspek krusial dalam menjaga kualitas muatan dan mendukung efisiensi proses pemuatan. Metode pemantauan manual yang selama ini diterapkan memiliki keterbatasan dalam hal kontinuitas data, akurasi, dan ketergantungan pada operator, sehingga perubahan kondisi lingkungan ruang muat sering terlambat terdeteksi. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan prototipe *Smart Maritime Cargo Monitoring System* berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP32 dan sensor DHT22 sebagai solusi pemantauan kondisi atmosfer ruang muat kapal curah MV. EVRYDIKI secara otomatis dan *real-time*. Penelitian ini menggunakan metode *Research and Development* (R&D) dengan model pengembangan Borg and Gall yang disederhanakan menjadi empat tahap utama, yaitu identifikasi kebutuhan, perencanaan, perancangan dan pembuatan prototipe, serta pengujian dan penyempurnaan sistem. Sistem yang dikembangkan mengintegrasikan sensor DHT22 untuk mengukur suhu dan kelembaban relatif, mikrokontroler ESP32 sebagai unit pengendali utama, *buzzer* sebagai alarm peringatan dini, dan aplikasi monitoring berbasis web yang dapat diakses melalui *smartphone* maupun komputer secara *real-time*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja dengan rata-rata *error rate* sebesar 1,9%, jauh di bawah ambang toleransi industri sebesar 5%. Sistem juga terbukti mampu mendeteksi anomali kelembaban dan mengaktifkan *early warning system* secara otomatis melalui dua jalur peringatan simultan, yaitu *buzzer* akustik dan *push notification* ke perangkat Mualim Jaga. Sistem mengklasifikasikan kondisi ruang muat ke dalam tiga kategori: "NORMAL", "WASPADA", dan "BAHAYA". Hasil validasi oleh dosen ahli bidang Nautika dan Instrumentasi serta 20 taruna Nautika yang telah melaksanakan praktik laut menunjukkan persentase kelayakan akumulatif sebesar 96%, yang masuk dalam kategori "Sangat Sesuai". Dengan demikian, prototipe *Smart Maritime Cargo Monitoring System* dinyatakan layak diimplementasikan sebagai alat bantu pemantauan kondisi lingkungan ruang muat kapal curah secara efektif dan berkelanjutan.

Kata kunci: *Internet of Things, IoT, monitoring kelembapan, ruang muat, kapal curah, ESP32, DHT22, cargo sweat, efisiensi pemuatan*

ABSTRACT

Yosia Guseva Simatupang, 2026. *"Design of an IoT-Based System for Cargo Hold Humidity Monitoring to Support Loading Efficiency on Bulk Carrier MV. EVRYDIKI"*

Humidity monitoring in the cargo holds of bulk carriers is a critical aspect of maintaining cargo quality and supporting the efficiency of the loading process. The manual monitoring methods previously employed have significant limitations in terms of data continuity, accuracy, and operator dependency, often resulting in delayed detection of environmental changes within the cargo hold. This study aims to design and develop a prototype *Smart Maritime Cargo Monitoring System* based on the *Internet of Things* (IoT) using an ESP32 microcontroller and DHT22 sensor as an automated and real-time atmospheric monitoring solution for the cargo holds of bulk carrier MV. EVRYDIKI. This study employs a *Research and Development* (R&D) methodology based on a simplified Borg and Gall development model, consisting of four main stages: needs identification, planning, system design and prototype development, and testing and refinement. The developed system integrates a DHT22 sensor to measure temperature and relative humidity, an ESP32 microcontroller as the main control unit, a buzzer as an early warning alarm, and a web-based monitoring application accessible via smartphone or computer in real-time. Test results demonstrate that the system operates with an average error rate of 1.9%, well below the 5% industry tolerance threshold. The system also proved capable of detecting humidity anomalies and automatically activating the early warning system through two simultaneous alert channels: an acoustic buzzer installed in the cargo hold area and push notifications sent to the Officer on Watch's device. The system classifies cargo hold conditions into three categories: "NORMAL", "CAUTION", and "DANGER". Validation by expert lecturers in the fields of Nautical Science and Instrumentation, along with 20 Nautical Science cadets who had completed sea service, yielded an accumulated feasibility percentage of 96%, placing the prototype in the "Highly Appropriate" category. The *Smart Maritime Cargo Monitoring System* prototype is therefore declared fit for implementation as an effective and sustainable cargo hold environmental monitoring tool aboard bulk carrier vessels.

Keywords: *Internet of Things, IoT, humidity monitoring, cargo hold, bulk carrier, ESP32, DHT22, cargo sweat, loading efficiency*

BAB I

PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG

Dalam industri pelayaran, khususnya pada kapal curah (*bulk carrier*), proses pemuatan merupakan salah satu tahapan operasional yang sangat menentukan keberhasilan pengiriman muatan. Efisiensi pemuatan sangat mempengaruhi waktu sandar kapal (*port stay*), biaya operasional, serta performa logistik perusahaan pelayaran. Menurut Martin Stopford dalam *Maritime Economics* (2020, halaman. 435–442), efisiensi operasional kapal sangat dipengaruhi oleh kecepatan dan ketepatan proses bongkar muat karena aktivitas tersebut memberikan kontribusi besar terhadap biaya tidak langsung dalam siklus pelayaran. Oleh karena itu, persiapan ruang muat menjadi aspek krusial yang harus diperhatikan sebelum proses pemuatan dilakukan.

Salah satu faktor penting dalam persiapan ruang muat kapal curah adalah kondisi kelembapan udara (*relative humidity*). Kelembapan yang tidak terkendali dapat menyebabkan terjadinya kondensasi atau *sweating* di dalam palka kapal. Menurut *International Maritime Solid Bulk Cargoes* (IMSBC) *Code* (2020), muatan curah kering tertentu memiliki sifat higroskopis, yaitu mudah menyerap kelembapan dari udara sekitar, sehingga sangat rentan terhadap kerusakan apabila kondisi ruang muat tidak sesuai dengan karakteristik muatan. Kondensasi yang terjadi di dalam palka dapat menyebabkan pembusukan muatan, penurunan kualitas fisik muatan, serta meningkatkan risiko klaim kerusakan dari pihak pemilik muatan.

Dalam konteks muatan berbahaya, *International Maritime Dangerous Goods* (IMDG) Code yang diterbitkan oleh International Maritime Organization (IMO) dan telah diamendemen melalui Amendment 41-22 (berlaku sejak 1 Januari 2023) menjadi acuan regulasi internasional yang mengatur penanganan, penyimpanan, dan pengangkutan barang berbahaya di atas kapal. Meskipun batu bara secara umum dikategorikan sebagai muatan curah padat dan diatur dalam IMSBC Code, IMDG

Code tetap relevan dalam konteks ini karena batu bara yang memiliki kandungan sulfur tinggi atau bersifat reaktif dapat menghasilkan gas metana (CH_4) dan karbon monoksida (CO) yang berpotensi menciptakan atmosfer berbahaya di dalam palka. IMDG Code (Amendment 41-22, Chapter 7.3) secara tegas mengatur persyaratan ventilasi, pengendalian atmosfer ruang muat, serta pengukuran parameter lingkungan—termasuk kelembapan—sebagai bagian dari keselamatan penanganan muatan yang berpotensi berbahaya. Dengan demikian, pengendalian kelembapan ruang muat tidak hanya berkaitan dengan kualitas muatan, tetapi juga menjadi bagian dari kepatuhan terhadap ketentuan keselamatan muatan internasional.

Selain berdampak pada muatan, kelembapan tinggi juga berpengaruh terhadap struktur kapal. Menurut Zhang et al. (2021) dalam jurnal *Ocean Engineering*, tingkat kelembapan yang tinggi di ruang tertutup kapal dapat mempercepat proses korosi pada struktur baja, memperpendek umur lapisan pelindung (*coating*), serta meningkatkan biaya perawatan kapal dalam jangka panjang. Hal ini menunjukkan bahwa pengendalian kelembapan tidak hanya dapat berkaitan dengan muatan tetapi juga berhubungan langsung dengan keselamatan dan keberlanjutan operasional kapal. Pada praktiknya, pemantauan kelembapan ruang muat di atas kapal masih banyak dilakukan secara manual dengan alat ukur konvensional. Metode pengukuran manual memiliki keterbatasan dalam hal kontinuitas data, akurasi, serta ketergantungan pada operator dalam melakukan pencatatan. Menurut Çengel dan Ghajar (2020, hlm. 28–30), pengukuran parameter lingkungan secara manual cenderung tidak mampu memberikan data secara kontinu sehingga berpotensi menyebabkan keterlambatan dalam mendeteksi perubahan kondisi fisik seperti suhu dan kelembapan. Akibatnya, perubahan kondisi lingkungan ruang muat sering kali terlambat terdeteksi, sehingga tindakan pencegahan tidak dapat dilakukan secara optimal.

Aspek sumber daya manusia dalam pengelolaan ruang muat juga tidak dapat diabaikan. *Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers* (STCW) Convention dan STCW Code yang telah diperbarui melalui Manila Amendments (2010) serta diperkuat melalui revisi 2022, menetapkan kompetensi minimum yang harus dimiliki oleh perwira kapal dalam penanganan dan pengamanan muatan. Secara spesifik, STCW Code Table A-II/1 dan A-II/2 mengatur bahwa perwira dek (*deck officer*) wajib memiliki kompetensi dalam

memantau kondisi ruang muat, mengenali potensi bahaya yang berkaitan dengan karakteristik muatan, serta mengambil tindakan pencegahan yang tepat untuk melindungi keselamatan kapal dan muatan. Standar kompetensi ini secara implisit mewajibkan perwira kapal untuk memahami dan mampu menginterpretasikan data kondisi ruang muat—termasuk parameter kelembapan—sebagai bagian dari tugas pengawasan. Dalam konteks ini, sistem monitoring berbasis IoT yang menyajikan data kelembapan secara *real-time* dapat menjadi alat bantu yang sangat efektif dalam mendukung perwira kapal memenuhi standar kompetensi STCW tersebut, sekaligus meningkatkan akurasi dan kecepatan pengambilan keputusan operasional.

Seiring dengan perkembangan teknologi digital, konsep *Internet of Things* (IoT) mulai banyak diterapkan dalam sektor maritim sebagai bagian dari transformasi menuju *smart shipping*. Menurut Atzori, Iera, dan Morabito (2020), IoT merupakan sistem yang memungkinkan berbagai perangkat fisik saling terhubung melalui jaringan internet untuk mengumpulkan, mengirim, dan menganalisis data secara *real-time*. Dalam konteks pelayaran, IoT memungkinkan kapal untuk memantau berbagai parameter lingkungan secara otomatis, termasuk suhu, tekanan, dan kelembapan.

Penggunaan alat *monitoring* kelembapan ruang muat berbasis IoT menjadi solusi yang relevan dalam mendukung efisiensi pemuatan. Menurut Sari et al. (2021) dalam penelitian tentang sistem *monitoring* berbasis IoT, sensor hygrometer yang terintegrasi dengan sistem komunikasi data mampu memberikan informasi kelembapan secara *real-time*, akurat, dan berkelanjutan tanpa bergantung pada pencatatan manual. Data yang dihasilkan dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan operasional, seperti penentuan waktu pemuatan yang tepat, kebutuhan ventilasi palka, serta evaluasi kesiapan ruang muat sebelum muatan dimasukkan.

Dari sisi regulasi, meskipun IMO belum mewajibkan penggunaan sensor kelembapan secara spesifik, namun prinsip pengendalian kondisi muatan telah diatur dalam SOLAS *Chapter* VI (2020, Amendment) yang menekankan bahwa kapal wajib memastikan kondisi ruang muat sesuai dengan karakteristik muatan demi menjamin keselamatan dan kualitas muatan selama pelayaran. Selain itu, IMSBC *Code* (2020) juga menegaskan bahwa pengelolaan atmosfer ruang muat merupakan tanggung jawab perwira kapal sebelum proses pemuatan dimulai.

Dalam konteks nasional, regulasi seperti Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor 6 Tahun 2021 tentang penyelenggaraan angkutan laut juga menegaskan bahwa perusahaan pelayaran wajib menjamin keselamatan muatan melalui penerapan prosedur operasional yang sesuai standar, termasuk dalam tahap persiapan ruang muat. Hal ini secara implisit membuka ruang bagi penerapan teknologi *monitoring modern* sebagai bagian dari peningkatan keselamatan dan efisiensi operasional.

Berdasarkan uraian tersebut, dapat disimpulkan bahwa perancangan sistem *monitoring* berbasis *Internet of Things* (IoT) merupakan solusi teknologi yang relevan dan strategis dalam mendukung *monitoring* kelembapan ruang muat kapal curah. Pada MV. EVRYDIKI, penerapan sistem ini diharapkan mampu memberikan data kelembapan secara *real-time*, meningkatkan kesiapan ruang muat, mengurangi risiko kerusakan muatan, serta mendukung efisiensi proses pemuatan secara keseluruhan. Penelitian ini tidak hanya penting secara praktis bagi operasional kapal, tetapi juga memberikan kontribusi akademik dalam pengembangan konsep digitalisasi dan *smart system* di bidang pelayaran *modern*. Penelitian mengenai perancangan sistem *monitoring* berbasis *Internet of Things* (IoT) telah banyak dilakukan dalam berbagai bidang, khususnya dalam *monitoring* suhu dan kelembapan lingkungan. Salah satu penelitian yang relevan dilakukan oleh Wivanius dkk. (2024) yang mengembangkan sistem *monitoring* suhu dan kelembapan berbasis IoT menggunakan sensor DHT22 dan mikrokontroler ESP32. Sistem yang dikembangkan mampu mengirimkan data secara *real-time* ke platform berbasis *cloud* serta dilengkapi dengan fitur notifikasi otomatis ketika terjadi perubahan kondisi lingkungan yang signifikan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem tersebut mampu meningkatkan efisiensi pemantauan dibandingkan metode manual serta memiliki tingkat akurasi yang cukup baik. Namun demikian, penelitian ini masih terbatas pada penggunaan di lingkungan umum dan tidak mempertimbangkan kondisi operasional khusus seperti pada kapal, sehingga belum mengkaji pengaruhnya terhadap proses operasional tertentu.

Penelitian lainnya dilakukan oleh Santosa dkk. (2023) yang mengimplementasikan sistem *monitoring* suhu dan kelembapan berbasis IoT pada gudang penyimpanan bahan baku. Sistem ini menggunakan sensor DHT22 yang terintegrasi dengan mikrokontroler ESP32 dan mampu memberikan data secara

real-time kepada pengguna. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem *monitoring* berbasis IoT dapat meningkatkan akurasi pengukuran, mengurangi kesalahan pencatatan manual, serta meningkatkan efisiensi operasional dalam pengelolaan gudang. Meskipun demikian, penelitian ini dilakukan pada lingkungan yang bersifat statis, sehingga belum mempertimbangkan faktor lingkungan dinamis seperti perubahan suhu dan kelembapan akibat kondisi cuaca atau pergerakan kapal.

Berdasarkan kedua penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa perancangan sistem *monitoring* berbasis IoT secara umum telah terbukti efektif dalam meningkatkan akurasi dan efisiensi *monitoring* lingkungan. Namun, terdapat perbedaan mendasar dengan penelitian yang dilakukan penulis, yaitu pada konteks penerapan dan tujuan penelitian. Penelitian ini difokuskan pada perancangan sistem *monitoring* berbasis IoT di ruang muat kapal curah, yang memiliki karakteristik lingkungan dinamis serta dipengaruhi oleh faktor eksternal seperti cuaca dan ventilasi kapal. Selain itu, penelitian ini tidak hanya berfokus pada *monitoring* kelembapan, tetapi juga menganalisis pengaruhnya terhadap kesiapan ruang muat dan efisiensi proses pemuatan kapal, sehingga memberikan kontribusi baru dalam pengembangan teknologi *monitoring* berbasis IoT di bidang pelayaran.

Maka dari itu, penulis tertarik untuk memberikan pengalaman selama melaksanakan penelitian di MV. EVRYDIKI yang memuat batu bara dengan mengambil judul:

"PERANCANGAN SISTEM BERBASIS IoT DALAM MONITORING KELEMBAPAN RUANG MUAT GUNA MENDUKUNG EFISIENSI PROSES PEMUATAN KAPAL CURAH PADA MV.EVRYDIKI"

B. RUMUSAN MASALAH

Berdasarkan pemaparan latar belakang serta kebutuhan pengembangan produk yang telah dijelaskan, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana merancang sistem monitoring kelembapan ruang muat berbasis IoT menggunakan ESP32 dan sensor DHT22?
2. Bagaimana performa sistem dalam aspek akurasi pembacaan sensor, konsistensi pengambilan data, dan efektivitas mekanisme peringatan dini terhadap kelembaban berlebih?

C. TUJUAN DAN MANFAAT PENGEMBANGAN

1. Tujuan Pengembangan

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengembangkan prototipe sistem monitoring kelembapan ruang muat berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan ESP32 dan sensor DHT22 guna mendukung pemantauan kondisi ruang muat kapal secara otomatis dan *real time*.

2. Manfaat Pengembangan

a. Manfaat Teoretis

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu pengetahuan di bidang sistem *monitoring* berbasis IoT, khususnya penerapan mikrokontroler ESP32 dan sensor DHT22 pada sistem *monitoring* kelembapan ruang muat kapal.

b. Manfaat Praktis

1. Membantu awak kapal dalam melakukan *monitoring* kelembapan ruang muat secara *real time* dan otomatis.
2. Mendukung perusahaan pelayaran dalam meningkatkan efisiensi proses pemuatan kapal curah.
3. Menjadi referensi pengembangan sistem monitoring berbasis IoT di bidang maritim pada penelitian atau pengembangan selanjutnya.

D. SPESIFIKASI PRODUK YANG DIKEMBANGKAN

Berdasarkan tujuan pengembangan dalam penelitian ini, spesifikasi produk yang dikembangkan adalah suatu sistem *monitoring* kelembapan ruang muat kapal berbasis *Internet of Things* (IoT) yang berfungsi untuk memantau kondisi lingkungan ruang muat secara otomatis dan *real time*. Adapun spesifikasi produk yang dikembangkan adalah sebagai berikut:

1. Mikrokontroler Espressif System32

Espressif Systems ESP32 merupakan mikrokontroler berarsitektur dual-core yang dibangun di atas prosesor Xtensa LX6 dan dikembangkan oleh Espressif Systems. Dalam sistem yang dirancang, ESP32 berperan sebagai unit pengendali utama sekaligus pemroses data secara lokal (edge computing) yang menghubungkan dan mengintegrasikan seluruh komponen perangkat keras yang

digunakan. Pemilihan ESP32 didasarkan pada beberapa pertimbangan, di antaranya kemampuan pemrosesan yang andal, dukungan terhadap komunikasi multi-sensor secara bersamaan melalui protokol I²C, SPI, dan UART, serta ketersediaan modul Wi-Fi 802.11 b/g/n dan Bluetooth yang telah tertanam secara terintegrasi di dalamnya. Berbagai keunggulan tersebut memungkinkan ESP32 untuk mengirimkan data pemantauan kelembaban secara real-time tanpa bergantung pada modul komunikasi eksternal tambahan, sehingga sistem yang dihasilkan menjadi lebih efisien dalam desain, lebih kompak secara fisik, dan lebih ekonomis dari segi biaya pengembangan.

2. Sensor Kelembaban DHT22

Sensor DHT22 adalah sensor digital yang mampu mengukur suhu dan kelembaban udara, diproduksi oleh Aosong Electronics Co., Ltd. Dalam sistem ini, sensor tersebut berfungsi sebagai komponen utama yang bertugas mengukur suhu dan kelembaban relatif (Relative Humidity/RH) di dalam ruang muat kapal. Penggunaan DHT22 dipilih atas dasar beberapa keunggulan yang dimilikinya, yakni tingkat akurasi yang lebih tinggi dibandingkan seri DHT11, cakupan rentang pengukuran yang lebih luas, serta kemampuannya dalam menghasilkan data digital yang stabil untuk mendukung kebutuhan pemantauan kondisi lingkungan. Sensor ini bekerja menggunakan antarmuka komunikasi satu jalur (single-wire serial interface) yang menjadikan proses pertukaran data dengan ESP32 berlangsung secara sederhana dan efisien. Data suhu dan kelembaban yang berhasil diperoleh selanjutnya diproses oleh ESP32 dan diteruskan secara real-time guna keperluan pemantauan kondisi ruang muat kapal secara berkelanjutan.

3. Buzzer

Buzzer aktif difungsikan sebagai alarm dalam sistem peringatan dini yang dikembangkan. Komponen dikendalikan langsung oleh mikrokontroler ESP32 dan bekerja secara otomatis ketika nilai kelembaban yang terdeteksi oleh sensor DHT22 melebihi ambang batas yang telah ditetapkan dalam program. Aktivasi buzzer tersebut bertujuan untuk memberikan peringatan secara fisik kepada awak kapal yang berada di sekitar area palka, sehingga tindakan penanganan dapat segera dilakukan sebelum kondisi muatan mengalami kerusakan lebih lanjut.

4. Aplikasi Monitoring

Aplikasi yang di gunakan adalah aplikasi *monitoring* suhu dan kelembapan berbasis web yang terintegrasi dengan sistem *Internet of Things* (IoT) menggunakan mikrokontroler *Espressif Systems* ESP32. Aplikasi ini dirancang menggunakan bahasa pemrograman HTML, CSS, dan JavaScript dengan tampilan antarmuka *modern* berbasis *responsive design* sehingga dapat diakses melalui perangkat *smartphone* maupun komputer. Sistem memiliki fitur utama berupa *monitoring* suhu dan kelembapan secara *real-time* menggunakan teknologi *WebSocket*, pengaturan nilai *threshold* suhu dan kelembapan, kontrol *buzzer* dalam mode otomatis maupun manual, konfigurasi jaringan *WiFi*.

5. Perangkat Lunak: Arduino IDE

Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) adalah lingkungan pengembangan perangkat lunak sumber terbuka (*open-source*) yang untuk menulis, mengompilasi, dan mengunggah program ke mikrokontroler ESP32. Kode program ditulis menggunakan bahasa C++ dengan memanfaatkan pustaka (*library*) khusus untuk sensor DHT22, dan Aplikasi *Monitoring*. Arduino IDE juga menyediakan fitur *Serial Monitor* yang untuk proses *debugging* dan verifikasi *output* data sensor selama tahap pengujian.

BAB II

LANDASAN TEORI

A. KAJIAN TEORI

Penelitian ini berlandaskan pada sejumlah teori dan konsep penting yang menjadi dasar dalam penerapan sistem *monitoring* kelembapan ruang muat pada kapal curah. Kajian teori berfungsi sebagai pijakan ilmiah yang memberikan arah dan landasan konseptual bagi penelitian ini, sehingga pemahaman terhadap mekanisme pemantauan kondisi lingkungan ruang muat dapat diperoleh secara lebih mendalam. Pada subbab ini, berbagai teori dan prinsip dasar yang berkaitan dengan karakteristik kapal curah, ruang muat kapal, kelembapan udara, fenomena kondensasi, sistem *monitoring*, sensor kelembapan, serta penerapan teknologi *Internet of Things* (IoT) dibahas secara sistematis. Pembahasan ini mencakup literatur yang relevan mengenai konsep pengukuran lingkungan, sistem pemantauan berbasis sensor, serta pemanfaatan teknologi digital dalam mendukung kesiapan ruang muat kapal. Dengan memahami teori-teori tersebut secara komprehensif, penelitian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi ilmiah dalam penerapan teknologi *monitoring* kelembapan ruang muat yang lebih efektif serta mendukung peningkatan efisiensi waktu pemuatan pada kapal curah.

1. Kapal Curah (*Bulk Carrier*)

Kapal curah (*bulk carrier*) merupakan jenis kapal niaga yang dirancang khusus untuk mengangkut muatan curah kering tanpa kemasan, seperti biji-bijian, batu bara, pupuk, semen, dan mineral lainnya (Stopford & Kopacz, 2020). Kapal ini memiliki karakteristik utama berupa ruang muat (palka) berukuran besar, struktur palka yang terbuka, serta sistem bongkar muat yang mengandalkan peralatan darat maupun *ship's gear*. Desain kapal curah difokuskan pada efisiensi pengangkutan muatan dalam jumlah besar dengan biaya operasional yang relatif rendah. Muatan curah kering umumnya memiliki sifat fisik yang sensitif terhadap kondisi lingkungan, khususnya suhu dan

Kelembapan udara. Banyak jenis muatan curah bersifat higroskopis, yaitu mudah menyerap uap air dari udara di sekitarnya, sehingga dapat mengalami penurunan mutu apabila terpapar kondisi kelembapan tinggi dalam jangka waktu tertentu (Wang et al., 2021). Oleh karena itu, pengendalian kondisi lingkungan di dalam ruang muat menjadi aspek penting dalam pengoperasian kapal curah.

Menurut *International Maritime Organization* (IMO), ruang muat kapal curah harus dijaga dalam kondisi bersih, kering, dan bebas dari sisa muatan sebelumnya untuk menjamin keselamatan muatan dan mencegah kerusakan selama proses pemuatan maupun pelayaran (*International Maritime Organization*, 2022). Selain itu, ketidak siapan ruang muat dapat menyebabkan keterlambatan pemuatan akibat penolakan palka oleh *surveyor* atau pihak terminal. Dengan demikian, pemahaman mengenai karakteristik kapal curah dan muatannya menjadi dasar penting dalam pengembangan sistem *monitoring* kelembapan ruang muat. Sistem *monitoring* yang baik diharapkan mampu mendukung kesiapan ruang muat kapal curah serta meningkatkan efisiensi dan keselamatan proses pemuatan.

2. SOLAS (*Safety of Life at Sea*) *Convention*

a. Pengertian dan Sejarah SOLAS

Safety of Life at Sea (SOLAS) *Convention* merupakan perjanjian internasional di bidang keselamatan maritim yang diterbitkan oleh *International Maritime Organization* (IMO) dan dianggap sebagai instrumen regulasi keselamatan kapal paling penting di dunia. Konvensi ini pertama kali diadopsi pada tahun 1914 sebagai respons atas tragedi tenggelamnya kapal RMS Titanic pada tahun 1912. Setelah mengalami beberapa kali revisi, versi SOLAS yang berlaku saat ini adalah SOLAS 1974 beserta protokol dan amandemennya yang terus diperbarui secara berkala oleh IMO melalui sidang *Maritime Safety Committee* (MSC).

Menurut IMO (2020), SOLAS Convention menetapkan standar minimum konstruksi, peralatan, dan operasi kapal yang harus dipenuhi oleh seluruh negara anggota sebagai bagian dari kewajiban hukum internasional. Konvensi ini mengikat seluruh kapal yang berbendera negara penandatangan dan berlaku pada kapal yang melakukan pelayaran internasional. Dalam konteks Indonesia, SOLAS telah diratifikasi dan menjadi acuan utama dalam peraturan keselamatan pelayaran nasional yang diterbitkan oleh Kementerian Perhubungan Republik Indonesia.

b. SOLAS *Chapter* VI dan Relevansinya terhadap Ruang Muat

SOLAS *Chapter* VI secara khusus mengatur tentang *Carriage of Cargoes and Oil Fuels*, yang mencakup ketentuan umum mengenai penanganan dan pengamanan muatan di atas kapal. *Chapter* ini terdiri dari beberapa bagian yang mencakup persyaratan informasi muatan, prosedur pemuatan, serta kewajiban pengendalian kondisi ruang muat. Menurut SOLAS *Chapter* VI *Regulation* 2 (2020 *Amendment*), sebelum proses pemuatan dilakukan, nakhoda kapal wajib mendapatkan informasi lengkap mengenai karakteristik fisik dan kimia muatan yang akan diangkut, termasuk sifat higroskopis, berat jenis, sudut istirahat (*angle of repose*), serta potensi bahaya yang dapat ditimbulkan oleh muatan tersebut.

Lebih lanjut, SOLAS *Chapter* VI *Regulation* 5 (2020 Amendment) menegaskan bahwa kapal wajib memastikan kondisi ruang muat sesuai dengan karakteristik dan persyaratan muatan yang diangkut. Ketentuan ini secara langsung relevan dengan penelitian ini, karena kondisi kelembapan ruang muat merupakan salah satu parameter lingkungan yang harus dikendalikan untuk menjamin kesesuaian ruang muat dengan karakteristik batu bara sebagai muatan curah. Kegagalan dalam memenuhi ketentuan ini dapat berakibat pada kerusakan muatan, penurunan kualitas fisik muatan, bahkan potensi bahaya keselamatan kapal dan awak akibat pembentukan gas berbahaya di dalam palka.

Dalam konteks penerapan sistem *monitoring* berbasis IoT, SOLAS *Chapter* VI memberikan landasan regulasi yang kuat bagi penggunaan teknologi pemantauan kondisi ruang muat secara otomatis dan berkelanjutan. Data kelembapan yang diperoleh secara *real-time* melalui sistem IoT memungkinkan perwira kapal untuk memenuhi kewajiban pemantauan kondisi ruang muat sebagaimana diamanatkan oleh SOLAS, sekaligus menyediakan dokumentasi yang dapat dipertanggungjawabkan apabila terjadi klaim kerusakan muatan.

3. IMSBC Code (*International Maritime Solid Bulk Cargoes Code*)

a. Pengertian dan Dasar Hukum IMSBC *Code*

International Maritime Solid Bulk Cargoes (IMSBC) *Code* merupakan kode internasional yang diterbitkan oleh IMO dan bersifat wajib (*mandatory*) sejak 1 Januari 2011 berdasarkan SOLAS Chapter VI. IMSBC *Code* mengatur secara komprehensif tentang penanganan, pengamanan, dan pengangkutan muatan curah padat (*solid bulk cargoes*) di atas kapal, termasuk persyaratan teknis terkait kondisi ruang muat, prosedur pengujian muatan, serta penanganan muatan yang memiliki karakteristik khusus.

Menurut IMO (2020), IMSBC *Code* mendefinisikan muatan curah padat sebagai muatan yang terdiri dari agregat partikel, butiran, atau potongan bahan yang umumnya seragam dalam komposisi, dimuat langsung ke dalam ruang muat kapal tanpa wadah perantara. Kode ini mengklasifikasikan muatan curah padat ke dalam tiga kelompok utama, yaitu: Kelompok A (*Group A*) yang mencakup muatan yang dapat mengalami likuefaksi, Kelompok B (*Group B*) yang mencakup muatan dengan bahaya kimia khusus, dan Kelompok C (*Group C*) yang mencakup muatan yang tidak termasuk dalam Kelompok A maupun B. Batu bara, sebagai muatan yang diangkut oleh MV. EVRYDIKI, diklasifikasikan ke dalam Kelompok B karena memiliki potensi menghasilkan gas metana (CH_4) dan karbon monoksida (CO) yang bersifat mudah terbakar dan beracun.

b. Persyaratan Pengelolaan Atmosfer Ruang Muat

IMSBC *Code* (2020) secara tegas menetapkan bahwa pengelolaan atmosfer ruang muat merupakan tanggung jawab perwira kapal sebelum dan selama proses pemuatan berlangsung. Dalam kaitannya dengan muatan higroskopis, IMSBC *Code* menekankan pentingnya pengendalian kelembapan relatif di dalam palka untuk mencegah terjadinya kondensasi atau *ship's sweat* dan *cargo sweat*. Fenomena kondensasi ini terjadi ketika suhu permukaan palka atau muatan berada di bawah titik embun (*dew point*) udara di dalam ruang muat, sehingga uap air mengembun dan mengendap pada permukaan muatan maupun struktur palka.

Menurut IMSBC *Code Section* 9 (2020), muatan curah kering yang bersifat higroskopis—seperti batu bara dengan kandungan kelembapan tinggi—dapat mengalami degradasi kualitas akibat penyerapan kelembapan dari udara sekitar. Proses ini dapat menyebabkan penggumpalan muatan (*caking*), penurunan nilai kalori pada batu bara, serta peningkatan berat muatan yang berpotensi menimbulkan masalah stabilitas kapal. Oleh karena itu, IMSBC *Code* mewajibkan perwira kapal untuk memantau kondisi kelembapan ruang muat secara berkala dan mengambil tindakan pengendalian yang diperlukan, seperti pengoperasian sistem ventilasi palka.

Relevansi IMSBC *Code* dalam penelitian ini sangat signifikan karena kode ini memberikan landasan ilmiah dan regulasi bagi penggunaan sistem monitoring kelembapan di ruang muat. Sistem *monitoring* berbasis IoT yang dirancang dalam penelitian ini secara langsung mendukung pemenuhan kewajiban perwira kapal sebagaimana ditetapkan oleh IMSBC *Code*, yaitu menyediakan data kondisi atmosfer ruang muat secara akurat, berkelanjutan, dan dapat diverifikasi.

4. IMDG *Code* (*International Maritime Dangerous Goods Code*)

a. Pengertian dan Sejarah IMDG Code

International Maritime Dangerous Goods (IMDG) Code merupakan kode internasional yang diterbitkan oleh IMO dan mengatur secara komprehensif tentang penanganan, pengemasan, pelabelan, penyimpanan, dan pengangkutan barang berbahaya melalui jalur laut. IMDG *Code* pertama kali diadopsi oleh IMO pada tahun 1965 dan telah mengalami pembaruan secara berkala setiap dua tahun sekali. Versi terbaru yang berlaku adalah IMDG *Code Amendment* 41-22 yang mulai berlaku secara wajib (*mandatory*) sejak 1 Januari 2023 berdasarkan Resolusi MSC.501(105).

Menurut IMO (2022), IMDG *Code* bersifat wajib bagi seluruh kapal yang mengangkut barang berbahaya dalam pelayaran internasional dan merupakan implementasi dari Rekomendasi PBB tentang Pengangkutan Barang Berbahaya (*UN Recommendations on the Transport of Dangerous Goods*) yang disesuaikan dengan kondisi khusus pengangkutan melalui jalur laut. Kode ini mengklasifikasikan barang berbahaya ke dalam sembilan kelas utama berdasarkan karakteristik bahaya yang dimilikinya, mulai dari bahan peledak (Kelas 1) hingga bahan berbahaya dan beracun lainnya (Kelas 9).

b. Klasifikasi Muatan dan Relevansi terhadap Batu Bara

Meskipun batu bara secara umum diatur dalam IMSBC *Code* sebagai muatan curah padat, IMDG *Code* tetap memiliki relevansi dalam konteks penelitian ini karena batu bara tertentu dapat menghasilkan gas berbahaya yang berkaitan dengan ketentuan IMDG *Code*. Batu bara yang memiliki kandungan volatil tinggi dapat menghasilkan gas metana (CH_4) yang termasuk dalam Kelas 2.1 IMDG *Code* (*Flammable Gases*) serta karbon monoksida (CO) yang termasuk dalam Kelas 2.3 (*Toxic Gases*). Pembentukan gas-gas berbahaya ini terjadi melalui proses oksidasi spontan batu bara (*spontaneous oxidation*) yang dipercepat oleh kondisi kelembapan dan suhu yang tidak terkendali di dalam palka.

Menurut IMDG *Code* Chapter 7.3 (Amendment 41-22), kapal yang mengangkut muatan dengan potensi menghasilkan gas berbahaya diwajibkan untuk melakukan pemantauan atmosfer ruang muat secara berkala menggunakan peralatan pengukur yang terkalibrasi. Ketentuan ini mencakup pengukuran konsentrasi gas berbahaya, suhu, serta kelembapan relatif di dalam ruang muat. Selain itu, IMDG *Code* juga menetapkan persyaratan ventilasi ruang muat yang bertujuan untuk menjaga konsentrasi gas berbahaya di bawah batas aman (*Lower Explosive*

Limit/LEL) serta menjaga kondisi atmosfer ruang muat dalam parameter yang aman bagi keselamatan kapal dan muatan.

c. Implikasi IMDG *Code* terhadap Sistem *Monitoring* IoT

Ketentuan IMDG *Code* terkait pemantauan atmosfer ruang muat secara langsung memperkuat urgensi pengembangan sistem monitoring berbasis IoT dalam penelitian ini. Sistem *monitoring* yang mampu mengukur parameter kelembapan secara *real-time* tidak hanya mendukung pengendalian kualitas muatan, tetapi juga berperan sebagai sistem deteksi dini terhadap kondisi lingkungan ruang muat yang berpotensi memicu pembentukan gas berbahaya. Dengan mengintegrasikan data kelembapan ke dalam sistem pemantauan terpadu, perwira kapal dapat mengambil tindakan preventif—seperti pengaktifan sistem ventilasi atau penghentian sementara pemuatan—sebelum kondisi atmosfer ruang muat mencapai tingkat yang membahayakan, sebagaimana disyaratkan oleh IMDG *Code* Chapter 7.3.

5. STCW (*Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers*)

a. Pengertian dan Sejarah STCW

Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers (STCW) *Convention* merupakan perjanjian internasional yang diadopsi oleh IMO pada tahun 1978 dan mulai berlaku pada tahun 1984. Konvensi ini menetapkan standar minimum pelatihan, sertifikasi, dan tugas jaga bagi pelaut yang bekerja pada kapal yang melakukan pelayaran internasional. STCW *Convention* mengalami amandemen besar pada tahun 1995 dan kemudian diperbarui secara signifikan melalui *Manila Amendments* pada tahun 2010, yang memperkenalkan persyaratan pelatihan baru terkait keselamatan, kesehatan, dan kompetensi teknis pelaut di era modern.

Menurut IMO (2010), Manila Amendments 2010 merupakan revisi paling komprehensif terhadap STCW *Convention* sejak amandemen 1995, yang mencakup penguatan persyaratan kompetensi, penambahan ketentuan terkait keamanan (*security*), serta pengenalan standar baru untuk pelatihan pelaut dalam menghadapi tantangan teknologi maritim modern. Dalam konteks Indonesia, STCW telah diimplementasikan melalui Peraturan Menteri Perhubungan yang mengatur persyaratan sertifikasi dan kompetensi pelaut Indonesia sesuai dengan standar internasional.

b. Kompetensi Perwira Dek dalam Penanganan Muatan

STCW *Code*, khususnya pada Table A-II/1 dan Table A-II/2, menetapkan kompetensi minimum yang harus dimiliki oleh perwira dek (*deck officer*) pada tingkat operasional maupun manajemen dalam kaitannya dengan penanganan dan pengamanan muatan. Table A-II/1 mengatur kompetensi perwira jaga navigasi (*officer in charge of navigational watch*) yang mencakup kemampuan memantau kondisi ruang muat, mengidentifikasi potensi bahaya yang berkaitan dengan karakteristik muatan, serta mengambil tindakan pencegahan yang tepat. Sementara itu, Table A-II/2 mengatur kompetensi nakhoda (*master*) dan perwira pertama (*chief officer*) yang mencakup kemampuan merencanakan dan memastikan pemuatan, penempatan, pengamanan, pemeliharaan, dan pembongkaran muatan secara aman.

Menurut STCW *Code* Table A-II/2 (2010, Manila Amendments), perwira kapal tingkat manajemen diwajibkan memiliki kompetensi dalam hal pemantauan dan pengendalian kepatuhan terhadap persyaratan legislatif serta memastikan keselamatan awak kapal dan perlindungan lingkungan laut. Dalam konteks pengelolaan ruang muat, kompetensi ini mencakup kemampuan menginterpretasikan data kondisi ruang muat—termasuk parameter kelembapan—sebagai bagian dari tanggung jawab pengawasan dan pengambilan keputusan operasional.

c. STCW dan Penerapan Teknologi dalam Kompetensi Pelaut

Perkembangan teknologi maritim yang pesat telah mendorong IMO untuk mengintegrasikan persyaratan kompetensi terkait teknologi modern ke dalam STCW *Convention*. Revisi STCW yang sedang berlangsung dalam konteks *Maritime Autonomous Surface Ships* (MASS) dan digitalisasi pelayaran menekankan pentingnya kemampuan pelaut dalam mengoperasikan dan menginterpretasikan data dari sistem teknologi modern, termasuk sistem *monitoring* berbasis sensor dan IoT.

Dalam konteks penelitian ini, sistem monitoring kelembapan berbasis IoT yang dirancang pada MV. EVRYDIKI secara langsung mendukung perwira kapal dalam memenuhi standar kompetensi STCW, khususnya dalam hal pemantauan kondisi ruang muat. Sistem ini menyediakan antarmuka data yang mudah diinterpretasikan, sehingga perwira dapat mengambil keputusan operasional yang tepat dan terdokumentasi dengan baik sesuai dengan tuntutan kompetensi STCW Table A-II/1 dan A-II/2. Dengan kata lain, penerapan teknologi IoT dalam *monitoring* ruang muat tidak hanya meningkatkan efisiensi operasional, tetapi juga

berperan sebagai sarana pendukung pemenuhan standar kompetensi internasional yang ditetapkan oleh STCW *Convention*.

6. Ruang Muat Kapal Curah

Ruang muat kapal curah (*cargo hold*) merupakan bagian kapal yang berfungsi sebagai tempat penyimpanan muatan selama proses pemuatan, pelayaran, dan pembongkaran (*International Maritime Organization, Chapter* 1-2). Ruang muat pada kapal curah dirancang dengan volume besar, struktur yang kuat, serta bentuk yang disesuaikan dengan karakteristik muatan curah kering agar proses bongkar muat dapat berlangsung secara efisien (Stopford & Kopacz, 2020). Kondisi ruang muat menjadi faktor krusial karena secara langsung memengaruhi kualitas muatan dan kelancaran operasional kapal.

Menurut *International Maritime Organization* (IMO), ruang muat kapal curah wajib memenuhi sejumlah persyaratan sebelum pemuatan dilakukan, antara lain dalam kondisi bersih, kering, bebas bau, tidak mengandung sisa muatan sebelumnya, serta tidak mengalami kebocoran pada dinding maupun penutup palka (*International Maritime Organization*, 2022). Persyaratan ini bertujuan untuk mencegah kontaminasi dan kerusakan muatan selama pelayaran. Kondisi lingkungan di dalam ruang muat, khususnya kelembapan udara dan suhu, memiliki pengaruh signifikan terhadap mutu muatan curah kering. Kelembapan yang tinggi dapat menyebabkan muatan menyerap uap air, mengalami penggumpalan, penurunan kualitas, bahkan berpotensi menimbulkan klaim muatan (*cargo claim*) (Wang et al., 2021).

Selain itu, kondisi ruang muat yang tidak memenuhi standar sering kali menyebabkan penolakan palka oleh surveyor, yang berdampak pada keterlambatan waktu pemuatan kapal (Kim et al., 2020). Oleh karena itu, pemantauan kondisi ruang muat secara berkala menjadi kebutuhan penting dalam pengoperasian kapal curah. Penerapan sistem *monitoring* lingkungan ruang muat, khususnya kelembapan udara, diharapkan dapat membantu awak kapal dalam memastikan kesiapan ruang muat sebelum pemuatan dan mendukung efisiensi operasional kapal.

7. Kelembapan Udara

Dalam Kelembapan udara merupakan salah satu parameter lingkungan yang menunjukkan kandungan uap air di dalam udara. Menurut *World*

Meteorological Organization (2021), kelembapan udara menggambarkan jumlah uap air yang terdapat di atmosfer yang dapat dinyatakan dalam berbagai bentuk seperti kelembapan relatif dan absolut. Selain itu, Çengel dan Ghajar (2020) menyatakan bahwa kelembapan udara merupakan ukuran jumlah uap air dalam campuran udara yang berperan penting dalam proses kondensasi dan perpindahan panas. Kelembapan udara umumnya dinyatakan dalam bentuk kelembapan relatif (*relative humidity*), yaitu perbandingan antara jumlah uap air yang terkandung di udara dengan jumlah maksimum uap air yang dapat ditampung pada suhu tertentu, yang dinyatakan dalam persentase (*World Meteorological Organization*, 2021).

Muatan seperti biji-bijian, pupuk, dan semen pada umumnya bersifat higroskopis, sehingga mudah menyerap uap air apabila terpapar kelembapan udara yang tinggi dalam jangka waktu tertentu (Wang et al., 2021). Penyerapan uap air tersebut dapat menyebabkan perubahan berat muatan, penggumpalan, penurunan kualitas, serta meningkatkan risiko kerusakan muatan selama proses pemuatan maupun pelayaran. Selain berdampak pada muatan, kelembapan udara yang tinggi juga berpotensi memicu terjadinya kondensasi pada permukaan dinding dan atap ruang muat. Kondisi ini dapat menyebabkan air menetes ke muatan dan memperparah risiko kerusakan (Zhang et al., 2019). Oleh karena itu, pemantauan tingkat kelembapan udara di dalam ruang muat menjadi langkah preventif yang penting dalam pengelolaan muatan kapal curah. Dengan adanya sistem *monitoring* kelembapan udara yang akurat, awak kapal dapat memperoleh informasi kondisi lingkungan ruang muat secara *real-time*. Informasi ini dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan terkait kesiapan ruang muat serta pengaturan ventilasi guna mendukung kelancaran dan efisiensi proses pemuatan kapal.

8. Kondensasi (*Sweating*) Pada Ruang Muat

Kondensasi atau *sweating* merupakan fenomena fisika yang terjadi ketika uap air di udara berubah menjadi bentuk cair akibat perbedaan suhu antara udara dan permukaan benda. *Menurut Incropera* dkk. (2020), proses ini terjadi ketika suhu permukaan berada di bawah titik embun (*dew point*) udara di sekitarnya, sehingga uap air mengalami perubahan fase menjadi cair. Kondensasi terjadi apabila udara lembap bersentuhan dengan permukaan yang

memiliki suhu lebih rendah dari titik embun (*dew point*), sehingga uap air mengembun dan membentuk tetesan air (Zhang et al., 2019). Fenomena ini sering dijumpai pada ruang muat kapal curah yang beroperasi di wilayah dengan perbedaan suhu dan kelembapan yang signifikan.

Menurut *Stopford* dan *Kopacz* (2020), dalam pengoperasian kapal curah, kondensasi pada ruang muat dapat terjadi akibat perbedaan suhu antara udara luar dan struktur kapal, seperti dinding dan atap palka. Udara hangat dan lembap yang masuk ke dalam ruang muat akan mengalami pendinginan ketika bersentuhan dengan permukaan palka yang lebih dingin, sehingga memicu terbentuknya tetesan air pada permukaan tersebut (Stopford & Kopacz, 2020). Tetesan air hasil kondensasi dapat menetes langsung ke muatan dan menyebabkan kerusakan, terutama pada muatan curah kering yang bersifat higroskopis. Kondensasi di dalam ruang muat merupakan salah satu penyebab utama kerusakan muatan selama proses pemuatan dan pelayaran, serta sering menjadi dasar terjadinya klaim muatan (*cargo claim*) (Wang et al., 2021). Oleh karena itu, pengendalian kondisi lingkungan ruang muat, khususnya suhu dan kelembapan udara, menjadi aspek penting dalam pencegahan terjadinya kondensasi. Pemantauan kelembapan udara secara kontinu melalui sistem *monitoring* memungkinkan awak kapal untuk mengantisipasi risiko kondensasi sejak dini. Dengan informasi yang akurat mengenai kondisi lingkungan ruang muat, tindakan preventif seperti pengaturan ventilasi dapat dilakukan untuk meminimalkan dampak kondensasi dan menjaga kualitas muatan.

9. Sistem Monitoring

Menurut Kurniawan dkk. (2021, halaman 468–480), sistem *monitoring* merupakan suatu sistem yang dirancang untuk melakukan pemantauan, pencatatan, dan penyajian informasi mengenai kondisi atau parameter tertentu secara berkala maupun *real-time*. Sistem ini bertujuan untuk memberikan informasi yang akurat sebagai dasar pengambilan keputusan dalam suatu proses operasional (Setyawan dkk., 2019). Secara umum, sistem monitoring terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu sensor sebagai alat pengindra, unit pemrosesan data, media komunikasi, serta antarmuka pengguna untuk menampilkan informasi hasil pemantauan.

Dalam bidang teknik dan industri, sistem *monitoring* digunakan untuk

mengawasi kondisi lingkungan, peralatan, maupun proses kerja agar tetap berada dalam batas yang diizinkan. Penerapan sistem *monitoring* memungkinkan deteksi dini terhadap kondisi abnormal, sehingga tindakan korektif dapat dilakukan sebelum terjadi gangguan yang lebih besar (Zhou dkk., 2020). Hal ini menjadikan sistem *monitoring* sebagai bagian penting dalam upaya peningkatan efisiensi dan keselamatan operasional. Menurut Setyawan dkk. (2019), dalam konteks operasional kapal, sistem *monitoring* memiliki peran strategis dalam memantau kondisi lingkungan dan sistem pendukung kapal, termasuk ruang muat.

Monitoring kondisi ruang muat secara manual memiliki keterbatasan, antara lain ketergantungan pada pengamatan visual dan waktu pemeriksaan yang tidak kontinu. Oleh karena itu, sistem *monitoring* berbasis sensor menjadi solusi yang lebih efektif untuk memperoleh data kondisi ruang muat secara berkelanjutan dan akurat (Xu dkk., 2018). Penerapan sistem *monitoring* pada ruang muat kapal curah memungkinkan awak kapal untuk mengetahui kondisi kelembapan udara secara *real-time*. Informasi ini dapat digunakan sebagai dasar dalam menilai kesiapan ruang muat sebelum pemuatan serta mendukung pengambilan keputusan operasional yang lebih cepat dan tepat guna meningkatkan efisiensi proses pemuatan kapal.

10. Sensor Kelembapan Udara

Sensor kelembapan udara merupakan perangkat pengindra (sensor) yang berfungsi untuk mendeteksi dan mengukur tingkat kelembapan udara dengan mengubah besaran fisis berupa kandungan uap air di udara menjadi sinyal listrik yang dapat diproses lebih lanjut (Zhao dkk., 2019, halaman 96–102). Sensor ini bekerja sebagai bagian dari sistem *monitoring* untuk menyediakan data lingkungan yang akurat dan berkelanjutan. Menurut Rahman dkk. (2023), berdasarkan prinsip kerjanya, sensor kelembapan udara dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis, antara lain sensor kapasitif, sensor resistif, dan sensor termal. Sensor kapasitif bekerja berdasarkan perubahan nilai kapasitansi akibat variasi kelembapan udara pada material dielektrik tertentu.

Sensor resistif memanfaatkan perubahan nilai hambatan listrik yang

terjadi akibat penyerapan uap air oleh material sensitif. Sementara itu, sensor termal mengukur perbedaan konduktivitas panas antara udara kering dan udara lembap (Chen dkk., 2020). Dalam aplikasi *monitoring* lingkungan, sensor kelembapan udara dipilih karena memiliki tingkat sensitivitas yang baik, ukuran yang relatif kecil, serta kemampuan untuk memberikan hasil pengukuran secara *real-time*. Sensor ini banyak digunakan pada sistem pengendalian lingkungan, industri, dan transportasi, termasuk pada sektor maritim (Rahman dkk., 2023). Pada penelitian ini, sensor kelembapan udara berperan sebagai komponen utama dalam sistem *monitoring* kondisi ruang muat kapal curah. Data hasil pengukuran sensor digunakan untuk mengetahui tingkat kelembapan udara di dalam ruang muat secara kontinu. Informasi tersebut menjadi dasar dalam menilai kesiapan ruang muat sebelum pemuatan serta mendukung upaya pencegahan terjadinya kondensasi yang dapat merugikan muatan.

11. Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) merupakan konsep teknologi yang memungkinkan berbagai perangkat fisik yang dilengkapi sensor, aktuator, dan sistem pemrosesan untuk saling terhubung melalui jaringan komunikasi guna mengumpulkan, mengirim, dan mengolah data secara otomatis tanpa memerlukan intervensi manusia secara langsung (Madakam et al., 2019). Konsep IoT berkembang seiring dengan kemajuan teknologi sensor, jaringan komunikasi, dan komputasi awan (cloud computing). Dalam sistem IoT, data yang diperoleh dari sensor dikirimkan melalui jaringan komunikasi ke server atau platform pemrosesan untuk dianalisis dan ditampilkan dalam bentuk informasi yang mudah dipahami oleh pengguna. Teknologi IoT memungkinkan pemantauan kondisi secara real-time, penyimpanan data historis, serta pengambilan keputusan berbasis data (data-driven decision making) (Xu et al., 2018).

Penerapan IoT telah banyak digunakan dalam berbagai sektor, seperti industri, pertanian, kesehatan, dan transportasi. Dalam bidang maritim, teknologi IoT dimanfaatkan untuk monitoring kondisi kapal, sistem mesin, lingkungan laut, serta kondisi ruang muat. Penggunaan IoT dalam sistem monitoring kapal memungkinkan peningkatan efisiensi operasional, keselamatan, dan keandalan sistem (Lee et al., 2022). Pada penelitian ini, teknologi IoT digunakan sebagai

sarana untuk mengintegrasikan sensor kelembapan udara dengan sistem komunikasi data. Penerapan IoT memungkinkan data kelembapan ruang muat kapal curah diakses secara real-time oleh awak kapal atau pihak terkait. Dengan adanya sistem monitoring berbasis IoT, informasi kondisi ruang muat dapat diperoleh secara cepat dan akurat, sehingga mendukung pengambilan keputusan operasional dalam meningkatkan kesiapan ruang muat dan efisiensi waktu pemuatan kapal.

12. Monitoring Kelembapan Ruang Muat Internet of Things (IoT)

Monitoring kelembapan ruang muat berbasis *Internet of Things* (IoT) merupakan suatu sistem pemantauan kondisi lingkungan ruang muat kapal yang mengintegrasikan sensor kelembapan udara, unit pemrosesan data, serta teknologi komunikasi jaringan untuk menghasilkan informasi kondisi secara *real-time*. Sistem ini dirancang untuk menggantikan metode pemantauan manual yang memiliki keterbatasan dalam hal kontinuitas dan akurasi data (Xu et al., 2018, halaman 1-10).

Dalam sistem *monitoring* berbasis IoT, sensor kelembapan udara berfungsi sebagai alat pengindra yang mendeteksi tingkat kelembapan di dalam ruang muat. Data hasil pengukuran kemudian dikirimkan melalui jaringan komunikasi ke server atau platform pemantauan untuk diolah dan ditampilkan dalam bentuk informasi yang mudah dipahami oleh pengguna (Rahman et al., 2023). Informasi tersebut dapat diakses secara langsung oleh awak kapal sebagai dasar dalam pengambilan keputusan operasional.

Penerapan *monitoring* kelembapan ruang muat berbasis IoT memberikan sejumlah keuntungan, antara lain kemampuan pemantauan secara kontinu, penyimpanan data historis, serta kemudahan dalam analisis tren kelembapan ruang muat. Dengan sistem ini, potensi terjadinya kondisi kelembapan tinggi yang dapat memicu kondensasi dan kerusakan muatan dapat dideteksi sejak dini (Wang et al., 2021). Dalam konteks operasional kapal curah, sistem *monitoring* kelembapan ruang muat berbasis IoT diharapkan mampu mendukung kesiapan ruang muat sebelum pemuatan serta meningkatkan efisiensi waktu pemuatan. Informasi kondisi ruang muat yang akurat dan *real-time* memungkinkan awak kapal melakukan tindakan preventif yang tepat guna menjaga kualitas muatan dan kelancaran proses pemuatan kapal.

13. Kesiapan Ruang Muat Kapal Curah

Kesiapan ruang muat kapal curah merupakan kondisi di mana ruang muat telah memenuhi seluruh persyaratan teknis, operasional, dan lingkungan sebelum proses pemuatan dilakukan. Kesiapan ini mencakup kondisi fisik ruang muat yang bersih, kering, bebas bau, tidak mengandung sisa muatan sebelumnya, serta tidak mengalami kebocoran pada struktur palka dan penutup palka (*International Maritime Organization*, 2022). Kesiapan ruang muat menjadi faktor penting dalam menjamin keselamatan muatan dan kelancaran proses pemuatan kapal.

Penilaian kesiapan ruang muat biasanya dilakukan melalui inspeksi ruang muat (*cargo hold inspection*) oleh awak kapal, *surveyor*, atau pihak terminal. Inspeksi ini bertujuan untuk memastikan bahwa ruang muat telah memenuhi standar yang dipersyaratkan oleh pemilik muatan dan regulasi internasional. Ruang muat yang tidak siap dapat menyebabkan penolakan palka, keterlambatan pemuatan, serta potensi terjadinya klaim muatan (*cargo claim*) (Kim et al., 2020).

Selain kondisi fisik, faktor lingkungan seperti kelembapan udara di dalam ruang muat juga menjadi indikator penting dalam menilai kesiapan ruang muat kapal curah. Tingkat kelembapan yang tinggi dapat meningkatkan risiko kondensasi dan kerusakan muatan, sehingga perlu dikendalikan sebelum pemuatan dilakukan (Wang et al., 2021). Penerapan sistem *monitoring* kelembapan ruang muat berbasis IoT memungkinkan penilaian kesiapan ruang muat dilakukan secara lebih objektif dan akurat. Data kelembapan yang diperoleh secara *real-time* dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan terkait kelayakan ruang muat untuk pemuatan, sehingga mendukung efisiensi waktu pemuatan dan meminimalkan risiko kerusakan muatan.

14. Efisiensi Waktu Pemuatan Kapal Curah

Menurut *International Maritime Organization* dalam *Code of Safe Practice for Cargo Stowage and Securing* (2021, halaman. 1–3), efisiensi proses pemuatan kapal dipengaruhi oleh kesiapan ruang muat, ketepatan prosedur operasional, serta pengawasan kondisi muatan selama kegiatan bongkar muat berlangsung. Proses pemuatan yang efisien dapat mengurangi waktu tunggu kapal

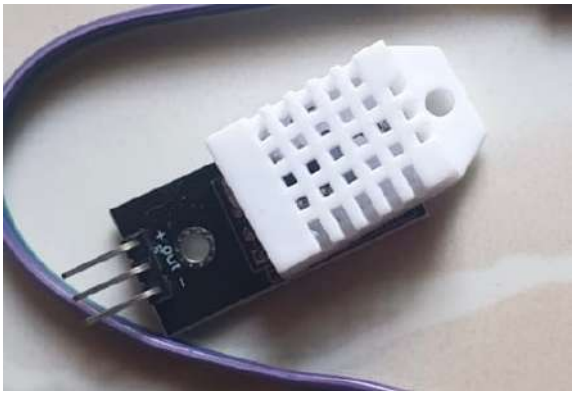
di pelabuhan dan meningkatkan produktivitas operasional kapal secara keseluruhan. Proses pemuatan kapal curah dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain kesiapan ruang muat, kondisi lingkungan, ketersediaan peralatan bongkar muat, serta koordinasi antara awak kapal dan pihak terminal. Ruang muat yang tidak siap, khususnya akibat kondisi kelembapan yang tidak terkendali, dapat menyebabkan penundaan pemuatan karena diperlukan tindakan tambahan seperti pengeringan ruang muat atau penundaan waktu pemuatan hingga kondisi lingkungan memenuhi persyaratan (Kim et al., 2020).

Kelembapan udara yang tinggi di dalam ruang muat dapat memicu terjadinya kondensasi dan meningkatkan risiko kerusakan muatan. Kondisi ini sering kali menjadi penyebab utama keterlambatan pemuatan akibat penolakan palka oleh *surveyor* atau pihak pemilik muatan (Wang et al., 2021). Oleh karena itu, pemantauan kelembapan udara menjadi salah satu upaya strategis dalam meningkatkan efisiensi waktu pemuatan kapal curah. Penerapan sistem *monitoring* kelembapan ruang muat berbasis IoT memungkinkan awak kapal memperoleh informasi kondisi ruang muat secara *real-time*. Informasi ini dapat digunakan untuk memastikan kesiapan ruang muat sebelum pemuatan dilakukan, sehingga proses pemuatan dapat berlangsung lebih cepat, terencana, dan efisien tanpa mengorbankan kualitas dan keselamatan muatan.

15. Digital Humadity and Temperature Sensor 22 (DHT)

Sensor DHT22 merupakan sensor digital yang digunakan untuk mengukur suhu dan kelembaban udara dalam satu modul sensor. Sensor ini banyak diterapkan pada sistem *monitoring* berbasis *Internet of Things* (IoT) karena memiliki tingkat akurasi dan kestabilan pembacaan data yang cukup baik serta mudah diintegrasikan dengan berbagai *mikrokontroler*, seperti *Espressif Systems* ESP32. DHT22 bekerja dengan mendeteksi perubahan suhu dan kelembaban lingkungan menggunakan sensor kelembaban kapasitif dan *thermistor*, kemudian mengubah hasil pengukuran tersebut menjadi sinyal digital yang dapat diproses oleh *mikrokontroler*. Sensor ini memiliki rentang pengukuran suhu antara -40°C hingga 80°C dengan tingkat akurasi ±0,5°C, sedangkan rentang pengukuran kelembaban berada pada 0% hingga 100% RH dengan akurasi sekitar ±2% hingga ±5% RH. DHT22 beroperasi pada tegangan 3,3 *volt* hingga 6 *volt* DC dan menggunakan komunikasi *single-wire* digital i*nterface* sehingga proses integrasi

sistem menjadi lebih sederhana. Selain itu, sensor ini memiliki resolusi pembacaan sebesar 0,1°C dan 0,1% RH dengan waktu sampling sekitar dua detik setiap pembacaan data. Dengan karakteristik tersebut, sensor DHT22 dinilai sesuai untuk digunakan dalam sistem *monitoring* lingkungan, termasuk pemantauan kondisi atmosfer ruang muat kapal secara *real-time.*



Gambar 2.1
Modul Sensor DHT22

16. Mikrokontroler

a. Mikrokontroler ESP32

Mikrokontroler merupakan suatu sistem komputer berukuran kecil yang terintegrasi dalam satu chip dan digunakan untuk mengendalikan perangkat elektronik secara otomatis. Salah satu jenis *mikrokontroler* yang banyak digunakan dalam pengembangan sistem *Internet of Things* (IoT) adalah *Espressif Systems* ESP32. *Mikrokontroler* ini dilengkapi dengan fitur konektivitas *WiFi* 2.4 GHz dan *Bluetooth*, serta dikembangkan menggunakan teknologi fabrikasi 40 nm untuk meningkatkan efisiensi daya dan performa komunikasi radio. ESP32 dirancang agar memiliki tingkat keandalan, fleksibilitas, dan daya tahan yang baik sehingga sesuai digunakan pada berbagai aplikasi elektronik dan sistem *monitoring* berbasis IoT (Espressif Systems, 2019).

ESP32 diperkenalkan oleh *Espressif Systems* sebagai generasi penerus dari ESP8266 dengan berbagai peningkatan fitur dan performa. Dibandingkan pendahulunya, ESP32 memiliki kemampuan pemrosesan yang lebih baik, koneksi *Wi-Fi* yang lebih cepat, jumlah pin input/output (I/O) yang lebih banyak, serta dukungan konektivitas *Bluetooth* 4.2. Selain itu, konsumsi daya yang relatif rendah menjadikan *mikrokontroler* ini sangat cocok digunakan dalam pengembangan berbagai perangkat elektronik dan sistem *monitoring* berbasis *Internet of Things* (IoT).

Gambar 2.2



Bentuk Fisik ESP32.

b. Prinsip Kerja *Mikrokontroler*

Prinsip kerja *mikrokontroler* didasarkan pada program yang telah ditanamkan di dalam sistem untuk mengendalikan seluruh proses kerja perangkat elektronik secara otomatis. Dalam sistem *monitoring* ini, *mikrokontroler* memberikan perintah kepada sensor untuk melakukan pembacaan data suhu dan kelembaban lingkungan. Data hasil pembacaan sensor kemudian dikirim ke *mikrokontroler* untuk diproses sesuai program yang telah dirancang. Setelah proses pengolahan data selesai, hasilnya diteruskan ke perangkat keluaran (*output*) seperti aplikasi *monitoring* atau *buzzer* untuk menampilkan informasi dan memberikan peringatan kepada pengguna.

c. Fungsi *Mikrokontroler*

Fungsi utama *mikrokontroler* adalah sebagai pusat pengendali seluruh rangkaian sistem serta media penyimpanan program yang digunakan dalam proses *monitoring*. Pada penelitian ini, *mikrokontroler Espressif*

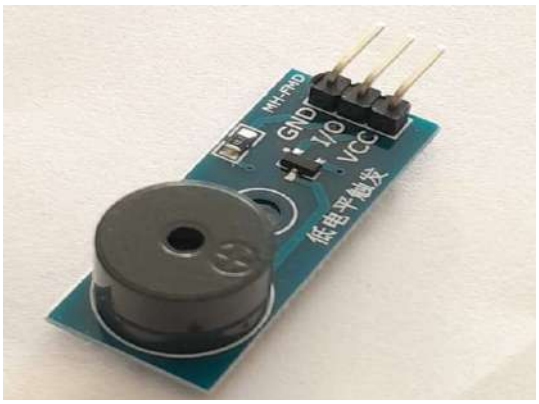
Systems ESP32 berfungsi untuk mengontrol proses pembacaan data suhu dan kelembaban dari sensor DHT22, mengolah data hasil pengukuran, serta mengirimkan informasi tersebut ke aplikasi *monitoring* berbasis *Internet of Things* (IoT). Selain itu, sistem juga dilengkapi dengan *buzzer* sebagai notifikasi peringatan apabila kondisi suhu dan kelembaban berada di luar batas yang telah ditentukan.

d. Pemograman *Mikrokontroler*

Proses pemrograman board *Espressif Systems* ESP32 dilakukan menggunakan perangkat lunak *Arduino Integrated Development Environment* (IDE). *Arduino* IDE merupakan *software* yang digunakan untuk menulis, mengedit, dan memeriksa kode program sebelum diunggah ke *mikrokontroler*. Selain berfungsi sebagai editor program, Arduino IDE juga menyediakan fitur untuk mengompilasi dan mengunggah kode secara langsung ke *board* ESP32 sehingga memudahkan proses pengembangan dan pengujian sistem *monitoring* berbasis IoT.

17. Buzzer

Pemograman *Mikrokontroler Buzzer* merupakan komponen elektronik yang berfungsi mengubah sinyal listrik menjadi gelombang suara. Prinsip kerja *buzzer* terjadi ketika arus listrik mengalir ke kumparan sehingga menghasilkan medan magnet yang berinteraksi dengan membran di dalam *buzzer*. Interaksi tersebut menyebabkan membran bergetar dan menghasilkan suara sebagai sinyal peringatan atau notifikasi. Pada sistem *monitoring* berbasis *Espressif Systems* ESP32, *buzzer* digunakan sebagai indikator suara untuk memberikan peringatan kepada pengguna ketika kondisi suhu dan kelembaban berada di luar batas standar yang telah ditentukan. Dengan adanya *buzzer* aktif yang terintegrasi dalam program *mikrokontroler*, pengguna dapat memperoleh notifikasi suara secara langsung sehingga proses *monitoring* kondisi lingkungan menjadi lebih interaktif dan memudahkan pengawasan secara *real-time*.



Gambar 2.3

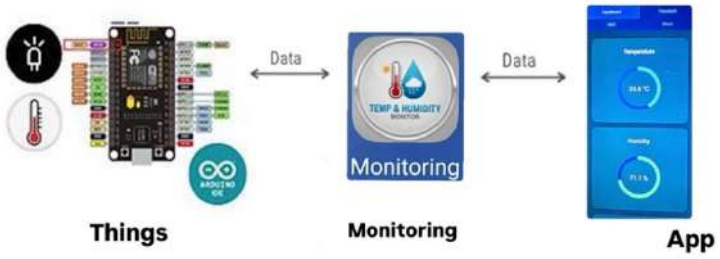
Buzzer.

18. Aplikasi Monitoring

Aplikasi *monitoring* merupakan bagian dari sistem *Internet of Things* (IoT) yang digunakan untuk menampilkan hasil pemantauan suhu dan kelembaban ruang muat kapal secara *real-time*. Aplikasi ini berfungsi sebagai antarmuka pengguna (*user interface*) yang menerima data dari *mikrokontroler Espressif Systems* ESP32 yang telah terhubung dengan sensor DHT22 melalui jaringan internet. Data yang dikirim meliputi informasi suhu udara, kelembaban relatif, serta kondisi peringatan apabila nilai pengukuran melebihi batas ambang (*threshold*) yang telah ditentukan.

Aplikasi *monitoring* dirancang agar memudahkan awak kapal dalam melakukan pengawasan kondisi atmosfer ruang muat tanpa harus melakukan pengecekan secara manual. Tampilan *dashboard* aplikasi menyajikan data *monitoring* dalam bentuk angka maupun indikator status sehingga informasi dapat dipahami dengan cepat dan mudah. Selain itu, aplikasi juga mendukung sistem notifikasi atau *alert* secara otomatis ketika terjadi perubahan suhu dan kelembaban yang berpotensi menyebabkan *cargo sweat* pada muatan kapal.

Dalam penelitian ini, aplikasi *monitoring* digunakan sebagai media pemantauan jarak jauh (*remote monitoring*) yang memungkinkan pengguna mengakses data kapan saja dan di mana saja selama perangkat terhubung dengan jaringan internet. Dengan adanya aplikasi *monitoring* berbasis IoT ini, proses pengawasan kondisi ruang muat menjadi lebih efektif, efisien, dan akurat sehingga dapat membantu meningkatkan keselamatan muatan serta mengurangi risiko kerusakan barang selama pelayaran.



Gambar 2.4

Aplikasi *Monitoring*.

B. PENELITIAN TERDAHULU

Dalam mendukung perancangan sistem *monitoring* kelembapan ruang muat kapal curah berbasis *Internet of Things* (IoT), diperlukan penelaahan terhadap penelitian-penelitian terdahulu yang relevan. Studi sebelumnya memberikan gambaran mengenai penerapan sensor kelembapan, sistem *monitoring* berbasis IoT, serta hasil implementasi teknologi tersebut dalam pemantauan kondisi lingkungan ruang tertutup. Melalui kajian ini, dapat diidentifikasi pendekatan yang telah berhasil diterapkan, sekaligus menjadi bahan pembanding dalam pengembangan sistem *monitoring* kelembapan ruang muat pada penelitian ini. Ringkasan penelitian terdahulu yang berkaitan disajikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1
PenelitianTerdahulu.

No	Judul Penelitian	Nama Penulis dan Tahun Terbitan	Hasil
1.	*Smart Environmental Monitoring System Using IoT*	Rahman, F., dkk. (2023)	Penelitian ini mengembangkan sistem *monitoring* lingkungan berbasis *Internet of Things* (IoT) yang mampu memantau kelembapan dan suhu secara *real-time*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem bekerja secara andal dan memberikan data lingkungan yang akurat, sehingga mendukung efisiensi operasional pada ruang tertutup.
2.	*Application of IoT-Based Monitoring System in Maritime Environment*	Lee, S., dkk. (2022)	Penelitian ini membahas penerapan sistem *monitoring* berbasis IoT pada lingkungan maritim. Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi sensor lingkungan dan jaringan komunikasi IoT mampu meningkatkan pengawasan kondisi operasional kapal secara *real-time* dan meningkatkan keselamatan operasional.
3.	*Humidity Monitoring for Cargo Safety in Maritime Transportation*	Wang, H., dkk. (2021)	Penelitian ini mengkaji pengaruh kelembapan ruang muat terhadap keselamatan muatan selama transportasi laut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemantauan kelembapan secara kontinu dapat mengurangi risiko kerusakan muatan

			serta mendukung kelancaran proses pemuatan kapal.
4.	*Real-Time Monitoring System to Improve Cargo Hold Readiness*	Kim, J., dkk. (2020)	Penelitian ini mengembangkan sistem *monitoring real-time* berbasis sensor untuk menilai kesiapan ruang muat kapal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem ini mampu mempercepat proses inspeksi ruang muat dan mengurangi waktu tunggu sebelum pemuatan dilakukan.
5.	*Environmental Monitoring Systems to Enhance Loading Efficiency*	Prasetyo, R., dkk. (2022)	Penelitian ini membahas pengaruh penerapan sistem *monitoring* lingkungan terhadap efisiensi waktu pemuatan kapal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketersediaan data lingkungan secara *real-time* berkontribusi pada peningkatan efisiensi dan perencanaan pemuatan.
6.	*Monitoring and Control of Humidity Using Digital Hygrometer*	Kartika, Y., dkk. (2024)	Penelitian ini menggunakan *hygrometer* digital untuk memantau dan mengendalikan kelembapan udara pada ruang tertutup. Hasil penelitian menunjukkan tingkat kesalahan pengukuran yang rendah setelah proses kalibrasi, sehingga *hygrometer* dinilai efektif sebagai alat *monitoring* kelembapan.

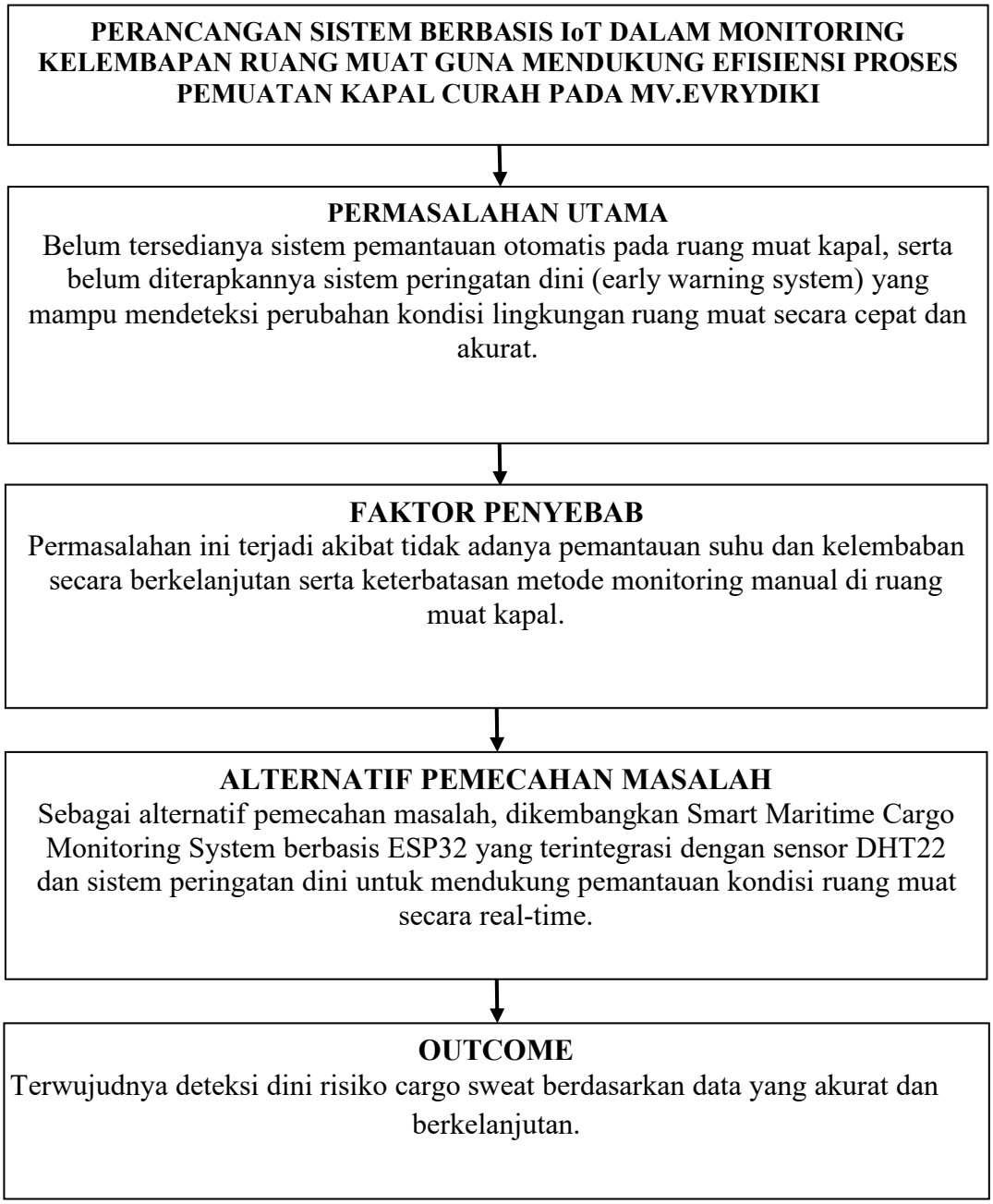
Berdasarkan beberapa penelitian terdahulu, dapat disimpulkan bahwa penerapan sistem *monitoring* berbasis teknologi, khususnya *Internet of Things* (IoT), memiliki peran yang sangat penting dalam meningkatkan efektivitas pemantauan kondisi lingkungan. Sistem *monitoring* berbasis teknologi, khususnya *Internet of Things* (IoT), memungkinkan pengukuran dan pengiriman data lingkungan secara *real-time* dengan tingkat akurasi yang tinggi. Menurut Bahga dan Madisetti (2020, hlm. 45–47), sistem IoT mampu mengintegrasikan sensor, jaringan komunikasi, dan platform data untuk melakukan pemantauan kondisi secara kontinu dan *real-time*. Selain itu, Zanella et al. (2020, hlm. 24–26) menyatakan bahwa penerapan sistem *monitoring* berbasis IoT dapat meningkatkan efisiensi operasional serta memungkinkan pengawasan kondisi lingkungan secara lebih cepat dan akurat dibandingkan metode konvensional. Selain itu, Wang et al. (2021) menegaskan bahwa *monitoring* kelembapan secara kontinu sangat penting dalam menjaga keselamatan muatan dan mengurangi risiko kerusakan selama proses transportasi laut. Penelitian Kim et al. (2020) juga menunjukkan bahwa sistem *monitoring real-time* dapat meningkatkan kesiapan ruang muat serta mempercepat proses inspeksi sebelum pemuatan dilakukan.

Selanjutnya, Prasetyo et al. (2022) menyimpulkan bahwa ketersediaan data lingkungan secara *real-time* berkontribusi terhadap peningkatan efisiensi waktu pemuatan kapal. Terakhir, Kartika et al. (2024) menunjukkan bahwa penggunaan *hygrometer* digital mampu memberikan hasil pengukuran kelembapan yang akurat dan efektif setelah dilakukan kalibrasi. Dengan demikian, secara keseluruhan penelitian terdahulu menunjukkan bahwa sistem *monitoring* berbasis IoT dan penggunaan *hygrometer* memiliki peran signifikan dalam meningkatkan efisiensi operasional, keselamatan muatan, serta akurasi pemantauan kondisi lingkungan, yang menjadi dasar penting bagi pengembangan penelitian ini.

C. KERANGKA PEMIKRIAN

Kerangka pemikiran pada penelitian ini disusun sebagai dasar konseptual untuk menjelaskan hubungan antara permasalahan operasional ruang muat kapal curah, kebutuhan pemantauan kelembapan, serta penerapan teknologi *hygrometer* berbasis *Internet of Things* (IoT) sebagai solusi yang diusulkan. Kerangka ini menggambarkan alur logika pengembangan sistem *monitoring* kelembapan ruang muat yang bertujuan untuk menyediakan informasi kondisi lingkungan secara real-

time. Dengan kerangka pemikiran yang tersusun secara sistematis, penelitian ini mampu menunjukkan keterkaitan antara pemanfaatan teknologi *monitoring*, peningkatan kesiapan ruang muat, serta kontribusinya terhadap efisiensi proses pemuatan kapal curah di MV. EVRYDIKI, sekaligus menjadi landasan dalam perancangan dan implementasi sistem yang dikembangkan.



Gambar 2.5
Kerangka Pemikiran

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang, mengembangkan, dan mengimplementasikan prototipe *Smart Maritime Cargo Monitoring System* berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan memanfaatkan mikrokontroler ESP32, sensor DHT22 dan Aplikasi *Monitoring Android Friendly* sebagai solusi pemantauan kondisi lingkungan ruang muat kapal curah MV. EVRYDIKI. Sistem yang dikembangkan mampu melakukan *monitoring* suhu dan kelembaban relatif secara otomatis dan *real-time*, sehingga dapat mengatasi keterbatasan metode inspeksi manual yang selama ini berisiko menimbulkan keterlambatan deteksi serta tidak mampu menyediakan informasi kondisi ruang muat secara berkelanjutan. Berdasarkan hasil pengujian, sistem menunjukkan kinerja yang baik dengan tingkat kesalahan rata-rata (*error rate*) sebesar 1,9%, yang berada jauh di bawah batas toleransi instrumentasi industri sebesar 5%, sehingga akurasi dan keandalan sensor DHT22 dapat dikonfirmasi. Selain itu, sistem juga terbukti mampu mendeteksi perubahan kondisi kelembaban baik pada kondisi operasional normal maupun pada simulasi anomali yang berpotensi menyebabkan *cargo sweat*. Dengan demikian, prototipe yang dikembangkan dapat mendukung pemantauan lingkungan ruang muat secara lebih efektif, akurat, dan berkesinambungan, serta meningkatkan upaya pencegahan dini terhadap risiko kerusakan muatan akibat perubahan kondisi lingkungan di dalam ruang muat kapal.

Mekanisme *early warning system* yang diterapkan pada prototipe terbukti berfungsi secara efektif melalui dua jalur peringatan secara simultan, yaitu buzzer akustik yang terpasang di area palka dan *push notification* yang dikirimkan ke perangkat Mualim Jaga. Sistem mampu mengklasifikasikan kondisi lingkungan ruang muat ke dalam tiga kategori, yaitu ″NORMAL″, ″WASPADA", dan "BAHAYA″, sehingga awak kapal dapat segera mengambil tindakan yang

diperlukan sebelum kondisi kritis terjadi. Selain itu, berdasarkan hasil validasi dan uji kelayakan, *prototipe* memperoleh persentase kelayakan akumulatif sebesar 96% dari penilaian dosen ahli bidang Nautika dan Instrumentasi serta 20 taruna Program Studi Nautika yang telah melaksanakan praktik laut. Hasil tersebut menunjukkan bahwa prototipe berada pada kategori *"Sangat Sesuai"* dan dinyatakan layak untuk diterapkan sebagai alat bantu pemantauan kondisi lingkungan ruang muat kapal secara efektif dan berkelanjutan.

B. SARAN

Berdasarkan kesimpulan di atas dan mempertimbangkan keterbatasan penelitian yang ada, peneliti mengajukan saran kepada beberapa pihak sebagai berikut.

1. Hasil validasi yang menunjukkan tingkat kelayakan sebesar 97% dengan kategori *"*Sangat Sesuai*"*, perusahaan pelayaran direkomendasikan untuk mengimplementasikan prototipe ini sebagai *pilot project* pada kapal *bulk carrier* dengan karakteristik operasional yang serupa.
2. Bagi institusi pendidikan pelayaran, prototipe ini dapat dijadikan sebagai media pembelajaran praktis bagi taruna program studi Nautika dalam memahami penerapan teknologi IoT di bidang maritim, sekaligus menjadi referensi pengembangan penelitian *smart shipping* selanjutnya.
3. Bagi peneliti selanjutnya, direkomendasikan untuk mengembangkan arsitektur jaringan sensor terdistribusi (*sensor array*) yang memungkinkan pemantauan beberapa palka secara simultan dalam satu *dashboard* terpadu, dilengkapi modul pencatatan otomatis berbasis *cloud* yang terintegrasi dengan *Ship Management System* (SMS) guna mendukung pemenuhan kewajiban dokumentasi IMSBC *Code* secara *digital*. Selain itu, pengembangan lebih lanjut dapat diarahkan pada penerapan model layanan berbayar (*subscription-based service*) pada aplikasi monitoring, seperti penyediaan fitur analisis data historis, pelaporan otomatis, penyimpanan data jangka panjang, dan notifikasi premium. Untuk melindungi hasil inovasi yang telah dikembangkan, peneliti disarankan untuk mengajukan perlindungan Hak Kekayaan Intelektual (HKI), baik dalam bentuk hak cipta perangkat lunak maupun paten apabila memenuhi persyaratan kebaruan dan inventifitas, sehingga produk memiliki nilai komersial tinggi di industri maritim.

DAFTAR PUSTAKA

Bahga, A., & Madisetti, V. (2020). *Internet of Things: A hands-on approach*. VPT.

International Maritime Organization, *IMDG Code Amendment 41-22* (London: IMO Publishing, 2022).

International Maritime Organization, *STCW Convention and STCW Code, Manila Amendments* (London: IMO Publishing, 2010).

International Maritime Organization. (2022). *IMDG Code Amendment 41-22*. IMO Publishing. https://www.imo.org/en/Publications

International Maritime Organization. (2020). *International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS), 1974, as amended* (2020 Consolidated Edition). IMO Publishing.

International Maritime Organization. (2020). *International Maritime Solid Bulk Cargoes (IMSBC) Code* (2020 Edition, Amendment 06-19). IMO Publishing.

International Maritime Organization. (2022). *International Maritime Dangerous Goods (IMDG) Code, Amendment 41-22* (MSC.501(105)). IMO Publishing.

International Maritime Organization. (2010). *International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers (STCW), 1978, as amended: Manila Amendments 2010*. IMO Publishing.

Çengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2020). *Heat and mass transfer: Fundamentals and applications* (6th ed.). McGraw-Hill.

Chen, Z., Li, X., & Wang, Y. (2020). Recent advances in humidity sensor technologies and applications. *Sensors*, 20(14), 1–23.

Incropera, F. P., Lavine, A. S., Bergman, T. L., & DeWitt, D. P. (2020). *Fundamentals of heat and mass transfer* (8th ed.). Wiley.

International Maritime Organization. (2022). *International maritime solid bulk cargoes (IMSBC) Code*. IMO.

Kartika, Y., Prasetyo, A., & Lestari, D. (2024). Monitoring and control of humidity using digital hygrometer. *Journal of Instrumentation and Measurement*, 12(1), 45–53.

Kim, J., Han, S., & Kwon, Y. (2020). Real-time monitoring system to improve cargo hold readiness. *Maritime Technology Review*, 18(4), 210–218.

Kurniawan, A., Nugroho, S., & Prasetyo, E. (2021). Sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT) untuk pengawasan kondisi lingkungan. *Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi*, 12(2), 45–52.

Lee, S., Park, J., & Choi, H. (2022). Application of IoT-based monitoring system in maritime environment. *Ocean Engineering*, 245, 110513.

Madakam, S., Ramaswamy, R., & Tripathi, S. (2019). Internet of Things (IoT): A literature review. *Journal of Computer and Communications*, 7(5), 164–173. htt

Prasetyo, R., Nugroho, A., & Santoso, D. (2022). Environmental monitoring systems to enhance loading efficiency. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 14(2), 55–63.

Rahman, F., Saputra, I., & Hidayat, M. (2023). Smart environmental monitoring system using Internet of Things. *International Journal of Smart Systems*, 7(2), 88–96.

Santosa, R., Sari, P. A., & Sasongko, A. T. (2023). Sistem monitoring suhu dan kelembaban berbasis Internet of Things (IoT) pada gudang penyimpanan PT Sakafarma Laboratories. *Jurnal Teknologi dan Sistem Informasi Bisnis*, 5(4).

Setyawan, A., Prabowo, A., & Nugroho, S. (2019). Design and implementation of environmental monitoring systems based on sensor networks. *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 51(3), 345–356.

Stopford, M., & Kopacz, Z. (2020). *Maritime economics* (4th ed.). Routledge.

Wang, H., Chen, L., & Liu, Z. (2021). Humidity monitoring for cargo safety in maritime transportation. *Journal of Marine Science and Technology*, 26(3), 345–353.

Wivanius, N., Sihombing, W. I., & Kamsyah, D. (2024). IoT-based temperature and humidity monitoring system with real-time data transmission and automatic alert mechanism. *Cyclotron Journal*, 9(1).

World Meteorological Organization. (2021). *Guide to meteorological instruments and methods of observation* (WMO-No. 8). WMO.

Xu, L., He, X., & Li, W. (2018). Monitoring humidity and temperature based on Internet of Things. *Journal of Sensors*, 2018, 1–10.

Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L., & Zorzi, M. (2020). Internet of Things for smart cities. *IEEE Internet of Things Journal*, 1(1), 22–32.

Zhang, Y., Liu, J., & Wang, S. (2019). Condensation risk analysis in enclosed spaces under varying humidity conditions. *Building and Environment*, 148, 609–620.

Zhao, Y., Chen, Z., & Wang, C. (2019). Advances in humidity sensing technologies and applications. *Sensors*, 19(19), 1–22.

Zhou, K., Liu, T., & Zhou, L. (2020). Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges. *Foresight and STI Governance*, 14(1), 6–16.

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 MV. EVRYDIKI



Lampiran 2 *Ship Particular*

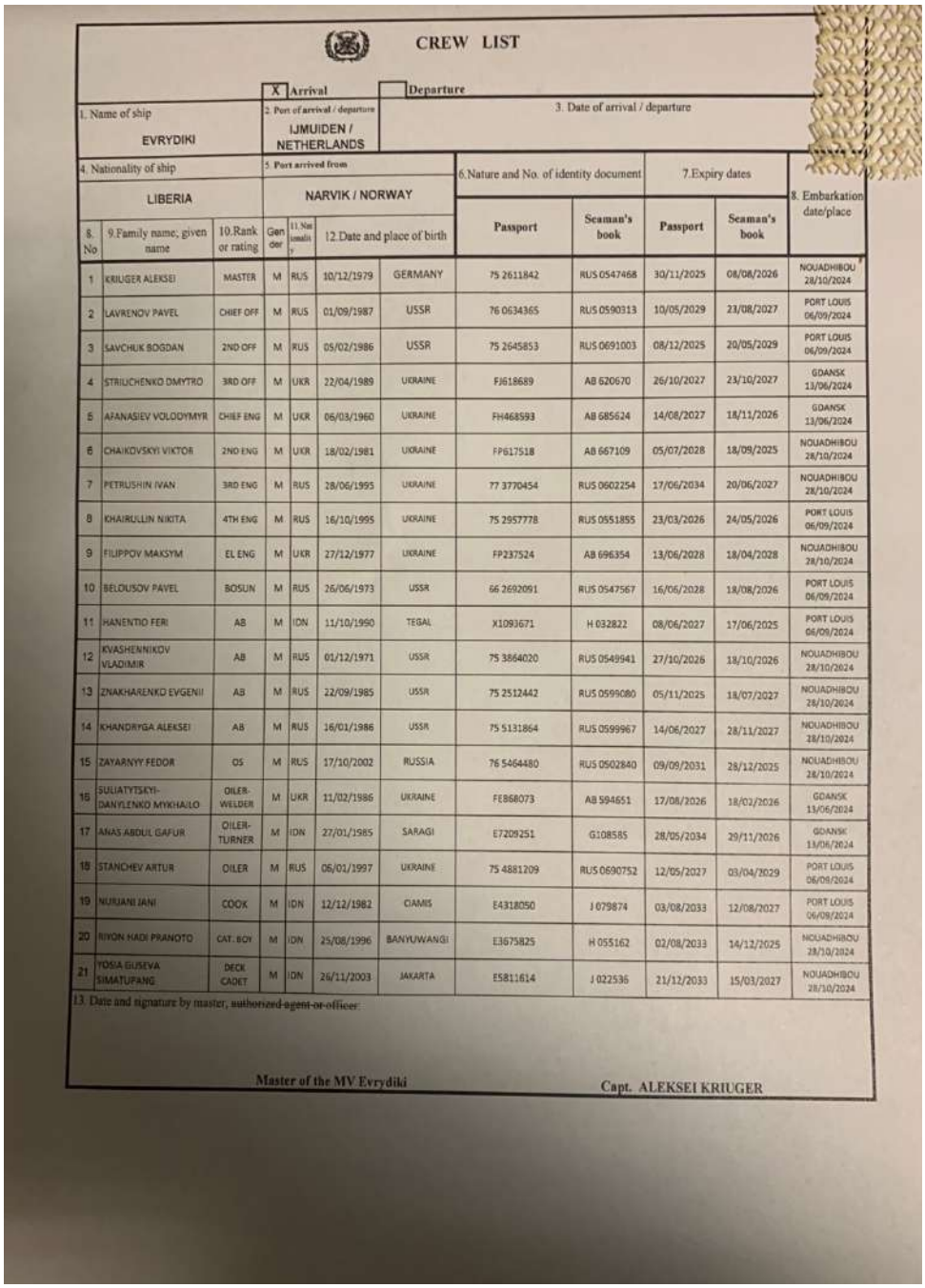
SHIP'S PARTICULARS

SHIP'S NAME	EVRYDIKI
PREVIOUS NAME	NORD DELPHINUS
CALL SIGN	D5MK6
NATIONALITY / PORT OF REGISTRY	LIBERIA / MONROVIA
OFFICIAL No. / IMO No.	17720 / 9448023
OWNER	Blundell Maritime S.A. 80 Broad Street, Monrovia, Liberia
OPERATOR / MANAGEMENT COMPANY	LASKARIDIS SHIPPING CO. LTD. 5, XENIAS STR. & CH. TRIKUOPI 14562 KIFISSIA, ATHENS, GREECE TEL: + 30 210 6284200 E-MAIL: athens@laskaridis.com FAX: +30 210 8089710/11/12 TLX: +051 94076248 LASK GR
L.O.A. / L.B.P.	249.884 m / 240.00 m
BREADTH MOULDED	43.00 m
DEPTH MOULDED	21.30 m
DESIGN DRAUGHT (MOULDED)	14,5 m
SCANTLING DRAUGHT (MOULDED)	15,0 m
HEIGHT KEEL TO TOP MAST	52.853 m
DISPLACEMENT(AT SCANTLING DRAFT)	134,376.5 t
DEDWEIGHT(AT SCANTLING DRAFT)	114.167,7
GROSS TONNAGE	63.864
NET TONNAGE	35.665
LIGHT SHIP WEIGHT	20,208.80
SUEZ CANAL TONNAGE GROSS / NET	64965,0 t / 61700,0 t
SPEED / CONSUMPTION	14.7 knts / (Fullahead / 95RPM) / 55 mt
DATE OF LAST DRY DOCK	10.01.2024 - 21.02.2024
TYPE OF VESSEL	BULK CARRIER
CLASS	BV 1 + HULL + MACH. Bulk Carrier ESP GRAB(25). CSR,BC-A(Holds 2,4 & 6 may be empty) Unrestricted Navigarion. VeriSTAR HULL, AUT-UMS,MON-SHAFT
CLASSIFICATION SOCIETY	RINA SERVICE S.p.A.
BUILDER	CHINA CHANGJIANG NATIONAL SHIPPING JINLING SHIPYARD
DATE OF KEEL LAID	19 JULY 2009
DATE OF LAUNCH	15 NOVEMBER 2009
DATE OF DELIVERY	05 JANUARY 2010
MMSI	636017720
INMARSAT-C ID	463721327 / 463721325 / 463721327
INMARSAT-F VOICE / FAX	BRIDGE: +870 773 912 932
INMARSAT-F VOICE / FAX	MASTER CABIN: +30 211 234 06 97 / +870 771 309 156
E-MAIL	evrydiki@fleet-mail.com
F.W.A. / T.P.C.	335 mm / 100.3 MT/CM
NUMBER OF HOLDS	7 CARGO HOLDS
CARGO HOLDS CAPACITY	131 861.2 m³
AIR DRAFT AT MID HATCH COVER	24.50 m
AIR DRAFT AT MID HATCH COAMING	23.50 m
HATCH COVER TYPE	2 PANELS SECTION SIDE ROLLING
HEAVY FUEL / DIESEL OIL (100%)	HFO 4.430,4 m³ / 520.0m³ (MAX CAPACITY)
TOTAL BALLAST CAPACITY	BW 58,400.5 m³ (BW Tks:39,000.5 m³ / Hold No:4: 19,400.0 m³)
MAIN ENGINE TYPE & POWER	Hyundai Heavy Industries-MAN B&W 7S60MC-C MK7, 15820 KW x 105 RPM (MCO)
BALLAST PUMPS	2 / each with pumping capacity of 1,800 m³ per hour
P & I CLUB	UK P&I CLUB
PROPELLER TYPE	FIXED, STEEL RIGHT HAND / 4 blades

Marks	Description	Freeboard (mm)	Draught	Displacement	Deadweight (t)
S	Summer	6328	15.000	134376.5	114167.7
F	Summer fresh water	5993	15.335	134376.5	114167.7
T	Tropic	6015	15.313	137521.5	117312.7
TF	Tropic fresh water	5680	15.648	137453.8	117245.0
W	Winter	6641	14.687	131241.1	111032.3

No. of CH	HATCH	V NET m³ Bale	V NET m³ Grain	TANKTOP STRENGTH
CH 1	17.29 m x 16.50 m	16191.16	16748.00	31,1 t/m²
CH 2	17.29 m x 19.00 m	18227.12	19293.10	17,1 t/m²
CH 3	17.29 m x 19.00 m	18455.46	19299.20	31,1 t/m²
CH 4	17.29 m x 19.00 m	18455.46	19303.20	17,1 t/m²
CH 5	17.29 m x 19.00 m	18455.46	19317.70	31,1 t/m²
CH 6	17.29 m x 19.00 m	18455.46	19318.10	17,1 t/m²
CH 7	17.29 m x 16.50 m	17358.44	17924.40	31,1 t/m²
	TOTAL:	125598.56	131203.70	

Lampiran 3 *Crew List*



CREW LIST

X Arrival ☐ Departure

1. Name of ship	2. Port of arrival / departure	3. Date of arrival / departure
EVRYDIKI	IJMUIDEN / NETHERLANDS	

4. Nationality of ship	5. Port arrived from	6.Nature and No. of identity document		7.Expiry dates		8. Embarkation date/place
LIBERIA	NARVIK / NORWAY	Passport	Seaman's book	Passport	Seaman's book	

8. No	9.Family name, given name	10.Rank or rating	Gender	11. Nationality	12.Date and place of birth						
1	KRIUGER ALEKSEI	MASTER	M	RUS	10/12/1979	GERMANY	75 2611842	RUS 0547468	30/11/2025	08/08/2026	NOUADHIBOU 28/10/2024
2	LAVRENOV PAVEL	CHIEF OFF	M	RUS	01/09/1987	USSR	76 0634365	RUS 0590313	10/05/2029	23/08/2027	PORT LOUIS 06/09/2024
3	SAVCHUK BOGDAN	2ND OFF	M	RUS	05/02/1986	USSR	75 2645853	RUS 0691003	08/12/2025	20/05/2029	PORT LOUIS 06/09/2024
4	STRIUCHENKO DMYTRO	3RD OFF	M	UKR	22/04/1989	UKRAINE	FJ618689	AB 620670	26/10/2027	23/10/2027	GDANSK 13/06/2024
5	AFANASIEV VOLODYMYR	CHIEF ENG	M	UKR	06/03/1960	UKRAINE	FH468593	AB 685624	14/08/2027	18/11/2026	GDANSK 13/06/2024
6	CHAIKOVSKYI VIKTOR	2ND ENG	M	UKR	18/02/1981	UKRAINE	FP617518	AB 667109	05/07/2028	18/09/2025	NOUADHIBOU 28/10/2024
7	PETRUSHIN IVAN	3RD ENG	M	RUS	28/06/1995	UKRAINE	77 3770454	RUS 0602254	17/06/2034	20/06/2027	NOUADHIBOU 28/10/2024
8	KHAIRULLIN NIKITA	4TH ENG	M	RUS	16/10/1995	UKRAINE	75 2957778	RUS 0551855	23/03/2026	24/05/2026	PORT LOUIS 06/09/2024
9	FILIPPOV MAKSYM	EL ENG	M	UKR	27/12/1977	UKRAINE	FP237524	AB 696354	13/06/2028	18/04/2028	NOUADHIBOU 28/10/2024
10	BELOUSOV PAVEL	BOSUN	M	RUS	26/06/1973	USSR	66 2692091	RUS 0547567	16/06/2028	18/08/2026	PORT LOUIS 06/09/2024
11	HANENTIO FERI	AB	M	IDN	11/10/1990	TEGAL	X1093671	H 032822	08/06/2027	17/06/2025	PORT LOUIS 06/09/2024
12	KVASHENNIKOV VLADIMIR	AB	M	RUS	01/12/1971	USSR	75 3864020	RUS 0549941	27/10/2026	18/10/2026	NOUADHIBOU 28/10/2024
13	ZNAKHARENKO EVGENII	AB	M	RUS	22/09/1985	USSR	75 2512442	RUS 0599080	05/11/2025	18/07/2027	NOUADHIBOU 28/10/2024
14	KHANDRYGA ALEKSEI	AB	M	RUS	16/01/1986	USSR	75 5131864	RUS 0599967	14/06/2027	28/11/2027	NOUADHIBOU 28/10/2024
15	ZAYARNYY FEDOR	OS	M	RUS	17/10/2002	RUSSIA	76 5464480	RUS 0502840	09/09/2031	28/12/2025	NOUADHIBOU 28/10/2024
16	SULIATYTSKYI-DANYLENKO MYKHAILO	OILER-WELDER	M	UKR	11/02/1986	UKRAINE	FE868073	AB 594651	17/08/2026	18/02/2026	GDANSK 13/06/2024
17	ANAS ABDUL GAFUR	OILER-TURNER	M	IDN	27/01/1985	SARAGI	E7209251	G108585	28/05/2034	29/11/2026	GDANSK 13/06/2024
18	STANCHEV ARTUR	OILER	M	RUS	06/01/1997	UKRAINE	75 4881209	RUS 0690752	12/05/2027	03/04/2029	PORT LOUIS 06/09/2024
19	NURJANI JANI	COOK	M	IDN	12/12/1982	CIAMIS	E4318050	J 079874	03/08/2033	12/08/2027	PORT LOUIS 06/09/2024
20	RIYON HADI PRANOTO	CAT. BOY	M	IDN	25/08/1996	BANYUWANGI	E3675825	H 055162	02/08/2033	14/12/2025	NOUADHIBOU 28/10/2024
21	YOSIA GIUSEVA SIMATUPANG	DECK CADET	M	IDN	26/11/2003	JAKARTA	E5811614	J 022536	21/12/2033	15/03/2027	NOUADHIBOU 28/10/2024

13. Date and signature by master, authorized agent or officer:

Master of the MV Evrydiki

Capt. ALEKSEI KRIUGER

Lampiran 4 Kondisi Palka

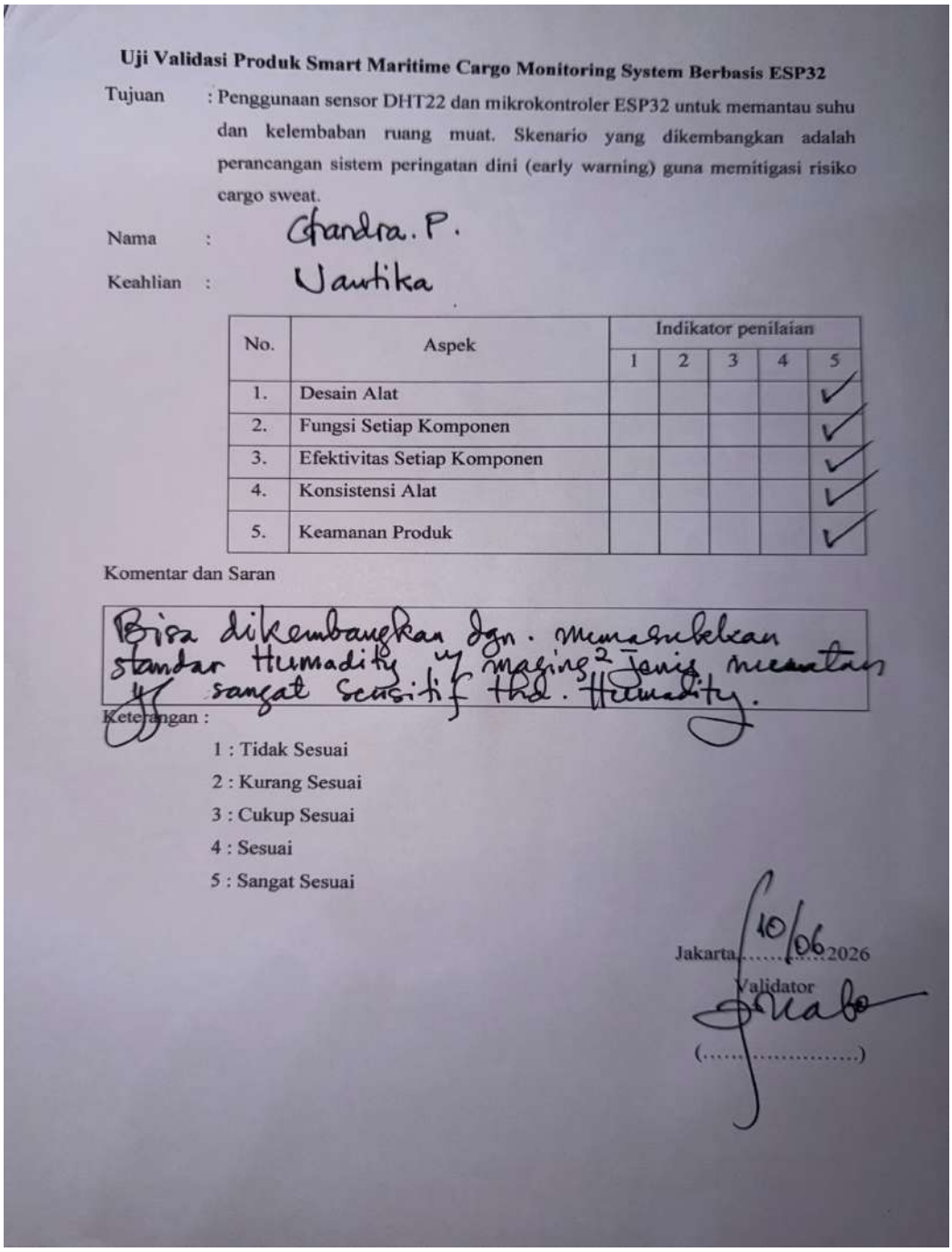




Lampiran 5 Pengujian Alat Dengan Dosen Validator 1



Lampiran 6 Lembar Penilaian Validasi 1



Uji Validasi Produk Smart Maritime Cargo Monitoring System Berbasis ESP32

Tujuan : Penggunaan sensor DHT22 dan mikrokontroler ESP32 untuk memantau suhu dan kelembaban ruang muat. Skenario yang dikembangkan adalah perancangan sistem peringatan dini (early warning) guna memitigasi risiko cargo sweat.

Nama : Chandra. P.

Keahlian : Nautika

No.	Aspek	Indikator penilaian				
		1	2	3	4	5
1.	Desain Alat					✓
2.	Fungsi Setiap Komponen					✓
3.	Efektivitas Setiap Komponen					✓
4.	Konsistensi Alat					✓
5.	Keamanan Produk					✓

Komentar dan Saran

Bisa dikembangkan dgn. menambahkan standar Humadity yg masing2 jenis mesamatan sangat sensitif thd. Humadity.

Keterangan :

1 : Tidak Sesuai
2 : Kurang Sesuai
3 : Cukup Sesuai
4 : Sesuai
5 : Sangat Sesuai

Jakarta 10/06 2026

Validator

(.....)

Lampiran 7 Pengujian Alat Dengan Dosen Validator 2



Lampiran 8 Lembar Validasi 2

Uji Validasi Produk Smart Maritime Cargo Monitoring System Berbasis ESP32

Tujuan : Penggunaan sensor DHT22 dan mikrokontroler ESP32 untuk memantau suhu dan kelembaban ruang muat. Skenario yang dikembangkan adalah perancangan sistem peringatan dini (early warning) guna memitigasi risiko cargo sweat.

Nama :

Keahlian :

No.	Aspek	Indikator penilaian				
		1	2	3	4	5
1.	Desain Alat				✓	
2.	Fungsi Setiap Komponen					✓
3.	Efektivitas Setiap Komponen					✓
4.	Konsistensi Alat					✓
5.	Keamanan Produk				✓	

Komentar dan Saran

Set point Kelembapan dijadikan Prioritas Utama dalam Pertahanan Aktivasi Peringatan.

Keterangan :

1 : Tidak Sesuai
2 : Kurang Sesuai
3 : Cukup Sesuai
4 : Sesuai
5 : Sangat Sesuai

Jakarta, 12 Mei 2026

Validator

(Aditya Pirialti)

Lampiran 9 Hasil Validasi Pengguna

	A	B	C	D	E	F	G
1	Timestamp	Nama Lengkap	Desain Alat	Fungsi Setiap Kompenen	Efektivitas Setiap Kompenen	Konsistensi Alat	Keamanan Produk
2	15/06/2026 14:18:37	AFIF RAMADHAN	5	4	5	5	5
3	15/06/2026 17:45:15	Achmad harits irawan	5	5	5	5	5
4	15/06/2026 18:00:56	Fadel Muhammad Ghais	5	5	5	4	5
5	15/06/2026 18:09:15	Muhammad Alfian	4	5	5	5	5
6	15/06/2026 18:11:54	FADILLAH NURGI AVIST	5	5	4	5	5
7	15/06/2026 18:13:14	Defa Gumaysa Nugroho	4	5	5	5	5
8	15/06/2026 18:25:29	Bayu Fajar Purwanto	5	5	4	5	5
9	15/06/2026 18:43:21	Elsa putri meilany	5	5	4	4	5
10	16/06/2026 13:54:58	AZMI BINTANG ADHARA	5	5	5	4	5
11	16/06/2026 15:23:43	Nabil Rivalent	5	4	5	5	5
12	16/06/2026 15:23:49	Muhamad Ilham	5	4	5	5	5
13	16/06/2026 15:23:53	Ferdinan	5	5	4	5	5
14	16/06/2026 15:24:16	Farhan arclisa	4	5	5	5	5
15	16/06/2026 15:25:34	Fariz Al Furqon	5	5	4	5	5
16	16/06/2026 15:25:46	surya abdul aziz	4	5	5	5	5
17	16/06/2026 15:27:01	Abrar hamdy	5	5	5	5	5
18	16/06/2026 15:28:06	Adam arafi	4	4	4	4	4
19	16/06/2026 15:28:36	Muhammad al hafizh	5	5	5	5	5
20	16/06/2026 15:29:23	Agung dermawan	4	5	5	5	5
21	16/06/2026 18:05:37	Muhammad firgia aldebi	5	5	5	5	4

Lampiran 10 Pengujian Oleh pengguna


STIP

Lampiran 11 *Coding Program*

```
#include <WiFi.h>
#include <ESPAsyncWebServer.h>
#include <AsyncTCP.h>
#include <DHT.h>
#include <ArduinoJson.h>
#include <Preferences.h>
#include <HTTPClient.h>
#include <SPIFFS.h>

#define DHTPIN 4
#define DHTTYPE DHT22
#define BUZZER 32

TaskHandle_t sheetTaskHandle = NULL;
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
AsyncWebServer server(80);
Preferences prefs;
AsyncWebSocket ws("/ws");
unsigned long lastWiFiCheck = 0;
bool wifiConnecting = false;

float temperature = 0;
float humidity = 0;
float thresholdTemp = 30.0;
float thresholdHum  = 70.0;
```

```
unsigned long lastBeep = 0;
bool beepState = false;
int beepStep = 0;

bool buzzerAuto = true;
bool buzzerManual = false;
bool buzzerManualState =  false;
bool buzzerState = false;

String sheetURL = "";
int sheetInterval = 60000;

String apSSID = "Monitor Udara";
String apPASS = "12345678";

String wifiSSID = "";
String wifiPASS = "";

unsigned long lastRead = 0;
unsigned long lastSheetUpdate = 0;

void saveConfig() {
  prefs.begin("config", false);

  prefs.putFloat("thresholdTemp", thresholdTemp);
prefs.putFloat("thresholdHum", thresholdHum);
  prefs.putString("sheetURL", sheetURL);
  prefs.putInt("sheetInt", sheetInterval);
```

```
  prefs.putString("wifiSSID", wifiSSID);
  prefs.putString("wifiPASS", wifiPASS);
//  prefs.putString("apSSID", apSSID);
//  prefs.putString("apPASS", apPASS);
  prefs.putBool("buzzerAuto", buzzerAuto);
  prefs.putBool("buzzerManualState", buzzerManualState);

  prefs.end();

  Serial.println("\n===== SAVE CONFIG =====");
  Serial.println("Temp Threshold : " + String(thresholdTemp));
Serial.println("Hum  Threshold : " + String(thresholdHum));
  Serial.println("Sheet URL     : " + sheetURL);
  Serial.println("Sheet Interval: " + String(sheetInterval));
  Serial.println("WiFi SSID     : " + wifiSSID);
  Serial.println("AP SSID       : " + apSSID);
  Serial.println("========================\n");
}
void loadConfig() {
  prefs.begin("config", true);

  thresholdTemp = prefs.getFloat("thresholdTemp", 30.0);
thresholdHum  = prefs.getFloat("thresholdHum", 70.0);
  sheetURL      = prefs.getString("sheetURL", "");
  sheetInterval = prefs.getInt("sheetInt", 60000);
  wifiSSID      = prefs.getString("wifiSSID", "");
  wifiPASS      = prefs.getString("wifiPASS", "");
//  apSSID        = prefs.getString("apSSID", "ESP32-Monitor");
```

```
//  apPASS        = prefs.getString("apPASS", "12345678");
  buzzerAuto = prefs.getBool("buzzerAuto", true);
  buzzerManualState = prefs.getBool("buzzerManualState", false);
  prefs.end();

  Serial.println("\n===== LOAD CONFIG =====");
  Serial.println("Temp Threshold : " + String(thresholdTemp));
Serial.println("Hum  Threshold : " + String(thresholdHum));
  Serial.println("Sheet URL     : " + sheetURL);
  Serial.println("Sheet Interval: " + String(sheetInterval));
  Serial.println("WiFi SSID     : " + wifiSSID);
  Serial.println("AP SSID       : " + apSSID);
  Serial.println("========================\n");
}

void connectWiFi() {
  if (wifiSSID != "") {
    Serial.println("Connecting to WiFi: " + wifiSSID);
    Serial.println("pass to WiFi: " + wifiPASS);
    WiFi.begin(wifiSSID.c_str(), wifiPASS.c_str());

    unsigned long startAttemptTime = millis();

    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED && millis() - startAttemptTime < 15000) {
      delay(500);
      Serial.print(".");
    }
```

```
    if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
      Serial.println("\nWiFi Connected!");
      Serial.println("IP Address: " + WiFi.localIP().toString());
    } else {
      Serial.println("\nFailed to connect WiFi");
    }
  }
}
void onWsEvent(AsyncWebSocket * server,
               AsyncWebSocketClient * client,
               AwsEventType type,
               void * arg,
               uint8_t *data,
               size_t len) {

  if(type == WS_EVT_CONNECT){
    Serial.println("WebSocket Client Connected");
  }
}



void setup() {
  Serial.begin(115200);
  pinMode(BUZZER, OUTPUT);
noTone(BUZZER);   // buzzer mati saat boot

  dht.begin();
  loadConfig();
```

```
  WiFi.mode(WIFI_AP_STA);
  WiFi.softAP(apSSID.c_str(), apPASS.c_str());
  Serial.println("\n===== NETWORK INFO =====");
Serial.println("AP IP  : " + WiFi.softAPIP().toString());
Serial.println("========================\n");
  connectWiFi();

  if(!SPIFFS.begin(true)){
    Serial.println("SPIFFS Error");
    return;
  }

  server.serveStatic("/", SPIFFS, "/").setDefaultFile("index.html");

server.on("/api/sensor", HTTP_GET, [](AsyncWebServerRequest *request){

  StaticJsonDocument<200> doc;

  doc["temperature"]   = temperature;
  doc["humidity"]      = humidity;
  doc["wifiConnected"] = WiFi.status() == WL_CONNECTED;

  String response;
  serializeJson(doc, response);
  request->send(200, "application/json", response);
});
server.on("/api/config", HTTP_GET, [](AsyncWebServerRequest *request){
```

```
  StaticJsonDocument<512> doc;

  doc["thresholdTemp"] = thresholdTemp;
doc["thresholdHum"]  = thresholdHum;
  doc["wifiSSID"]      = wifiSSID;
  doc["wifiPASS"]      = wifiPASS;
  doc["sheetURL"]      = sheetURL;
  doc["sheetInterval"] = sheetInterval;
  doc["apSSID"]        = apSSID;
  doc["buzzerAuto"]    = buzzerAuto;

  String response;
  serializeJson(doc, response);
  request->send(200, "application/json", response);
});

server.on("/api/setThreshold", HTTP_POST, [](AsyncWebServerRequest *request){

  if(request->hasParam("value", true)){

    thresholdTemp = request->getParam("value", true)->value().toFloat();

    Serial.println("New Temp Threshold: " + String(thresholdTemp));

    saveConfig();
  }
```

```
  request->send(200, "text/plain", "OK");
});
server.on("/api/setThresholdHum", HTTP_POST, [](AsyncWebServerRequest *request){

  if(request->hasParam("value", true)){
    thresholdHum = request->getParam("value", true)->value().toFloat();
    saveConfig();
  }

  request->send(200, "text/plain", "OK");
});
server.on("/api/setThresholdAll", HTTP_POST, [](AsyncWebServerRequest *request){

  if(request->hasParam("temp", true))
    thresholdTemp = request->getParam("temp", true)->value().toFloat();

  if(request->hasParam("hum", true))
    thresholdHum = request->getParam("hum", true)->value().toFloat();

  saveConfig();
  request->send(200, "text/plain", "OK");
});

server.on("/api/setBuzzerMode", HTTP_POST, [](AsyncWebServerRequest *request){
  if(request->hasParam("mode", true)){
    String m = request->getParam("mode", true)->value();
    buzzerAuto = (m == "auto");
    saveConfig();
```

```
  }
  request->send(200, "text/plain", "OK");
});
server.on("/api/toggleManualBuzzer", HTTP_POST, [](AsyncWebServerRequest *request){
  buzzerManualState = !buzzerManualState;
  saveConfig();   // tambahkan ini
  request->send(200, "text/plain", "OK");
});


server.on("/api/saveWifi", HTTP_POST, [](AsyncWebServerRequest *request){

  if(request->hasParam("wifi_ssid", true))
    wifiSSID = request->getParam("wifi_ssid", true)->value();

if(request->hasParam("wifi_pass", true)){
    wifiPASS = request->getParam("wifi_pass", true)->value();
}

  saveConfig();
  request->send(200, "text/plain", "OK");
});

  server.on("/api/saveSheet", HTTP_POST, [](AsyncWebServerRequest *request){
    if(request->hasParam("url", true))
      sheetURL = request->getParam("url", true)->value();
    if(request->hasParam("interval", true))
      sheetInterval = request->getParam("interval", true)->value().toInt();
```

```
    saveConfig();
    request->send(200, "text/plain", "OK");
  });

  server.begin();
    ws.onEvent(onWsEvent);
  server.addHandler(&ws);
  xTaskCreatePinnedToCore(
  sheetTask,
  "SheetTask",
  10000,
  NULL,
  1,
  &sheetTaskHandle,
  0   // Core 0
);
}

void loop() {

  // Baca sensor tiap 2 detik
  if (millis() - lastRead > 3000) {
  lastRead = millis();

float t = dht.readTemperature();
float h = dht.readHumidity();
```

```
if (!isnan(t) && !isnan(h)) {
    temperature = t;
    humidity = h;
} else {
    Serial.println("DHT ERROR! Keep last value.");
}

bool alarmActive = false;

if (buzzerAuto) {
    alarmActive = (temperature > thresholdTemp) || (humidity > thresholdHum);
} else {
    alarmActive = buzzerManualState;
}

if (alarmActive) {

  unsigned long now = millis();

switch(beepStep) {

    case 0: // beep
        tone(BUZZER, 3500);
        if (now - lastBeep > 200) {
            beepStep = 1;
            lastBeep = now;
        }
        break;
```

```
    case 1: // pause
      noTone(BUZZER);
      if (now - lastBeep > 200) {
        beepStep = 2;
        lastBeep = now;
      }
      break;

    case 2: // beep lagi
      tone(BUZZER, 3500);
      if (now - lastBeep > 200) {
        beepStep = 3;
        lastBeep = now;
      }
      break;

    case 3: // pause panjang
    noTone(BUZZER);
    if (now - lastBeep > 200) {
      beepStep = 0;
      lastBeep = now;
    }
      break;
}

} else {
    noTone(BUZZER);
```

```
    beepStep = 0;
}

  StaticJsonDocument<200> doc;
doc["temperature"] = temperature;
doc["humidity"] = humidity;

String json;
serializeJson(doc,json);
ws.textAll(json);

  Serial.println("===== SENSOR DATA =====");
  Serial.println("Temp      : " + String(temperature) + " °C");
  Serial.println("Humidity  : " + String(humidity) + " %");
  Serial.println("Temp Threshold : " + String(thresholdTemp));
  Serial.println("Hum  Threshold : " + String(thresholdHum));
  Serial.println("Buzzer ON : " + String(buzzerState));
  Serial.println("======================\n");
}




  // Auto reconnect WiFi
// WiFi reconnect logic (non spam)
if (wifiSSID != "") {

  if (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
```

```
    if (!wifiConnecting && millis() - lastWiFiCheck > 10000) {

      Serial.println("\nWiFi Lost! Trying reconnect...");
      Serial.println("SSID: " + wifiSSID);

      WiFi.begin(wifiSSID.c_str(), wifiPASS.c_str());

      wifiConnecting = true;
      lastWiFiCheck = millis();
    }

  } else {

    if (wifiConnecting) {
      Serial.println("\nWiFi Connected!");
      Serial.println("IP Address: " + WiFi.localIP().toString());
      Serial.println("--------------------------\n");
      wifiConnecting = false;
    }

  }

}
}

void sheetTask(void * parameter){

  for(;;){
```

```
if(sheetURL != "" && WiFi.status() == WL_CONNECTED){

 String url = sheetURL + "?temp=" + String(temperature) + "&hum=" + String(humidity);

 Serial.println("===== GOOGLE SHEET DEBUG =====");
 Serial.println("Request URL:");
 Serial.println(url);

 WiFiClientSecure client;
 client.setInsecure();

 HTTPClient http;
 http.begin(client, url);
 http.setFollowRedirects(HTTPC_STRICT_FOLLOW_REDIRECTS);

 int httpCode = http.GET();

 Serial.print("HTTP Code: ");
 Serial.println(httpCode);

 if(httpCode > 0){
  String payload = http.getString();

  Serial.println("Response:");
  Serial.println(payload);
  Serial.println("Sheet OK");
 } else {
```

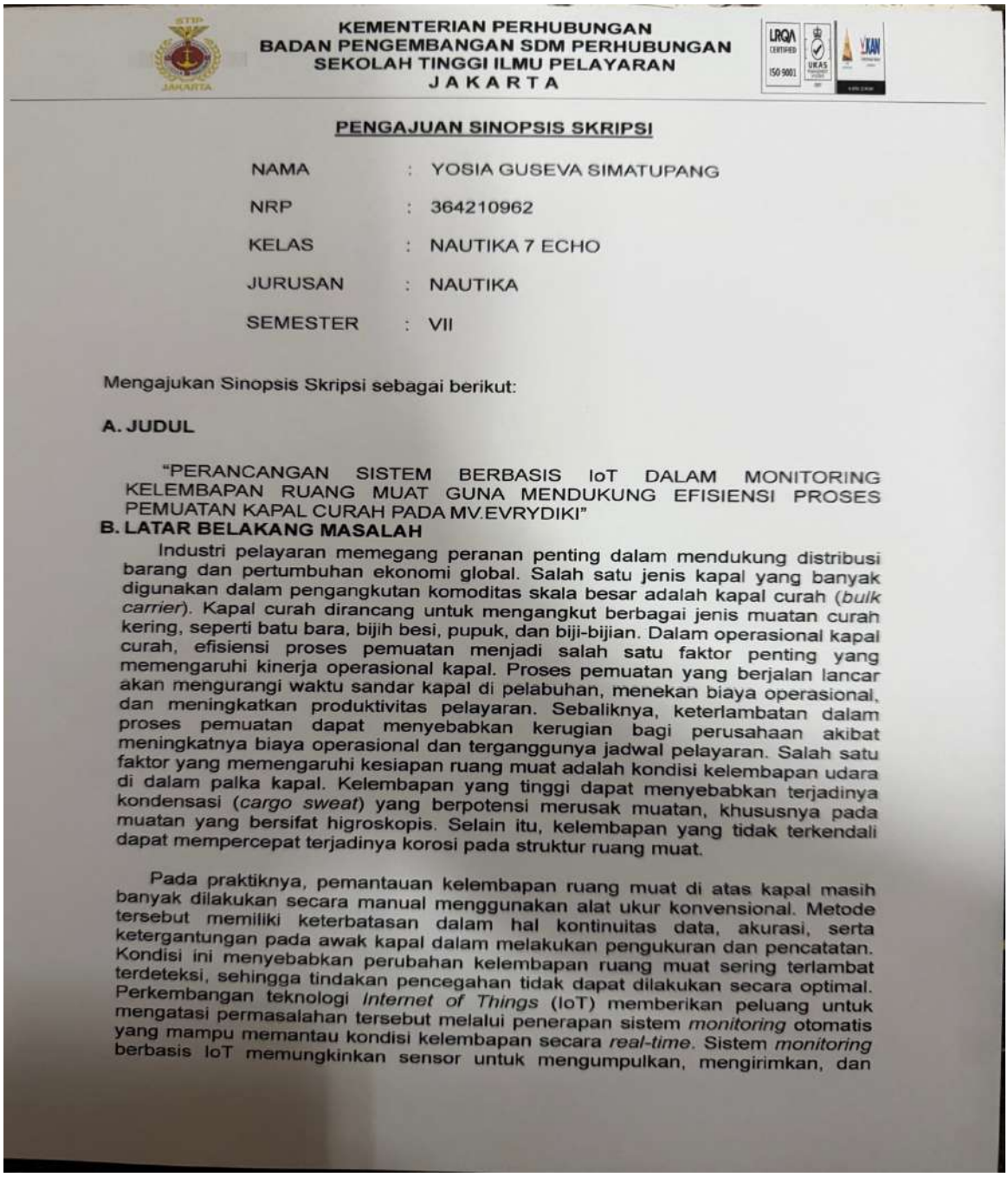
```
      Serial.println("HTTP Request Failed");
    }

    Serial.println("==============================");

    http.end();
  }

  vTaskDelay(sheetInterval / portTICK_PERIOD_MS);
 }
}
```

Lampiran 12 Formulir Pengajuan Sinopsis



KEMENTERIAN PERHUBUNGAN
BADAN PENGEMBANGAN SDM PERHUBUNGAN
SEKOLAH TINGGI ILMU PELAYARAN
JAKARTA

PENGAJUAN SINOPSIS SKRIPSI

NAMA : YOSIA GUSEVA SIMATUPANG

NRP : 364210962

KELAS : NAUTIKA 7 ECHO

JURUSAN : NAUTIKA

SEMESTER : VII

Mengajukan Sinopsis Skripsi sebagai berikut:

A. JUDUL

"PERANCANGAN SISTEM BERBASIS IoT DALAM MONITORING KELEMBAPAN RUANG MUAT GUNA MENDUKUNG EFISIENSI PROSES PEMUATAN KAPAL CURAH PADA MV.EVRYDIKI"

B. LATAR BELAKANG MASALAH

Industri pelayaran memegang peranan penting dalam mendukung distribusi barang dan pertumbuhan ekonomi global. Salah satu jenis kapal yang banyak digunakan dalam pengangkutan komoditas skala besar adalah kapal curah (*bulk carrier*). Kapal curah dirancang untuk mengangkut berbagai jenis muatan curah kering, seperti batu bara, bijih besi, pupuk, dan biji-bijian. Dalam operasional kapal curah, efisiensi proses pemuatan menjadi salah satu faktor penting yang memengaruhi kinerja operasional kapal. Proses pemuatan yang berjalan lancar akan mengurangi waktu sandar kapal di pelabuhan, menekan biaya operasional, dan meningkatkan produktivitas pelayaran. Sebaliknya, keterlambatan dalam proses pemuatan dapat menyebabkan kerugian bagi perusahaan akibat meningkatnya biaya operasional dan terganggunya jadwal pelayaran. Salah satu faktor yang memengaruhi kesiapan ruang muat adalah kondisi kelembapan udara di dalam palka kapal. Kelembapan yang tinggi dapat menyebabkan terjadinya kondensasi (*cargo sweat*) yang berpotensi merusak muatan, khususnya pada muatan yang bersifat higroskopis. Selain itu, kelembapan yang tidak terkendali dapat mempercepat terjadinya korosi pada struktur ruang muat.

Pada praktiknya, pemantauan kelembapan ruang muat di atas kapal masih banyak dilakukan secara manual menggunakan alat ukur konvensional. Metode tersebut memiliki keterbatasan dalam hal kontinuitas data, akurasi, serta ketergantungan pada awak kapal dalam melakukan pengukuran dan pencatatan. Kondisi ini menyebabkan perubahan kelembapan ruang muat sering terlambat terdeteksi, sehingga tindakan pencegahan tidak dapat dilakukan secara optimal. Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) memberikan peluang untuk mengatasi permasalahan tersebut melalui penerapan sistem *monitoring* otomatis yang mampu memantau kondisi kelembapan secara *real-time*. Sistem *monitoring* berbasis IoT memungkinkan sensor untuk mengumpulkan, mengirimkan, dan

menampilkan data kelembapan secara berkelanjutan melalui jaringan internet. Pengalaman penulis selama melaksanakan praktik laut di MV. EVRYDIKI menunjukkan bahwa pemantauan kondisi ruang muat masih dilakukan secara manual dan belum dilengkapi dengan sistem peringatan dini terhadap peningkatan kelembapan. Kondisi tersebut berpotensi menimbulkan keterlambatan dalam pengambilan keputusan terkait kesiapan ruang muat sebelum proses pemuatan dilaksanakan.

C. RUMUSAN MASALAH

Berdasarkan batasan masalah tersebut, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

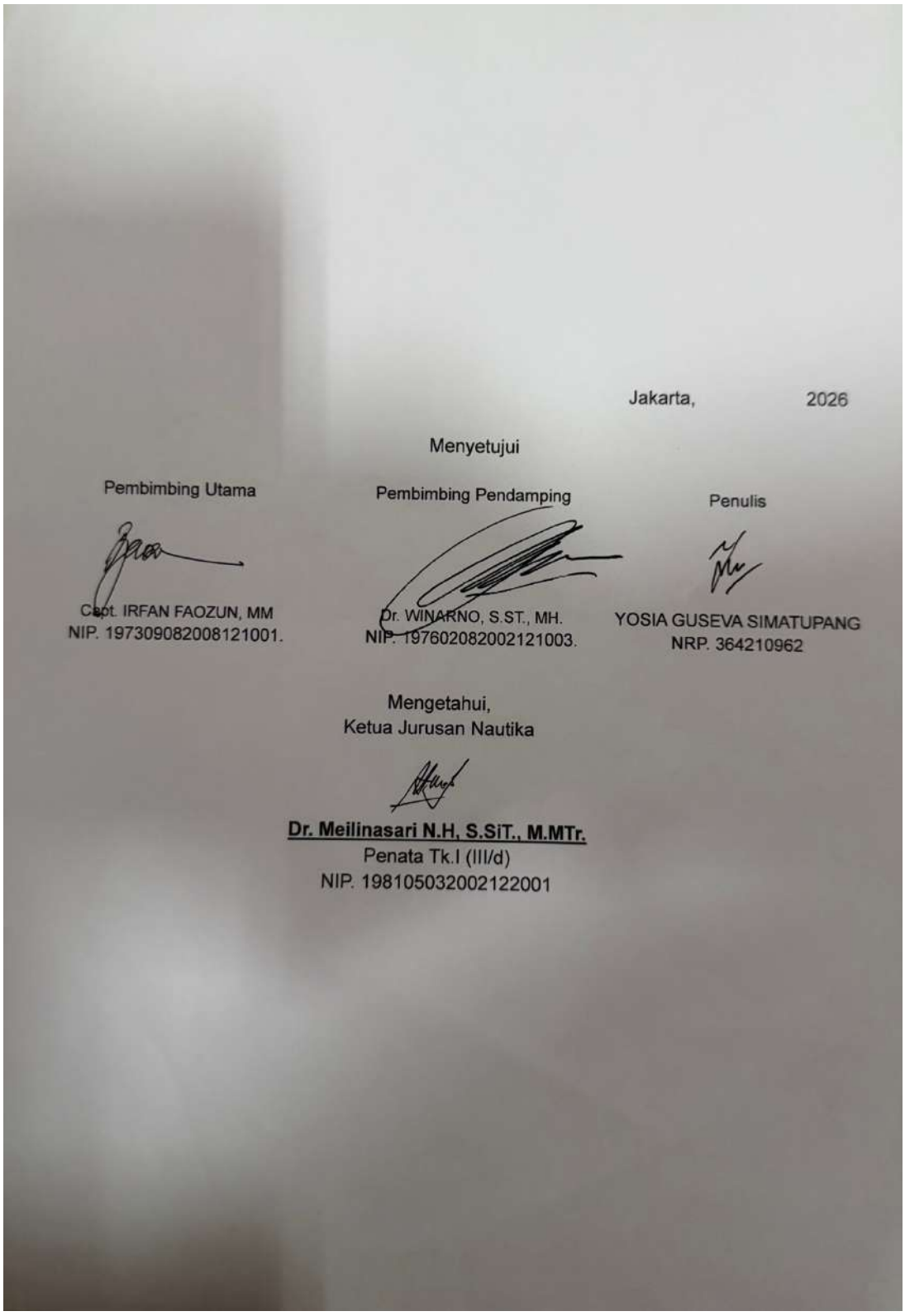
1. Bagaimana merancang sistem monitoring kelembapan ruang muat berbasis ESP32 dan sensor DHT22 untuk memantau kondisi kelembapan ruang muat secara real-time pada MV. EVRYDIKI?
2. Bagaimana performa sistem dalam mengukur akurasi sensor, efektivitas sistem peringatan dini, serta keandalan pengiriman data dalam mendukung efisiensi proses pemuatan kapal curah pada MV. EVRYDIKI?

D. PENJELASAN PENELITIAN

PENDEKATAN MASALAH PENELITIAN

Metode Pengumpulan Data:

1. Metode Research and Development (R&D) model Borg dan Gall. Metode ini digunakan untuk menghasilkan produk dan menguji keefektifan produk tersebut. Tahapannya meliputi :
    a. Potensi dan Masalah: Analisis kebutuhan sistem monitoring kelembapan ruang muat pada kapal.
    b. Perancangan Perangkat Keras: Merancang skema rangkaian mikrokontroler ESP32, sensor DHT22, buzzer, serta aplikasi monitoring berbasis web.
    c. Pengembangan Perangkat Lunak: Pembuatan program untuk pembacaan data sensor, pengiriman data secara real-time, pengaturan nilai ambang batas (threshold), sistem peringatan dini, dan antarmuka monitoring berbasis web.
    d. Integrasi dan Uji Coba Produk: Menggabungkan seluruh komponen perangkat keras dan perangkat lunak serta melakukan simulasi operasional sistem monitoring kelembapan ruang muat.
2. Metode Kuantitatif. Dilakukan dengan melakukan pengukuran langsung terhadap variabel penelitian berupa angka-angka hasil pembacaan sensor DHT22, serta validasi kelayakan melalui kuesioner berdasarkan standar ISO/IEC 25010 dengan skala Likert 1–5 oleh dosen ahli dan 20 taruna Nautika.



Jakarta, 2026

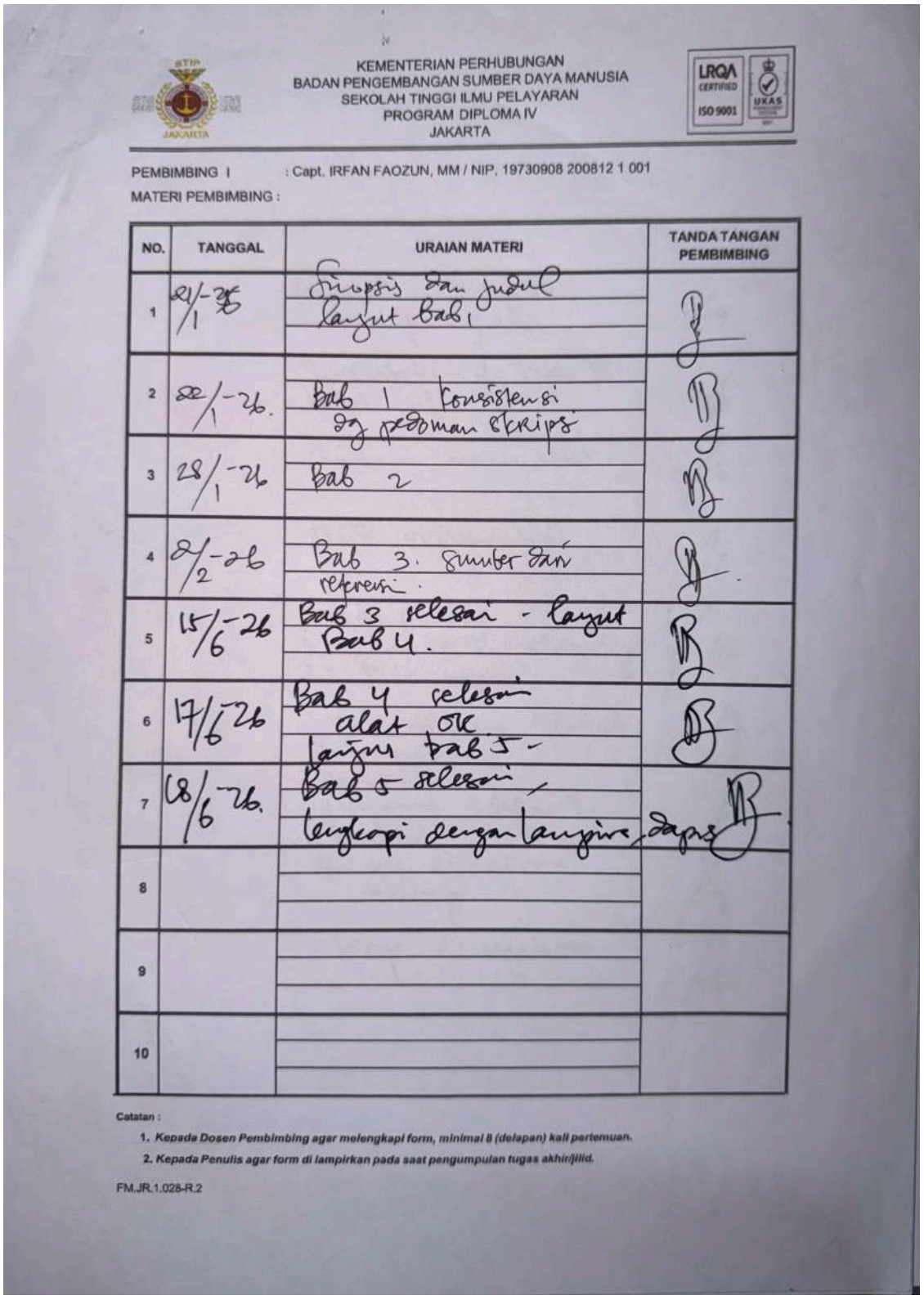
Menyetujui

Pembimbing Utama	Pembimbing Pendamping	Penulis
Capt. IRFAN FAOZUN, MM	Dr. WINARNO, S.ST., MH.	YOSIA GUSEVA SIMATUPANG
NIP. 197309082008121001.	NIP. 197602082002121003.	NRP. 364210962

Mengetahui,
Ketua Jurusan Nautika

Dr. Meilinasari N.H, S.SiT., M.MTr.
Penata Tk.I (III/d)
NIP. 198105032002122001

Lampiran 13 Lembar Bimbingan 1



KEMENTERIAN PERHUBUNGAN
BADAN PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA
SEKOLAH TINGGI ILMU PELAYARAN
PROGRAM DIPLOMA IV
JAKARTA

PEMBIMBING I : Capt. IRFAN FAOZUN, MM / NIP. 19730908 200812 1 001

MATERI PEMBIMBING :

NO.	TANGGAL	URAIAN MATERI	TANDA TANGAN PEMBIMBING
1	21/1-26	Sinopsis dan judul lanjut bab 1	
2	22/1-26.	Bab 1 konsistensi dg pedoman skripsi	
3	28/1-26	Bab 2	
4	2/2-26	Bab 3. sumber dan referensi.	
5	15/6-26	Bab 3 selesai - lanjut Bab 4.	
6	17/6-26	Bab 4 selesai alat OK lanjut bab 5 -	
7	18/6-26.	Bab 5 selesai, lengkapi dengan lampiran dapat	
8			
9			
10			

Catatan :

1. *Kepada Dosen Pembimbing agar melengkapi form, minimal 8 (delapan) kali pertemuan.*
2. *Kepada Penulis agar form di lampirkan pada saat pengumpulan tugas akhir/jilid.*

FM.JR.1.028-R.2

Lampiran 14 Lembar Bimbingan 2

KEMENTERIAN PERHUBUNGAN
BADAN PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA
SEKOLAH TINGGI ILMU PELAYARAN
PROGRAM DIPLOMA IV
JAKARTA

PEMBIMBING II : Dr. Winarno, S.ST., MH. / NIP. 197602082002121003

MATERI PEMBIMBING :

NO.	TANGGAL	URAIAN MATERI	TANDA TANGAN PEMBIMBING
1		Perbaiki sistematika sesuai petunjuk	
2		Tambahkan di Bab II tabel ujicoba	
3		Gambar versi alat	
4		Bab V rekomendasi	
5		Rekomendasi 1. Android friendly 2. Berbayar	
6		Tambahkan tabel di perpus	
7		Perbaiki tampilan layout sesuai	
8		Barang di daftar biaya	
9		Siap di ujikan	
10			

Catatan :

1. *Kepada Dosen Pembimbing agar melengkapi form, minimal 8 (delapan) kali pertemuan.*
2. *Kepada Penulis agar form di lampirkan pada saat pengumpulan tugas akhir/jilid.*

FM.JR.1.028-R.2