

**KEMENTERIAN PERHUBUNGAN
BADAN PENGEMBANGAN
SUMBER DAYA MANUSIA PERHUBUNGAN
SEKOLAH TINGGI ILMU PELAYARAN**



SKRIPSI

**ANALISIS FAKTOR PENYUMBATAN PADA REGAS
SEA-CHEST STRAINER GUNA MENCEGAH
KETIDAKSESUAIAN KUANTITAS *SEND-OUT GAS*
PADA FSRU JAWA SATU**

Oleh :

MUHAMMAD MUFTI KAILANI RUMAGESAN
NRP : 365221361

**PROGRAM PENDIDIKAN DIPLOMA IV
JURUSAN NAUTIKA
JAKARTA
2026**

**KEMENTERIAN PERHUBUNGAN
BADAN PENGEMBANGAN
SUMBER DAYA MANUSIA PERHUBUNGAN
SEKOLAH TINGGI ILMU PELAYARAN**



**ANALISIS FAKTOR PENYUMBATAN PADA REGAS
SEA-CHEST STRAINER GUNA MENCEGAH
KETIDAKSESUAIAN KUANTITAS *SEND-OUT GAS*
PADA FSRU JAWA SATU**

**Diajukan Guna Memenuhi Persyaratan
Untuk Penyelesaian Program Pendidikan Diploma IV**

Oleh :

MUHAMMAD MUFTI KAILANI RUMAGESAN
NRP : 365221361

**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	: Muhammad Mufti Kailani Rumagesan
NRP	: 365221361
Program Pendidikan	: Diploma IV
Program Studi	: Nautika
Judul	: Analisis Faktor Penyumbatan Pada Regas <i>Sea-Chest Strainer</i> Guna Mencegah Ketidaksesuaian Kuantitas <i>Send-Out Gas</i> Pada FSRU Jawa Satu

Jakarta, 9 Juni 2026



Penulis

MUHAMMAD MUFTI KAILANI RUMAGESAN

NRP : 365221361

**KEMENTERIAN PERHUBUNGAN
BADAN PENGEMBANGAN
SUMBER DAYA MANUSIA PERHUBUNGAN
SEKOLAH TINGGI ILMU PELAYARAN**



TANDA PERSETUJUAN SKRIPSI

Nama	: Muhammad Mufti Kailani Rumagesan
NRP	: 365221361
Program Pendidikan	: Diploma IV
Program Studi	: Nautika
Judul	: Analisis PFaktor Penyumbatan Pada Regas <i>Sea-Chest Strainer</i> Guna Mencegah Ketidaksesuaian Kuantitas <i>Send-Out Gas</i> Pada FSRU Jawa Satu

Jakarta, 9 Juni 2026

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping

Capt. Ferro/Hidayah, M.Mar., M. Mtr.
Penata Tk. I (III/d)
NIP. 197407082009121001

Trisanti, S.S., M.Pd.
Penata Tk. I (III/d)
NIP. 197204242002122007

Mengetahui;
Ketua Jurusan Nautika

Capt. Suhartini, S.SiT., M.M., M.M.Tr.
Penata Tk. I (III/d)
NIP. 19800307200522002

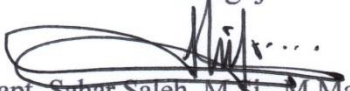
**BADAN PENGEMBANGAN
SUMBER DAYA MANUSIA PERHUBUNGAN
SEKOLAH TINGGI ILMU PELAYARAN**



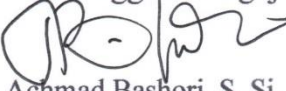
TANDA PENGESAHAN

Nama	: Muhammad Mufti Kailani Rumagesan
NRP	: 365221361
Program Pendidikan	: Diploma IV
Program Studi	: Nautika
Judul	: Analisis Faktor Penyumbatan Pada Regas <i>Sea-Chest</i> <i>Strainer</i> Guna Mencegah Ketidaksesuaian Kuantitas <i>Send-Out</i> Gas Pada FSRU Jawa Satu

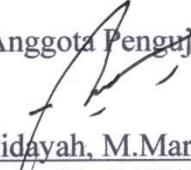
Ketua Penguji


Capt. Sahar Saleh, M.Si., M.Mar
Pembina (IV/a)
NIP. 19761030 200212 1 003

Anggota Penguji


Achmad Bashori, S. Si., MT.
Pembina (IV/a)
NIP. 19770201 200604 1 019

Anggota Penguji


Capt. Ferro Hidayah, M.Mar., M. Mtr.
Penata Tk. I (III/d)
NIP. 197407082009121001

Mengetahui;
Ketua Jurusan Nautika


Capt. Suhartini, S.SiT., M.M., M.M.Tr.
Penata Tk. I (III/d)
NIP. 19800307200522002

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur yang sebesar-besarnya penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, hidayah, serta karunia-Nya yang tak terhingga. Berkat berkah, perlindungan, dan petunjuk dari-Nya, penulis akhirnya dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini dengan judul: "**ANALISIS FAKTOR PENYUMBATAN REGAS SEA-CHEST STRAINER GUNA MENCEGAH KETIDAKSESUAIAN KUANTITAS SEND-OUT GAS PADA FSRU JAWA SATU**".

Skripsi ini disusun guna memenuhi persyaratan kelulusan program Diploma IV Program Studi Nautika di Sekolah Tinggi Ilmu Pelayaran (STIP) Jakarta. Pemilihan topik dan penyusunan materi dalam penelitian ini sepenuhnya berlandaskan pada pengalaman serta observasi langsung penulis selama melaksanakan Praktik Laut (Prala) di kapal FSRU Jawa Satu, yang banyak memberikan pengetahuan serta pembelajaran berharga di lapangan.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini masih memiliki berbagai kekurangan akibat keterbatasan wawasan maupun teknik penulisan. Meskipun demikian, berkat dukungan, bimbingan, dan bantuan dari banyak pihak, skripsi ini akhirnya dapat diselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, melalui kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Dr. Capt. Tri Cahyadi, M.H., M.Mar., selaku Ketua Sekolah Tinggi Ilmu Pelayaran Jakarta yang telah memberikan kesempatan dan dukungan kepada seluruh taruna untuk menyelesaikan pendidikan dengan baik.
2. Capt. Suhartini, S.SiT., M.M., M.M.Tr., selaku Ketua Jurusan Nautika yang telah memimpin jurusan dengan penuh dedikasi.
3. Capt. Ferro Hidayah, M.Mar., M. Mtr., selaku dosen pembimbing materi yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk membimbing penulis dalam penyusunan materi skripsi ini dengan sabar dan teliti.
4. Trisanti, S.S., M.Pd., selaku dosen pembimbing penulisan yang telah membimbing penulis dalam proses penulisan, penyuntingan, dan penyempurnaan skripsi ini hingga dapat diselesaikan.

5. Teristimewa untuk seluruh C 36 *Family*, dan A-17 no. VII sebagai keluarga yang selalu mendukung dan mendoakan saya dalam mengerjakan skripsi ini hingga pada akhirnya dapat diselesaikan tepat pada waktunya
6. Seluruh dosen, instruktur, serta pembimbing taruna/i di Sekolah Tinggi Ilmu Pelayaran Jakarta yang telah mendidik, membimbing, dan memberikan berbagai masukan konstruktif selama penulis menempuh masa pendidikan.
7. Seluruh Crew FSRU Jawa Satu & LNG Triputra yang telah dengan tulus berbagi ilmu, pengalaman, dan pengetahuan praktis kepada penulis selama pelaksanaan Praktik Laut.
8. Rekan-rekan satu kamar F 107, yaitu Adin, Angga, Bima, Dhevanni, Hafis, Tegar, dan Yaqsan, yang telah menjadi keluarga kedua selama di asrama. Terima kasih atas kebersamaan, semangat persaudaraan, motivasi, serta seluruh kenangan indah yang telah mewarnai perjalanan pendidikan penulis.
9. Serta kepada semua pihak lainnya yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, yang telah membantu penulis baik secara langsung maupun tidak langsung dalam menyelesaikan Praktik Kerja Nyata maupun penyusunan skripsi ini.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, dengan penuh kerendahan hati, penulis sangat mengharapkan segala bentuk saran, masukan, dan kritik yang bersifat membangun dari berbagai pihak demi kesempurnaan skripsi ini di masa mendatang.

Jakarta, 5 Juni 2026

Penulis

MUHAMMAD MUFTI KAILANI RUMAGESAN

NRP: 365221361

DAFTAR ISI

	Halaman
SAMPUL DALAM.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
TANDA PERSETUJUAN SKRIPSI	iii
TANDA PENGESAHAN.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR SINGKATAN.....	xi
DAFTAR ISTILAH DAN SIMBOL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
ABSTRAK	xvi
ABSTRACT	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. LATAR BELAKANG MASALAH.....	1
B. IDENTIFIKASI MASALAH.....	4
C. BATASAN MASALAH	4
D. RUMUSAN MASALAH	4
E. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN.....	4
F. SISTEMATIKA PENULISAN	5
BAB II LANDASAN TEORI	7
A. TINJAUAN PUSTAKA.....	7
B. PENELITIAN TERDAHULU	32
C. KERANGKA PEMIKIRAN	34

BAB III METODE PENELITIAN.....	36
A. WAKTU DAN TEMPAT PENELITIAN	36
B. METODE PENDEKATAN	37
C. SUMBER DATA	37
D. TEKNIK PENGUMPULAN DATA.....	38
E. POPULASI, SAMPEL, DAN TEKNIK SAMPLING	39
F. TEKNIK ANALISIS DATA.....	40
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	42
A. DESKRIPSI DATA.....	42
B. ANALISIS DATA.....	46
C. ALTERNATIF PEMECAHAN MASALAH	62
D. EVALUASI ALTERNATIF PEMECAHAN MASALAH.....	67
E. PEMECAHAN MASALAH.....	72
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	80
DAFTAR PUSTAKA	84
LAMPIRAN.....	87

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2. 1 Kerangka Pemikiran	35
Gambar 3. 1 Fishbone Analysis.....	41
Gambar 4. 1 Statement of Fact.....	43
Gambar 4. 2 Kondisi Regas Sea-Chest Strainer.	44
Gambar 4. 3 GWH Normal Line.	45
Gambar 4. 4 Fishbone Analysis	47
Gambar 4. 5 <i>Glycol Water Heater System</i>	55
Gambar 4. 6 <i>Fishbone Analysis</i>	56
Gambar 4. 7 SWLP Normal Pressure.	61
Gambar 4. 8 Kondisi Regas Sea-Chest Strainer.	62
Gambar 4. 9 Sea Water Lifting Pump.	66

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu	33
Tabel 4. 1 Data observasi	46
Tabel 4. 2 Data observasi	54
Tabel 4. 3 Monitoring Checklist Alarm Differential Pressure	73
Tabel 4. 4 Business Process Monitoring Checklist Alarm Differential Alarm	74
Tabel 4. 5 Monitoring Checklist Differential Pressure Alarm	75
Tabel 4. 6 Trend Monitoring Checklist Differential Pressure Alarm.....	75
Tabel 4. 7 Monitoring Checklist Operasional Auto Backwash, Manual Backwash, dan Change Over Sea Chest Strainer berbasis Microsoft Excel.	77
Tabel 4. 8 Business Process Monitoring Checklist Operasional Auto Backwash, Manual Backwash, dan Change Over Sea Chest Strainer berbasis Microsoft Excel	78
Tabel 4. 9 Monitoring Checklist Operasional Auto Backwash, Manual Backwash, dan Change Over Sea Chest Strainer	79

DAFTAR SINGKATAN

AB	<i>Able Bodied Seaman</i>
BOG	<i>Boil off Gas</i>
BWM	<i>Ballast Water Management</i>
CCR	<i>Cargo Control Room</i>
CO/A	<i>Chief Officer A (Cargo)</i>
CSE	<i>Critical Safety Equipment</i>
CTMS	<i>Custody Transfers Measurement System</i>
DOC	<i>Document of Compliance</i>
DP	<i>Differential Pressure</i>
DVM	<i>Diel Vertical Migration</i>
ESD	<i>Emergency Sshutdown System</i>
ETO	<i>Electro-Technical Officer</i>
FSRU	<i>Floating Storage Regasification Unit</i>
GE/A	<i>Gas Engineer A (Regas)</i>
GESAMP	<i>Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection</i>
GSA	<i>Gas Sales Agreement</i>
GWH	<i>Glycol Water Heater</i>
HABs	<i>Harmful Algal Blooms</i>
HMI:	<i>Human Machine Interface</i>
HT	<i>Handy Talky</i>
IFV	<i>Intermediate Fluid Vaporizer</i>
IGC	<i>International Gas Carrier</i>
IMO	<i>International Maritime Organization</i>
ISM	<i>International Safety Management</i>
LMTD	<i>Log Mean Temperature Difference</i>
LNG	<i>Liquefied Natural Gas</i>
MARPOL	<i>International Convention for the Prevention of Pollution from Ships</i>
MGPS	<i>Marine Growth Prevention System</i>

MMBtu	<i>Million Metric British Thermal Units</i>
MMSCFD	<i>Million Standard Cubic Feet per Day</i>
MW	<i>Megawatt</i>
NPSHa	<i>Net Positive Suction Head Available</i>
P&ID	<i>Piping and Instrumentation Diagram</i>
PHE	<i>Plate Heat Exchanger</i>
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i>
PLN	<i>Perusahaan Listrik Negara</i>
PLTGU	<i>Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap</i>
PMS	<i>Planned Maintenance System</i>
PSD	<i>Process Shutdown</i>
SMC	<i>Safety Management Certificate</i>
SMS	<i>Safety Management System</i>
SOF	<i>Statement of Fact</i>
SOLAS	<i>International Convention for the Safety of Life at Sea</i>
SOP	<i>Standard Operating Procedure</i>
SP	<i>Suction Pressure</i>
STIP	<i>Sekolah Tinggi Ilmu Pelayaran</i>
SWLP	<i>Sea Water Lifting Pump</i>
STS	<i>Ship-to-Ship</i>
UNEP	<i>United Nations Environment Programme</i>

DAFTAR ISTILAH DAN SIMBOL

Istilah Teknis	Definisi & Penjelasan Singkat
<i>Auto-Backwash</i>	Proses pembersihan saringan secara otomatis dengan cara membalikkan arah aliran air di dalam pipa untuk melepaskan dan membuang kotoran yang menempel pada saringan.
<i>Change Over</i>	Proses pengalihan beban operasional dari satu sistem atau komponen ke komponen cadangan yang identik (misalnya pemindahan hisapan dari <i>sea-chest</i> kiri ke kanan) guna menjaga kelangsungan operasi tanpa mematikan sistem secara keseluruhan.
<i>Creseis acicula (Sea Butterfly)</i>	Spesies siput laut berukuran mikroskopis hingga kecil yang hidup pelagis (mengambang bebas di lautan), memiliki cangkang transparan berbentuk jarum, dan pergerakannya sangat bergantung pada arus laut musiman.
<i>Differential Pressure</i>	Selisih atau perbedaan tekanan aktual antara dua titik dalam suatu sistem perpipaan (titik hisap sebelum saringan dan titik keluar setelah <i>strainer</i>); digunakan sebagai indikator utama untuk mendeteksi tingkat penyumbatan.
<i>Fishbone Analysis</i>	Metode analisis visual yang terstruktur (juga dikenal sebagai Diagram Ishikawa) untuk mengidentifikasi dan mengkategorikan berbagai akar penyebab potensial dari suatu masalah spesifik ke dalam beberapa cabang utama.
<i>Floating Storage Regasification Unit (FSRU)</i>	Kapal khusus yang dirancang tidak hanya untuk mengangkut dan menyimpan <i>Liquefied Natural Gas</i> (LNG), tetapi juga dilengkapi instalasi pabrik untuk mengubah LNG kembali menjadi gas alam secara langsung di atas kapal.
<i>Glycol Water Heater (GWH)</i>	Perangkat penukar panas (<i>heat exchanger</i>) krusial yang menggunakan cairan campuran air dan glikol sebagai media perantara untuk menghangatkan dan menguapkan LNG pada sistem regasifikasi.
<i>Manual Backwash</i>	Proses pembersihan saringan yang dieksekusi dan diintervensi langsung secara mekanis oleh awak kapal ketika sistem pembersihan otomatis (<i>auto-backwash</i>) tidak lagi mampu mengatasi akumulasi kotoran.
MMSCFD	Satuan ukuran standar internasional (<i>Million Standard Cubic Feet per Day</i>) yang digunakan

	untuk menyatakan volume aliran produksi atau pengiriman gas bumi dalam satuan jutaan kaki kubik per hari.
<i>Open Loop System</i>	Sistem perpipaan sirkulasi pada kapal yang mengambil air laut langsung dari perairan sekitar, menggunakannya untuk kebutuhan pertukaran panas, dan membuangnya kembali ke laut.
<i>Regasifikasi</i>	Proses termodinamika untuk mengubah wujud LNG yang bersuhu sangat dingin (kriogenik/sekitar -162°C) kembali menjadi wujud gas alam pada suhu lingkungan normal agar dapat didistribusikan melalui pipa darat.
<i>Sea-Chest</i>	Rongga atau kotak hisap khusus yang terintegrasi pada bagian lambung kapal di bawah garis air, berfungsi sebagai pintu masuk utama air laut yang akan disalurkan ke berbagai sistem mesin kapal.
<i>Seawater Lifting Pump (SWLP)</i>	Pompa sentrifugal utama berkapasitas masif yang bertugas menghisap air laut dari <i>sea-chest</i> dan memompakannya ke seluruh jaringan sistem pendingin maupun pemanas di kapal.
<i>Send-Out Gas</i>	Laju volume kuantitas gas alam siap pakai yang telah selesai melewati proses regasifikasi di kapal dan dikirim secara konstan menuju fasilitas penerima di darat (seperti pembangkit listrik).
<i>Statement of Fact (SOF)</i>	Dokumen legal dan resmi di atas kapal yang disusun oleh awak kapal untuk mencatat secara kronologis, faktual, dan mendetail mengenai seluruh aktivitas operasional, manuver, atau insiden tertentu.
<i>Strainer</i>	Alat penyaring mekanis berpori yang ditempatkan di dalam jalur perpipaan, berfungsi untuk menahan, menyaring, dan mencegah partikel padat, sampah, atau biota laut masuk merusak pompa dan instalasi mesin.
<i>Stripping</i>	Fenomena di mana pompa kehilangan daya isap secara drastis (kavitasi ekstrim) akibat masuknya udara atau adanya blokade aliran total pada jalur hisap, yang menyebabkan pompa gagal memindahkan cairan.

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 Sinopsis.....	87
Lampiran 2 Pengajuan Judul	91
Lampiran 3 Lembar Pembimbingan	92
Lampiran 4 Turnitin	95
Lampiran 5 Ship Particular.....	97
Lampiran 6 Musterlis	99
Lampiran 7 Statement of Fact	100
Lampiran 8 Normal flowrate at Regas Sea-Chest Strainer	101

ABSTRAK

Mufti Kailani Rumagesan, Muhammad. 2026. "*Analisis Faktor Penyumbatan Regas Sea-Chest Strainer Guna Mencegah Ketidaksesuaian Kuantitas Send-Out Gas Pada FSRU Jawa Satu*"

Keandalan sistem regasifikasi pada *Floating Storage Regasification Unit* (FSRU) Jawa Satu sangat bergantung pada kelancaran suplai air laut sebagai media pemanas. Penelitian ini dilatarbelakangi oleh insiden penurunan kuantitas *send-out* gas akibat adanya penyumbatan masif pada *sea-chest strainer*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi akar penyebab anomali kenaikan tekanan (*differential pressure*) serta gangguan termal pada *Glycol Water Heater* (GWH) guna merumuskan strategi mitigasi operasional yang efektif. Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kualitatif dengan teknik pengumpulan data melalui observasi partisipatif dan analisis dokumen *Statement of Fact* (SOF), yang kemudian dianalisis menggunakan kerangka *Fishbone Analysis*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa anjloknya suhu *glycol water* dipicu oleh fenomena *stripping* pada pompa *Seawater Lifting Pump* (SWLP) akibat blokade pori saringan oleh sampah plastik dan biota laut musiman seperti ubur-ubur dan *sea butterfly*. Hambatan aliran ini secara langsung menurunkan laju pengiriman gas dari 130 MMSCFD menjadi 90 MMSCFD. Simpulan penelitian ini menegaskan bahwa stabilitas operasional regasifikasi dapat dioptimalkan melalui tindakan preventif yang terstruktur. Penerapan instrumen *Monitoring Checklist Operasional Auto/Manual Backwash dan Change Over* berbasis Microsoft Excel, penyesuaian sensitivitas alarm, serta peningkatan patroli visual geladak secara berkala terbukti efektif mendeteksi anomali lebih awal, mencegah kavitasi pompa, dan menjaga kelancaran distribusi energi ke pembangkit listrik.

Kata Kunci: *Biota laut; Fishbone analysis; Glycol water heater; Sea-chest strainer; Send-out gas.*

ABSTRACT

Mufti Kailani Rumagesan, Muhammad. 2026. *Analysis Of Blockage Factors In Regas Sea-Chest Strainer To Prevent Gas Send-Out Quantity Discorrections In FSRU Jawa Satu*

The reliability of the regasification system on the Floating Storage Regasification Unit (FSRU) Jawa Satu heavily depends on the uninterrupted supply of seawater as a heating medium. This research was prompted by an incident involving a reduction in gas send-out quantities caused by massive clogging of the sea-chest strainer. The objective of this study is to identify the root causes of differential pressure spikes and thermal disruptions in the Glycol Water Heater (GWH) to formulate effective operational mitigation strategies. A qualitative descriptive approach was utilized, with data collection conducted through participatory observation and analysis of the Statement of Fact (SOF) documents, which were subsequently evaluated using the Fishbone Analysis framework. The results indicated that the sharp decline in glycol water temperature was triggered by stripping phenomena in the Seawater Lifting Pump (SWLP) due to the blockade of strainer pores by domestic plastic waste and seasonal marine biota, specifically jellyfish and sea butterflies. This flow restriction directly forced a reduction in the gas send-out rate from 130 MMSCFD to 90 MMSCFD. In conclusion, the operational stability of regasification can be optimized through structured preventive measures. Implementing a Microsoft Excel-based Operational Auto/Manual Backwash and Change Over Monitoring Checklist, adjusting alarm sensitivities, and intensifying visual deck patrols proved effective in detecting anomalies early, preventing pump cavitation, and maintaining a smooth distribution of energy supply to the power plant.

Keywords: *Biota laut; Fishbone analysis; Glycol water heater; Sea-chest strainer; Send-out gas.*

BAB I

PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG MASALAH

Peningkatan kebutuhan energi nasional seiring dengan laju pertumbuhan ekonomi dan komitmen Indonesia terhadap transisi energi bersih menempatkan gas alam sebagai komoditas strategis yang tak tergantikan. Mengingat karakteristik geografis Indonesia sebagai negara kepulauan, distribusi gas alam melalui jaringan pipa seringkali terkendala oleh jarak dan kondisi medan, sehingga pemanfaatan *Liquefied Natural Gas* (LNG) menjadi solusi paling efisien untuk mendistribusikan energi dari ladang gas ke pusat-pusat beban kelistrikan. Dalam konteks ini, peran LNG sangat krusial untuk menjamin ketahanan energi, khususnya dalam menyuplai pembangkit listrik di wilayah dengan permintaan tinggi seperti Jawa-Bali, di mana infrastruktur penerima seperti FSRU menjadi kunci utama dalam menjaga kontinuitas pasokan gas yang andal dan berkelanjutan.

FSRU (*Floating Storage Regasification Unit*) Jawa Satu berfungsi sebagai infrastruktur kunci dalam rantai pasok energi terintegrasi pada proyek *LNG-to-Power* Jawa-1, yang merupakan proyek sejenis pertama di Asia Tenggara. Sebagai terminal terapung, kapal ini bertugas menerima pasokan LNG dari kapal pengangkut (*LNG Carrier*) melalui mekanisme transfer antar kapal (*ship-to-ship transfer*) dan menyimpannya dalam tangki kargo. Keberadaannya memastikan ketersediaan cadangan bahan bakar gas yang aman dan mandiri di lepas pantai utara Jawa Barat, tanpa bergantung pada kompleksitas pembebasan lahan untuk tangki penyimpanan di darat.

Selain sebagai fasilitas penyimpanan, fungsi teknis utama FSRU Jawa Satu adalah melakukan proses regasifikasi, yaitu mengubah kembali fase LNG dari cair menjadi gas melalui sistem perpindahan panas (*heat exchange*) yang memanfaatkan air laut. Gas alam hasil regasifikasi tersebut kemudian disalurkan

(*send-out*) melalui pipa bawah laut menuju Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU) Jawa-1 di Cilamaya. Dengan demikian, FSRU ini berperan vital dalam menjamin keberlanjutan suplai bahan bakar bagi pembangkit listrik berkapasitas 1.760 MW tersebut, yang merupakan penyangga utama stabilitas sistem kelistrikan Jawa-Bali. FSRU memiliki fungsi ganda sebagai Kapal (*Storage/Carrier*) dan Fasilitas Migas (regasifikasi), maka aturannya pun merupakan gabungan dari regulasi maritim dan industri gas.

Operasional FSRU Jawa Satu sebagai unit regasifikasi terapung tunduk pada kerangka regulasi yang kompleks karena dualitas fungsinya sebagai kapal pengangkut gas sekaligus instalasi pemrosesan energi. Landasan hukum utama yang menjamin standar keselamatan konstruksi dan operasional kapal ini mengacu pada konvensi *International Maritime Organization* (IMO), khususnya *International Convention for the Safety of Life at Sea* (SOLAS). Secara spesifik, *SOLAS Chapter II-1* mengatur tentang konstruksi, struktur, stabilitas, dan instalasi permesinan, yang mensyaratkan bahwa sistem layanan esensial (*essential services*) termasuk sistem pendingin air laut harus memiliki keandalan tinggi dan redundansi untuk menjamin kapal tetap dapat beroperasi dalam berbagai kondisi. Selain itu, sebagai pengangkut gas cair, FSRU ini juga wajib mematuhi *International Gas Carrier* (IGC) *Code*, yang menetapkan standar ketat bagi keselamatan sistem kargo dan proses penanganan LNG guna memitigasi risiko bahaya kriogenik dan *flammability*.

Dalam aspek manajemen operasional dan perawatan, FSRU Jawa Satu terikat pada *International Safety Management* (ISM) *Code*. Regulasi ini mewajibkan setiap kapal untuk menerapkan Sistem Manajemen Keselamatan (*Safety Management System*) yang komprehensif. Relevansi ISM *Code*, khususnya pada Elemen 10 tentang Pemeliharaan Kapal dan Perlengkapannya, sangat krusial dalam konteks penelitian ini. Pasal tersebut menegaskan kewajiban operator untuk menjamin bahwa peralatan kritis, seperti *sea-chest strainer* dan sistem pompa, dirawat secara berkala melalui *Planned Maintenance System* (PMS). Kegagalan fungsi akibat penyumbatan yang tidak terantisipasi dapat dikategorikan sebagai ketidaksesuaian terhadap prosedur perawatan preventif yang diamanatkan oleh kode etik manajemen keselamatan internasional tersebut.

Di samping aspek keselamatan, FSRU juga harus mematuhi regulasi lingkungan di bawah naungan *International Convention for the Prevention of Pollution from Ships* (MARPOL). Terkait dengan fenomena penyumbatan oleh sampah laut, MARPOL Annex V memberikan kerangka kerja mengenai penanganan sampah di laut, yang secara tidak langsung menjadi indikator kondisi lingkungan perairan tempat kapal beroperasi. Di tingkat nasional, karena beroperasi di wilayah kedaulatan Indonesia, FSRU Jawa Satu juga tunduk pada Undang-Undang No. 66 Tahun 2024 tentang Pelayaran serta regulasi sektor migas nasional yang menjamin kelaiklautan kapal serta keamanan penyaluran energi strategis.

Pada tanggal 16 Januari 2025, jam 13.30 waktu setempat, Perwira Jaga di FSRU Jawa Satu mengamati bahwa tekanan pada sea chest strainer mengalami kenaikan yang cukup signifikan. Kemudian, Perwira Jaga memerintahkan *Able Bodied Seaman* (AB) *on Duty* untuk berpatroli ke sisi kapal bagian kiri untuk mengamati keadaan permukaan laut disekitar FSRU Jawa Satu. Diinformasikan oleh AB *on duty* kepada Perwira Jaga yang berjaga di *Cargo Control Room* (CCR), bahwa terdapat kumpulan sampah yang sangat banyak dibagian sebelah kiri kapal. Kemudian Perwira Jaga melaporkan kepada *Chief Officer Cargo* yang kemudian meneruskan laporan kepada *Master*. Kemudian dilakukan *change over sea-chest* dari sebelah kiri ke sebelah kanan dan dilakukannya pembersihan *sea-chest strainer* sebelah kiri.

Pada saat kejadian, pembangkit listrik sedang melakukan *full load* 880 MW/130 Million Standard Cubic Feet per Day (MMSCFD). Kemudian pada pukul 15.45 waktu setempat, kembali dilakukan *change over sea-chest strainer* dari sebelah kanan ke sebelah kiri dikarenakan *sea-chest* sebelah kanan juga mengindikasikan *different pressure* tinggi. Kali ini, yang dibuka adalah *sea-chest* sebelah kanan, ketika dibuka, *sea-chest* sebelah kanan pun tersumbat oleh sampah. Pada 16.00 waktu setempat, pihak FSRU Jawa Satu meminta izin kepada pihak pembangkit listrik untuk menurunkan *send-out rate* menjadi 90 MMSCFD. Hal ini sangat mengganggu untuk proses regasifikasi karena proses pengiriman gas akan menjadi terhambat dikarenakan adanya kendala pada *sea-chest*, yang dimana *sea-chest* berfungsi sebagai pemanas untuk *glycol water* yang sudah bersentuhan secara tidak langsung di *Glycol Water Heater* (GWH). Proses ini

terjadi di tempat yang bernama *sea water lifting pump*.

Oleh karena itu, berdasarkan uraian diatas penulis tertarik untuk mengangkatnya sebagai fokus dalam penyusunan skripsi dengan judul:

**“ANALISIS FAKTOR PENYUMBATAN REGAS *SEA-CHEST STRAINER*
GUNA MENCEGAH KETIDAKSESUAIAN KUANTITAS *SEND-OUT GAS*
PADA FSRU JAWA SATU”**

B. IDENTIFIKASI MASALAH

Berdasarkan tinjauan operasional di FSRU Jawa Satu, permasalahan yang teridentifikasi meliputi:

1. Terjadinya kenaikan tekanan pada regas *sea-chest strainer*.
2. Terganggunya proses pemanasan *glycol water* di *glycol water heater*.
3. Terganggunya proses LNG di regas *vaporizer*
4. Pengiriman produk gas ke PLTGU Jawa-1 terhambat

C. BATASAN MASALAH

Berdasarkan identifikasi masalah yang diteliti penulis dalam penyusunan sinopsis ini ditemukan adanya masalah yang dapat dibahas, namun penelitian ini memfokuskan pada:

1. Terjadinya kenaikan tekanan pada regas *sea-chest strainer*.
2. Terganggunya proses pemanasan *glycol water* di *glycol water heater*.

D. RUMUSAN MASALAH

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dikemukakan, maka rumusan masalah yang akan dibahas dalam skripsi ini adalah:

1. Mengapa kenaikan tekanan pada regas *sea-chest strainer* dapat terjadi?
2. Apa penyebab proses pemanasan *glycol water* di *glycol water heater* menjadi terganggu?

E. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

1. Tujuan Penelitian

- a. Untuk mengidentifikasi masalah pokok, menemukan penyebab dan menganalisa terjadinya penyumbatan pada regas *sea-chest strainer*.
- b. Untuk mengidentifikasi masalah pokok, menemukan penyebab dan

menganalisa kegagalan temperature di *glycol water heater*.

2. Manfaat Penelitian

a. Aspek Teoritis

Penelitian ini memberikan wawasan serta memperkaya literatur mengenai operasional kapal, khususnya dalam hal perawatan dan operasional yang efektif serta pemahaman terhadap analisis sebab-akibat dari permasalahan pada *sea-chest strainer* di mesin area regasifikasi

b. Aspek Praktis

Penelitian ini memiliki manfaat terhadap penulis guna memenuhi persyaratan untuk penyelesaian program pendidikan Diploma IV-Nautika.

F. SISTEMATIKA PENULISAN

Untuk memudahkan pemahaman dan penyusunan skripsi ini, penulis akan menguraikan skripsi ini secara sistematis menjadi lima bab, yang mana setiap bab pembahasannya saling berkaitan, adapun sistematika tersebut disusun berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini penulis membahas mengenai latar belakang, identifikasi masalah, pembatasan masalah, perumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II LANDASAN TEORI

Pada bab ini menguraikan tentang ilmu pengetahuan pendukung seperti hipotesis ataupun pendapat para ahli yang relevan dengan masalah yang diteliti dan kerangka pemikiran yang penulis kutip dari buku referensi, yang menjadi bahan kerangka pemikiran bagi penulis dalam penulisan skripsi ini.

BAB III METODE PENELITIAN

Dalam bab ini menguraikan tahapan dan cara penulis melakukan penelitian. Metode yang digunakan adalah kualitatif, yang mencakup penjelasan mengenai tempat penelitian di FSRU Jawa Satu, teknik pengambilan data, serta metode pengolahan data yang diperoleh selama praktek laut

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini menguraikan hasil pengamatan dan data yang diperoleh penulis selama melaksanakan Praktek laut di FSRU Jawa Satu. Di dalamnya terdapat analisis mendalam mengenai fakta-fakta lapangan serta pembahasan masalah yang ditemukan.

BAB V PENUTUP

Pada bab ini memaparkan kesimpulan dan saran berdasarkan hasil analisis data serta masukan untuk perawatan dan perbaikan yang akan dicapai kedepannya.

BAB II

LANDASAN TEORI

A. TINJAUAN PUSTAKA

Untuk mendukung serta memperkuat skripsi, pastinya membutuhkan sumber atau referensi berfungsi untuk menunjang isi yang akan disampaikan pada pembahasan. Maka definisi operasional dan teori akan dipaparkan pada bab ini. Penulis melakukan kajian mendalam terhadap beberapa studi sebelumnya yang berkaitan dengan isu sistem air laut, *biofouling*, dan operasi kapal. Kajian ini bertujuan untuk memetakan posisi penelitian penulis serta memperlihatkan kebaruan topik yang diangkat mengenai analisis penyumbatan *sea-chest strainer* di FSRU Jawa Satu. Setelah membaca bab ini, pembaca diharapkan lebih memahami konteks penelitian ini.

1. Analisis

Dalam struktur penelitian ilmiah, istilah analisis memiliki peranan penting sebagai alat metodologis untuk membedah kerumitan isu menjadi bagian-bagian yang lebih mudah dipahami. Analisis bukan hanya sekadar penguraian data, tetapi juga merupakan proses intelektual yang menghubungkan fenomena empiris dengan pemahaman teoritis. Untuk memberikan batasan operasional yang jelas dalam penelitian ini, penulis merujuk pada tiga pandangan ahli yang terdapat dalam literatur akademik.

Pemahaman yang mendalam tentang analisis sebagai proses sistematis dijelaskan secara menyeluruh oleh Sugiyono (2019, Amruddin et al., 2022, *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*). Ia menyatakan bahwa analisis bukan hanya sekadar penguraian data, tetapi merupakan aktivitas mencari dan menyusun data secara sistematis yang diperoleh dari wawancara, catatan lapangan, dan dokumentasi. Proses ini mengharuskan peneliti untuk mengorganisasikan data ke dalam kategori, membagikannya menjadi unit-unit, melakukan sintesis, serta memilih informasi yang penting untuk diteliti.

Sugiyono menekankan bahwa tujuan akhir dari rangkaian proses ini adalah menghasilkan kesimpulan yang mudah dipahami, baik bagi peneliti maupun orang lain, sehingga data mentah dapat berubah menjadi informasi yang bermakna.

Di sisi lain, fokus pada fungsi analisis dalam menyederhanakan kompleksitas data menjadi perhatian utama Hardani dkk. (2020) dalam buku mereka yang berjudul *Metode Penelitian Kualitatif & Kuantitatif*. Mereka mendefinisikan analisis data sebagai proses yang menyederhanakan data ke dalam bentuk yang lebih mudah dibaca dan diinterpretasikan. Hal ini dikarenakan data lapangan sering kali kompleks dan tidak teratur. Tanpa analisis yang mendalam, data tersebut hanya akan menjadi kumpulan fakta yang tidak memiliki nilai dalam menjawab pertanyaan penelitian. Dengan demikian, Hardani dkk. menempatkan analisis sebagai alat penting untuk mengubah data mentah menjadi narasi ilmiah yang dapat dipertanggungjawabkan.

Sebagai tambahan perspektif prosedural dan fungsional tersebut, Helaluddin dan Wijaya (2019) dalam bukunya *Analisis Data Kualitatif: Sebuah Tinjauan Teori & Praktik* menyajikan pandangan yang lebih mendetail mengenai aspek investigatif. Mereka mendefinisikan analisis sebagai penyelidikan suatu peristiwa untuk memahami keadaan yang sebenarnya. Proses ini dilakukan dengan cara membongkar topik utama menjadi bagian-bagian komponen, menelaah keterkaitan antar bagian, dan menghubungkannya kembali dalam konteks keseluruhan. Pendekatan ini menegaskan bahwa analisis adalah upaya mendalam untuk membongkar struktur masalah guna memperoleh pemahaman yang lengkap dan mendalam mengenai objek yang diteliti.

2. Penyumbatan

Penyumbatan atau *clogging* dalam sistem *intake* kapal diartikan sebagai terhentinya atau terhalangnya aliran fluida karena akumulasi material padat atau semi-padat pada permukaan saringan (*strainer*). Dalam operasional FSRU yang berada di perairan terbuka tetapi statis, ancaman penyumbatan tidak hanya disebabkan oleh pertumbuhan biota yang lambat, tetapi juga seringkali bersifat tiba-tiba dan masif akibat serangan sampah laut (*marine debris*) atau fenomena *blooming* organisme laut seperti ubur-ubur dan *sea butterfly*. Untuk

menganalisis fenomena ini, penulis merujuk pada tiga literatur utama yang membahas resistansi hidrolika, polusi laut, dan dinamika populasi gelatin.

Dilihat dari sudut pandang mekanika fluida, pengaruh penyumbatan pada aliran dijelaskan secara mendetail oleh Gerhart, dkk. dalam buku *Munson, Young, and Okiishi's Fundamentals of Fluid Mechanics, 8th Edition* (2016). Mereka menyatakan bahwa penyumbatan pada saringan berfungsi sebagai "katup" yang menghalangi sebagian jalur aliran, sehingga menghasilkan koefisien kerugian minor (K_L) yang sangat tinggi. Berdasarkan persamaan Bernoulli dan prinsip kekekalan massa, ketika luas penampang efektif (A) berkurang karena sumbatan, kecepatan fluida di celah yang tersisa akan meningkat drastis, yang menyebabkan turbulensi yang signifikan dan penurunan tekanan yang ekstrem di sisi keluaran. Gerhart dan rekan-rekannya menegaskan bahwa hubungan antara persentase penyumbatan dan penurunan tekanan bersifat eksponensial, bukan linear; ini berarti, tambahan sedikit kotoran pada saringan yang sudah setengah tertutup dapat menyebabkan lonjakan penurunan tekanan yang bisa merusak pompa di sisi hilir.

Dalam hal mekanisme pembentukan sumbatan di lingkungan laut, Myles, A. dkk. (2018) dalam jurnal yang berjudul *Bioinspired Aryldiazonium Carbohydrate Coatings: Reduced Adhesion of Foulants at Polymer and Stainless Steel Surfaces in a Marine Environment* memberikan analisis mendalam mengenai proses *biofouling*. Mereka menjelaskan bahwa penyumbatan biologis tidak terjadi secara tiba-tiba, melainkan melalui empat tahap suksesi ekologis, pembentukan film molekuler, kolonisasi bakteri (*microfouling*), pembentukan biofilm lendir, dan akhirnya penempelan organisme makro (*macrofouling*) seperti teritip dan kerang. Dobretsov menggarisbawahi bahwa tahap kritis penyumbatan *sea-chest* sering kali terabaikan pada tahap *microfouling* padahal, lapisan lendir bakteri ini secara signifikan meningkatkan kekasaran permukaan saringan dan menyediakan perekat biologis yang kokoh bagi sampah laut makroskopis untuk terjebak dan menumpuk secara permanen, yang pada akhirnya dapat menyebabkan sumbatan fisik total.

Dalam industri LNG, dampak operasional dari penyumbatan telah dibahas oleh Mokhatab, S. & Makwashi, N. dalam buku referensi utama *Handbook of*

Liquefied Natural Gas, 2nd Edition (2019). Mokhatab mengemukakan kritik bahwa desain sistem *intake* air laut pada FSRU kerap hanya mengutamakan filtrasi partikel, sementara dinamika *flow assurance* saat terjadinya penyumbatan parsial seringkali diabaikan. Dia menjelaskan bahwa ketika *strainer* terhambat, terjadi fenomena kelaparan aliran pada *suction* pompa. Hal ini tidak hanya menurunkan debit air pendingin yang menuju *heat exchanger*, tetapi juga mengubah titik kerja pompa keluar dari kurva efisiensinya (*Best Efficiency Point*), yang dapat memicu kavitasi dan getaran destruktif. Mokhatab menyimpulkan bahwa penyumbatan merupakan variabel gangguan utama yang menghubungkan lingkungan laut eksternal dengan kegagalan termodinamika dalam sistem regasifikasi.

Mekanisme fisik penyumbatan yang disebabkan oleh organisme lunak dijelaskan secara rinci oleh Mar Bosch-Belmar, dkk. dalam artikel jurnal berjudul "*Jellyfish Impacts on Marine Aquaculture and Fisheries*" (2020). Mereka mendefinisikan ubur-ubur sebagai material penyumbat berbentuk gelatin yang memiliki sifat visko-elastis, yang berbeda secara mendasar dari sampah padat atau biota bercangkang keras. Bosch-Belmar menjelaskan bahwa di bawah pengaruh tekanan hisap dari pompa air laut, tubuh ubur-ubur tidak hanya menempel di permukaan saringan, tetapi juga mengalami deformasi plastis yang memaksanya mengikuti bentuk dan kontur lubang saringan *sea-chest*. Fenomena deformasi ini membentuk lapisan sumbatan yang hampir kedap udara, yang secara efektif memblokir total aliran air dan sangat sulit dibersihkan dengan metode backwash standar, karena biomassa tersebut cenderung hancur menjadi residu lendir lengket saat didorong kembali, bukannya terlepas secara utuh.

Teori ini sangat penting untuk menjelaskan fenomena serangan *sea butterfly* atau ubur-ubur di lokasi FSRU Jawa Satu. Organisme ini kerap muncul dalam jumlah yang sangat banyak yang dibawa oleh arus musiman. Menurut teori ini, mekanisme pembersihan *backflushing* sering kali tidak efektif mengatasi jenis penyumbatan ini karena tubuh organisme tersebut hancur tetapi tetap lengket menyumbat celah saringan, atau bahkan menjadi semakin padat saat ditekan. Oleh karena itu, kehadiran gerombolan *sea butterfly* atau ubur-ubur di area *sea-chest strainer* dianggap sebagai ancaman operasional yang serius yang dapat menyebabkan terhentinya total suplai air laut dalam waktu singkat, yang

berdampak langsung pada penghentian produksi gas.

3. *Sea butterfly*

Sea Butterfly dari spesies *creseis acicula* merupakan siput laut pelagis (*pteropod*) bercangkang jarum dengan siklus hidup yang unik dan kemampuan untuk membentuk ledakan populasi (*bloom*) secara masif dalam waktu singkat.

Mekanisme biologis yang memicu terjadinya ledakan populasi ini dijelaskan secara mendalam oleh Qingxia Liu, dkk dalam jurnal "*Marine Environmental Research*" berjudul "*Rising temperature contributed to the outbreak of a macrozooplankton Creseis Acicula by Enhancing Its Feeding and Assimilation*" (2022). Liu mengemukakan bahwa suhu air laut memiliki peranan penting dalam metabolisme spesies ini. Penelitiannya menunjukkan bahwa kenaikan suhu permukaan laut yang disertai dengan ketersediaan fitoplankton yang melimpah dapat secara drastis meningkatkan laju asimilasi energi *creseis acicula*. Hal ini memungkinkan spesies ini untuk bereproduksi dan tumbuh dengan kecepatan eksponensial, sehingga menciptakan awan biomassa yang padat di kolom air dalam hitungan hari. Teori ini menjadi dasar untuk memperkirakan bahwa frekuensi penyumbatan *sea-chest* akan meningkat karena fenomena pemanasan global di perairan tropis.

Mengenai dampak fisik dari densitas biomassa terhadap infrastruktur industri, Ming Dai, dkk dalam jurnal "*Science of The Total Environment*" melalui artikel "*An unprecedented Outbreak of Pelagic Molluscs Creseis Acicula in Daya Bay, South China Sea*" (2020) memberikan analisis kuantitatif mengenai skala penyumbatan. Dai mengamati bahwa rekor densitas *bloom* mencapai 5.600 individu per meter kubik (ind/m^3) di area *intake* pendingin. Dalam penelitiannya, ia mengkritisi sistem penyaringan konvensional yang sering gagal menangani spesies ini karena bentuk cangkangnya yang tajam seperti jarum. Struktur hidrodinamis ini memungkinkan *creseis acicula* untuk lolos dari saringan kasar dengan posisi tegak lurus terhadap aliran, namun kemudian mengendap dan saling mengunci di saringan halus, membentuk lapisan sedimen kalsium karbonat yang keras dan sulit dibersihkan.

Dari perspektif sebaran geografis dan ancaman global bagi fasilitas pesisir, bahwa fenomena *swarming* ini bersifat *circumglobal* dan sering kali dipicu oleh perubahan salinitas yang mendadak akibat curah hujan atau pola arus musiman.

Temuan pentingnya menunjukkan bahwa *creseis acicula* tidak hanya menyebabkan masalah mekanis berupa penyumbatan aliran, tetapi juga masalah kesehatan keselamatan kerja. Cangkang jarum mereka yang pecah dapat melukai kulit penyelam atau teknisi saat melakukan pembersihan manual di *sea-chest*, sehingga membuat prosedur penanganannya jauh lebih berbahaya dibandingkan dengan *biofouling* biasa.

4. Migrasi *sea butterfly*

Pola kemunculan musiman dan pergerakan massal spesies *creseis acicula* dianalisis dalam konteks interaksi hidro-meteorologis. L Wen-Tseng, dkk dalam artikel yang berjudul "*Seasonal Dynamics of Planktonic Pteropods in the Taiwan Strait, Western North Pacific Ocean*" (2016) mengajukan teori Keterkaitan Muson yang menunjukkan bahwa kemunculan spesies ini tidak acak, ada korelasi positif yang kuat dengan periode Peralihan Musim, terutama saat transisi dari musim dingin ke musim panas. Wen-Tseng menjelaskan bahwa pada masa ini terjadi stratifikasi kolom air yang stabil dan kenaikan suhu permukaan laut yang optimal (28°C–30°C), yang memicu fase reproduksi massal dan meningkatkan kepadatan populasi hingga ribuan kali lipat dibanding bulan lainnya. Oleh karena itu, periode peralihan musim menjadi waktu kritis bagi operator FSRU untuk meningkatkan kewaspadaan monitoring.

Mengenai mekanisme transportasi atau migrasi horizontal spesies ini ke lokasi industri, Tornero, G Hanke (2016) dalam jurnal "*Marine Pollution Bulletin*". Hanke menjelaskan bahwa sebagai organisme planktonik, *creseis acicula* tidak melakukan migrasi aktif melawan arus seperti ikan, melainkan terbawa oleh sistem arus pusaran (*eddy currents*). Teori ini menyatakan bahwa gerombolan *creseis acicula* cenderung terakumulasi di zona konvergensi arus, di mana pertemuan dua massa air mengumpulkan material terapung menjadi satu jalur padat. Implikasi operasional dari teori ini adalah bahwa posisi FSRU yang statis sering kali terletak di jalur lintas alami arus yang membawa gerombolan ini, sehingga prediksi serangan *sea butterfly* berbasis pada pemetaan pola arus lokal, bukan hanya pengamatan visual.

Selain pergerakan horizontal, migrasi harian secara vertikal juga berperan penting dalam menentukan kapan penyumbatan terjadi. Gaza M, dkk dalam artikel "*Diel vertical migration of copepods in the tropical and subtropical*

Atlantic Ocean” membahas *fenomena Diel Vertical Migration (DVM)*. Gaza menjelaskan bahwa *creseis acicula* memiliki ritme sirkadian yang ketat, mereka bermigrasi ke lapisan permukaan pada malam hari untuk mencari makan, dan turun ke kedalaman yang lebih gelap pada siang hari untuk menghindari predator. Teori ini memberikan penjelasan mengapa insiden penyumbatan *sea-chest* yang umumnya berada di kedalaman 5–10 meter sering kali terjadi atau memburuk pada malam hari. Djeghri menyimpulkan bahwa pemahaman terhadap siklus DVM sangat penting untuk merancang strategi *backwash* preventif yang terjadwal berdasarkan ritme biologis organisme tersebut.

5. **Ubur-ubur**

Ubur-ubur, yang juga dikenal sebagai *Gelatinous Zooplankton*, adalah organisme laut dengan tubuh lunak dan kandungan air melebihi 95%. Organisme ini mampu menimbulkan gangguan besar pada sistem pendingin industri melalui mekanisme deformasi fisik. Mengacu pada siklus hidup dan dinamika populasinya, Kylie A. Pitt, dkk dalam artikel berjudul "*Claims That Anthropogenic Stressors Facilitate Jellyfish Blooms Have Been Amplified Beyond the Available Evidence: A Systematic Review*" (2018) memperkenalkan teori *Boom and Bust*. Pitt menjelaskan bahwa ubur-ubur memiliki fase polip benthik yang dapat bertahan dalam keadaan pasif di dasar laut selama bertahun-tahun. Ketika dipicu oleh variabel lingkungan tertentu, seperti peningkatan suhu air laut atau eutrofikasi, polip ini akan mengalami strobilasi serentak dan melepaskan ribuan medusa muda ke kolom air. Teori ini menegaskan bahwa kemunculan ubur-ubur di *intake* air laut bersifat episodik dan eksplosif, bukan bertahap. Mereka sering muncul dalam bentuk awan biomassa padat secara tiba-tiba, sering kali melebihi kapasitas desain sistem penyaringan.

Mengenai interaksi ubur-ubur dengan infrastruktur penyedot air, Kastanevakis S, dkk dalam jurnal berjudul "*Deliverable 5.2.: Review and Testing Methods for HABs, Invasive Species, Jellyfish Blooms, and Top Predators*" (2025) memberikan analisis tentang sifat rheology tubuh ubur-ubur. Kastanevakis membedakan penyumbatan yang disebabkan oleh ubur-ubur dengan sampah padat biasa. Ia mengemukakan teori di mana tubuh lunak ubur-ubur terhisap dan berubah bentuk mengikuti kontur lubang *sea-chest strainer*. Akibat tekanan pompa yang menghisap, tubuh ubur-ubur tidak hancur, tetapi

memadat dan membentuk segel kedap udara pada saringan. Hal ini membuat metode pembersihan backwash kurang efektif, karena tekanan balik justru akan mengubah tubuh mereka menjadi lendir lengket yang masuk lebih dalam ke sistem pipa.

Dalam konteks tren global dan faktor antropogenik, Morandini, AC, dkk dalam sebuah studi komprehensif di buku “*Impacts of jellyfish: gelatinous problems or opportunities?*” (2022) mengaitkan frekuensi penyumbatan industri dengan kerusakan ekosistem. Morandini mengembangkan teori bahwa aktivitas manusia seperti penangkapan ikan berlebih yang menghilangkan predator alami ubur-ubur dan pembangunan struktur laut buatan, seperti di area FSRU, memberikan substrat ideal bagi polip ubur-ubur untuk berkembang biak. Dalam tinjauan ini, Brotz menyimpulkan bahwa FSRU yang beroperasi di perairan pesisir yang tertekan secara ekologis mempunyai risiko lebih tinggi terhadap insiden penyumbatan ubur-ubur, menjadikan fenomena ini sebagai risiko operasional yang permanen dan bukan sekadar kejadian acak alami.

6. Migrasi ubur-ubur

Fenomena kemunculan ubur-ubur secara musiman dianalisis melalui pendekatan biologi termal dan ketersediaan nutrisi. Valentina V. Kasyan dalam jurnal “*Science of The Total Environment*” melalui studi *Seasonal Variations in Structure and Distribution of Zooplankton Community in Vostok Bay (Peter the Great Bay, Northwestern Sea of Japan)*” (2025) membangun teori Pemicu Termal Musiman. Valentina mengkritisi pandangan lama yang menganggap ubur-ubur muncul secara acak, menurut teorinya, fase polip bentik ubur-ubur memiliki tombol aktivasi yang sangat sensitif terhadap ambang batas suhu tertentu. Dalam tinjauannya, Valentina membuktikan bahwa transisi dari musim dingin ke musim semi atau panas saat suhu air laut mulai naik secara stabil memicu proses strobilasi (pelepasan bayi ubur-ubur) secara massal. Implikasi kritis dari teori ini bagi industri adalah bahwa *blooming season* dapat diprediksi dengan memantau tren kenaikan suhu permukaan laut (SST monitoring), sehingga operator memiliki jeda waktu untuk mempersiapkan protokol pencegahan sebelum puncak populasi terjadi.

Selain kemunculan musiman, perilaku pergerakan harian organisme ini dijelaskan oleh Gaza M, dkk dalam artikel “*Diel vertical migration of copepods*

in the tropical and subtropical Atlantic Ocean ". Gaza mempopulerkan teori *Diel Vertical Migration* (DVM) sebagai mekanisme pertahanan hidup utama ubur-ubur. Teorinya menjelaskan bahwa massa ubur-ubur cenderung bergerak naik ke permukaan pada malam hari untuk mencari makan dan turun ke zona mesopelagik pada siang hari untuk menghindari predator visual. Gaza menyoroti implikasi teknis DVM terhadap posisi *intake* air laut jika *sea-chest* kapal berada di kedalaman dangkal (misal 5-10 meter), risiko penyumbatan akan meningkat drastis pada malam, sementara pada siang hari, risiko tersebut menurun seiring migrasi ubur-ubur ke kedalaman yang lebih aman. Mengenai mekanisme transportasi jarak jauh yang membawa populasi ubur-ubur dari laut lepas ke area FSRU.

Fabio Benedetti, dkk. dalam jurnal "*Global Ecology and Biogeography*" dengan artikel "*Major Restructuring of Marine Plankton Assemblages Under Global Warming*" (2021) mengajukan teori Adveksi Arus Lintas Batas. Benedetti menekankan bahwa ubur-ubur adalah organisme planktonik yang pergerakan horizontalnya terbawa oleh arus laut. Dalam analisis pemodelan globalnya, ia menemukan bahwa perubahan pola sirkulasi arus akibat pemanasan global menciptakan jalur tol biologis baru yang mengkonsentrasikan biomassa ubur-ubur ke zona konvergensi pesisir. Teori Benedetti memberikan peringatan kritis bahwa FSRU yang berlabuh di jalur arus musiman akan terus-menerus terpapar risiko kiriman ubur-ubur dari wilayah lain, meskipun kondisi lokal perairan sekitar kapal sebenarnya tidak mendukung pertumbuhan polip.

7. Regasifikasi

Regasifikasi adalah proses industri yang sangat penting dalam rantai pasokan LNG yang bertujuan untuk mengubah fase fluida dari bentuk cair kriogenik menjadi bentuk gas agar dapat didistribusikan melalui jaringan pipa komersial. Proses ini bukan hanya pemanasan sederhana, tetapi juga merupakan operasi teknik kimia yang melibatkan perubahan fase yang signifikan dengan rasio ekspansi volume yang besar. Untuk memahami kompleksitas proses ini, penulis merujuk pada tiga sumber utama yang membahas teknologi LNG, rekayasa kriogenik, dan pemrosesan gas alam.

Referensi pertama bersumber dari tinjauan fundamental mengenai proses fisik regasifikasi yang dijelaskan oleh Mokhatab, S. & Makwashi, N. dalam

buku referensi utama industri berjudul *Handbook of Liquefied Natural Gas*, 2nd Edition (2019). Mokhatab menekankan bahwa inti dari regasifikasi bukan sekadar pemanasan, melainkan manajemen ekspansi volume dan perubahan energi internal. Ia menguraikan bahwa proses ini melibatkan penyerapan energi panas yang masif untuk memfasilitasi dua tahap yaitu pemanasan sensibel dan pemanasan laten. Mokhatab menyoroti variabel kritis rasio ekspansi volume 1:600, di mana satu unit volume LNG akan mengembang menjadi 600 unit gas. Implikasi teoritisnya adalah sistem regasifikasi harus didesain untuk menangani lonjakan tekanan dan kecepatan aliran yang ekstrem di dalam *vaporizer* tanpa menyebabkan kerusakan mekanis pada pipa. Kinerja regasifikasi menurut Mokhatab tidak hanya diukur dari kemampuan mengubah fase, tetapi dari stabilitas *send-out rate* yang harus konstan meskipun kondisi lingkungan suhu air laut tidak stabil. Kegagalan dalam menjaga kestabilan ini akan menyebabkan proses *upset* yang dapat mematikan seluruh *train* produksi.

Dalam perspektif integrasi sistem dan spesifikasi output, Kidnay, A. J. & Parrish, W. R. dalam buku *Fundamentals of Natural Gas Processing*, 3rd Edition (2020) membahas regasifikasi sebagai jembatan penting antara transportasi laut dan jaringan pipa darat. Kidnay menekankan bahwa keberhasilan regasifikasi tidak hanya diukur dari perubahan fase, tetapi juga dari kepatuhan terhadap *gas interchangeability* dan spesifikasi jaringan pipa. Teori mereka menunjukkan bahwa gas hasil regasifikasi harus memenuhi kriteria Indeks *wobbe* dan *heating value*. Kidnay juga secara kritis membahas tantangan *cryogenic breakdown*, jika proses transfer panas tidak dapat mencapai suhu target misalnya akibat gangguan pada pemanas, material pipa baja karbon di *vaporizer* akan terkena suhu dingin yang ekstrem, yang dapat menyebabkan kerusakan akibat kerapuhan material. Oleh karena itu, sistem kontrol suhu menjadi variabel keselamatan yang sangat penting dalam teori ini.

Hao Chang dkk, dalam jurnal internasional "*Energy*" tahun 2020, mengupas mekanisme perpindahan panas pada peralatan regasifikasi dalam artikel berjudul "*Thermodynamic Analysis and Optimization of Regasification Systems for LNG-FSRU*". Mereka melakukan analisis mendalam mengenai efisiensi termal dari berbagai metode regasifikasi. Dalam studi ini, Chang secara kritis membandingkan sistem *open loop* yang memanfaatkan air laut dengan sistem

closed loop yang menggunakan boiler. Ia menjelaskan bahwa kinerja regasifikasi pada sistem *open loop* sangat dipengaruhi oleh variabel lingkungan, terutama suhu dan laju aliran massa air laut. Berdasarkan hukum termodinamika, Chang menunjukkan bahwa penurunan debit air laut (karena adanya penyumbatan *strainer*) dapat mengurangi *Log Mean Temperature Difference* (LMTD) secara drastis, yang berdampak langsung pada kemampuan *vaporizer* dalam menguapkan LNG dengan sempurna, sehingga menyisakan cairan yang bisa merusak peralatan hilir.

8. *Sea-chest strainer*

Jika sistem air laut diibaratkan sebagai sistem pernapasan pada manusia, maka *sea-chest* adalah hidungnya, dan *strainer* adalah bulu hidung yang menyaring kotoran agar tidak masuk ke paru-paru. Dalam konteks kapal atau FSRU, komponen ini memegang peran krusial sebagai pintu gerbang utama masuknya air laut.

Dilihat dari segi desain konstruksi dan hidrodinamika, Molland, A. F. dalam buku ensiklopedis *The Maritime Engineering Reference Book: A Guide to Ship Design, Construction and Operation* (2016) memberikan analisis mendalam tentang spesifikasi geometris saringan. Molland menyoroti pentingnya teori *open area ratio*, yang menyatakan bahwa luas total lubang-lubang pada saringan harus dirancang minimal 1,5 hingga 2 kali lebih besar daripada luas penampang pipa hisap utama. Secara teoritis, rasio tambahan ini diperlukan untuk mengurangi dampak hukum Bernoulli yang memiliki tujuan untuk menjaga agar kecepatan aliran masuk (*inflow velocity*) tetap rendah ($< 0,15$ m/s) guna menghindari turbulensi berlebihan dan memastikan pasokan air ke pompa tetap penuh meskipun saringan tertutup kotoran hingga 50%. Molland memperingatkan bahwa pelanggaran terhadap rasio ini dapat menyebabkan kavitasi dini pada pompa dalam kondisi laut yang kotor.

Dalam buku *Ship Construction*, 7th Edition (2018) karya Eyres, D. J. & Bruce, G. J. dibahas posisi dan integrasi strainer dalam lambung kapal. Penulis menjelaskan bahwa *sea-chest strainer* memiliki peran penting tidak hanya dalam menyaring limbah, tetapi juga berfungsi sebagai baffle (pemecah arus) untuk meredakan turbulensi aliran air sebelum masuk ke pompa. Mereka menekankan pentingnya desain grid saringan yang mampu memisahkan

gelembung udara dari air (*de-aeration*), terutama dalam kondisi laut yang bergelombang. Dalam peninjauan mereka, jika saringan gagal memecah turbulensi, hal ini dapat mengakibatkan *air ingestion* (masuknya udara) ke dalam sistem pendingin, yang berpotensi menyebabkan hilangnya daya hisap pompa (*loss of suction*) dan *overheating* pada mesin, tanpa memandang ada atau tidaknya sampah fisik.

Mokhatab, S. & Makwashi, N. dalam bukunya yang berjudul *Handbook of Liquefied Natural Gas, 2nd Edition* (2019) menempatkan *strainer* sebagai *critical safety element* (CSE) dalam sistem *intake* air laut. Berbeda dari kapal konvensional, Mokhatab mengkritik bahwa FSRU, yang memerlukan debit air besar untuk proses regasifikasi, sering kali tidak dapat mengandalkan saringan standar. Ia mengusulkan bahwa *sea-chest strainer* pada FSRU harus dilengkapi dengan sistem pembersihan aktif seperti *auto-backflush* atau *air burst* serta sistem MGPS yang terintegrasi langsung di belakang saringan. Tanpa integrasi tersebut, saringan hanya akan menjadi tempat ideal bagi pertumbuhan *biofouling*, yang mempercepat laju penyumbatan dan secara langsung mengancam kontinuitas produksi LNG.

9. ISM Code

International Safety Management Code atau yang lebih dikenal dengan ISM Code merupakan salah satu standar internasional yang dikeluarkan oleh *International Maritime Organization* (IMO) untuk meningkatkan keselamatan pelayaran dan pencegahan pencemaran lingkungan laut. Kode ini mewajibkan setiap perusahaan pelayaran dan kapal untuk menerapkan *Safety Management System* (SMS) secara terstruktur. ISM Code mulai berlaku secara wajib pada tahun 1998 melalui *Chapter IX SOLAS Convention*. Tujuan utamanya adalah melindungi jiwa manusia, menjaga keselamatan kapal, serta mencegah terjadinya kerusakan terhadap lingkungan laut.

Menurut IMO (2018) dalam buku *ISM Code: International Safety Management Code with Guidelines for its Implementation (2018 Edition)*, ISM Code terdiri dari 13 elemen utama yang harus dipenuhi oleh perusahaan. Mulai dari penyusunan kebijakan keselamatan, penetapan tanggung jawab, identifikasi risiko, prosedur operasi, penanganan keadaan darurat, hingga pelaksanaan audit dan review manajemen secara berkala. Kode ini sangat menekankan komitmen

dari manajemen puncak serta pembentukan budaya keselamatan di seluruh organisasi, baik di kantor darat maupun di atas kapal.

Pineda (2025) dalam artikel berjudul “*The ISM Code: A critical view of the contemporary challenges and future prospects for maritime safety management systems (SMS) in the new digital Era*” yang diterbitkan di *Journal of Maritime Research*, menyatakan bahwa meskipun ISM Code telah banyak membantu meningkatkan keselamatan maritim selama lebih dari 25 tahun, implementasinya masih menghadapi beberapa tantangan. Di antaranya adalah dokumen yang terlalu birokratis, kesenjangan antara prosedur tertulis dengan praktik di lapangan, serta belum optimalnya pemanfaatan teknologi digital dalam sistem manajemen keselamatan.

Dalam penerapannya sehari-hari, ISM Code mengharuskan perusahaan menunjuk seorang *Designated Person Ashore* (DPA) yang berfungsi sebagai penghubung antara kapal dan manajemen darat. Selain itu, perusahaan juga wajib melakukan audit internal dan eksternal secara rutin untuk mendapatkan sertifikat *Document of Compliance* (DOC) dan *Safety Management Certificate* (SMC). Pendekatan ini mengikuti siklus *Plan-Do-Check-Act* (PDCA) yang terus menerus dilakukan untuk perbaikan berkelanjutan.

10. **Kuantitas *send-out* gas**

Jika FSRU diibaratkan sebuah pabrik, maka *send-out* gas adalah produk akhirnya. Secara sederhana, kuantitas *send-out* adalah jumlah gas yang berhasil disalurkan oleh FSRU ke konsumen (dalam hal ini Pembangkit Listrik/PLN) dalam periode waktu tertentu. Angka ini bukan sekadar statistik, tapi adalah tolak ukur utama apakah FSRU tersebut bekerja dengan benar atau tidak. Untuk memahami aturan main mengenai kuantitas ini, penulis merujuk pada tiga literatur utama industri gas:

Secara mendasar, konsep komersial dan operasional dari variabel ini dijelaskan oleh Mokhatab, S. & Makwashi, N. dalam buku referensi industri “*Handbook of Liquefied Natural Gas, 2nd Edition*” (2019). Mokhatab menunjukkan bahwa dalam operasi FSRU modern, parameter kuantitas pengiriman tidak lagi diukur hanya berdasarkan volume volumetrik (MMSCFD), tetapi berfokus pada konten energi (*Heating Value* dalam MMBtu). Teori ini berlandaskan pada *gas sales agreement* (GSA) yang menerapkan sistem *daily*

gas nomination. Mokhatab menekankan bahwa setiap kekurangan negatif antara gas yang dinominasikan oleh pembeli (PLN) dengan gas yang sebenarnya dikirimkan dikategorikan sebagai *shortfall quantity*. Dalam analisis kritisnya, ia menyatakan bahwa kegagalan untuk memenuhi kuantitas ini misalnya akibat gangguan teknis pada *vaporizer* secara otomatis memicu klausa penalti finansial "*Liquidated Damages*", sehingga menjadikan stabilitas pengiriman sebagai indikator kinerja utama keberhasilan operasi terminal.

Terkait dengan aspek akurasi pengukuran dan validasi data kuantitas, Kidnay, A. J. & Parrish, W. R. dalam buku mereka yang berjudul *Fundamentals of Natural Gas Processing, 3rd Edition* (2020) membahas pentingnya sistem instrumentasi presisi tinggi yang disebut *Custody Transfer Measurement System* (CTMS). Kidnay mengemukakan bahwa angka *send-out* yang secara hukum valid harus berasal dari *metering skid* dengan standar akurasi di bawah 1% (sering kali menggunakan *Ultrasonic Flow Meter multipath*). Dalam teori yang diusulkannya, Kidnay menekankan bahwa fluktuasi aliran yang disebabkan oleh ketidakstabilan proses di *sea-chest* (seperti *hunting* pada pompa atau sumbatan parsial) dapat mengakibatkan ketidakpastian pengukuran yang merugikan. Dengan demikian, integritas data *send-out* sangat dipengaruhi oleh kestabilan profil aliran fluida, aliran yang terputus-putus akibat seringnya *trip* pada sistem regasifikasi dapat mengakumulasi kesalahan perhitungan energi yang signifikan pada akhir periode penagihan.

Terkait ketergantungan kapasitas pengiriman terhadap utilitas pendukung, Hao Chang, dkk dalam jurnal internasional "*Energy*" melalui artikel penelitian "*Thermodynamic Analysis and Optimization of Regasification Systems for LNG-FSRU*" (2020) mengusulkan teori Ketersediaan Proses. Chang menolak asumsi bahwa *Maximum Continuous Rating* (MCR) merupakan angka tetap. Melalui analisis termodinamika, ia membuktikan bahwa kapasitas pengiriman adalah variabel dinamis yang sebanding dengan ketersediaan panas dari air laut. Teori ini menunjukkan bahwa penurunan parameter sumber panas seperti aliran air laut yang terhambat oleh saringan yang kotor akan menurunkan Operating Envelope secara linear. Dengan kata lain, demi mencegah pembekuan alat, sistem kontrol secara otomatis akan membatasi kuantitas pengiriman aktual jauh di bawah permintaan yang telah dinyatakan, menciptakan celah defisit energi

yang menjadi fokus utama dalam analisis kegagalan produksi.

11. Sampah laut (*marine debris*)

Sampah laut atau *marine debris* didefinisikan sebagai material padat buatan manusia yang persisten, yang sengaja atau tidak sengaja dibuang atau ditinggalkan di lingkungan laut dan pesisir. Material ini mencakup plastik, logam, kaca, dan tekstil yang sulit terurai. Plastik merupakan komponen dominan, sering kali mencapai 80-85% dari total sampah laut yang ditemukan di berbagai habitat, mulai dari permukaan hingga sedimen dasar laut. Sampah laut berasal dari sumber darat seperti sungai dan limbah perkotaan maupun sumber laut seperti jaring ikan yang hilang.

Menurut GESAMP (2019) dalam laporan berjudul “*Guidelines for the Monitoring and Assessment of Plastic Litter and Microplastics in the Ocean* (GESAMP Reports and Studies No. 99)”, sampah laut menyebabkan dampak ekologis yang signifikan melalui mekanisme *entanglement* (terjerat) dan *ingestion* (tertelan) pada ratusan spesies laut, termasuk penyu, burung laut, dan mamalia. Mikroplastik (<5 mm) yang berasal dari fragmentasi makroplastik semakin meluas dan berperan sebagai vektor bahan kimia berbahaya, mengganggu kesehatan individu hingga level ekosistem. Selain itu, sampah laut juga memengaruhi aspek sosial-ekonomi melalui kerusakan perikanan, biaya pembersihan pantai, dan penurunan pariwisata.

UNEP (2021) dalam laporan berjudul “*From Pollution to Solution: A Global Assessment of Marine Litter and Plastic Pollution*” menekankan bahwa tanpa intervensi mendesak, volume plastik yang masuk ke laut dapat meningkat drastis. Laporan ini merekomendasikan pendekatan holistik berbasis pencegahan di hulu, manajemen limbah sirkular, dan kerjasama global untuk mengurangi polusi *transboundary*. Isu sampah laut bersifat antropogenik dan memerlukan tindakan terintegrasi agar ekosistem laut dan kesejahteraan manusia tetap terjaga.

12. *Differential pressure*

Dalam sistem regasifikasi berbasis *open loop* pada FSRU, *differential pressure* (ΔP) merupakan parameter krusial yang mencerminkan kemampuan pompa untuk mengatasi resistansi sistem. *Differential pressure* adalah selisih tekanan antara sisi *discharge* dan *suction* pompa, yang menentukan

kemampuan SWLP memompa air laut dari *sea-chest* menuju GWH. Secara teknis, ΔP ini harus cukup tinggi untuk mengalirkan volume air laut dalam jumlah besar (*high flow*) dengan *head* yang relatif rendah, sekaligus mengatasi *pressure drop* akibat pipa, *strainer*, dan *heat exchanger*. Tanpa *differential pressure* yang optimal dan stabil, proses perpindahan panas tidak akan berjalan efisien, sehingga regasifikasi LNG terganggu.

Menurut Naveiro et al. (2021) dalam artikel “*Energy efficiency and environmental measures for Floating Storage Regasification Units*” yang diterbitkan di *Energy Reports*, *differential pressure* pada SWLP di sistem FSRU *open loop* mencapai sekitar 7.5 bar untuk mengatasi *pressure drop* utama yang terjadi di *heat exchangers*. Studi ini menekankan bahwa pengelolaan ΔP sangat penting untuk menjaga efisiensi keseluruhan sistem, karena *pressure drop* yang tinggi akibat *fouling* atau penyumbatan *strainer* akan meningkatkan beban pompa dan konsumsi daya listrik secara signifikan. Desain pompa harus mempertimbangkan variasi ΔP akibat perubahan level air laut dan kondisi operasional untuk mencegah penurunan performa.

Siahaan, J et al. (2025) dalam jurnal “*Implementation of Failure Mode and Effects Analysis in the Maintenance Strategy for the Main Engine Cooling System Pump of Fishing Vessels*” menjelaskan bahwa peningkatan *differential pressure* yang tidak normal sering menjadi indikator awal penyumbatan *strainer* atau *fouling* pada sistem pompa air laut. Ketika *differential pressure* naik melebihi batas normal, pompa bekerja lebih keras, memicu fenomena kavitasi yang mempercepat erosi *impeller*. Pemantauan berlanjut terhadap *differential pressure*, bersama vibrasi dan *suction pressure*, menjadi strategi utama untuk mendeteksi degradasi pompa sebelum terjadi kegagalan yang dapat menghentikan operasi regasifikasi. Pengendalian *differential pressure* SWLP secara langsung memengaruhi efisiensi energi dan keandalan sistem regasifikasi secara keseluruhan. Penurunan ΔP yang tidak terkendali akibat korosi, erosi, atau perubahan kondisi laut dapat mengurangi laju aliran air laut, sehingga menurunkan kapasitas transfer panas di GWH.

13. *Sea water lifting pump*

Dalam sistem regasifikasi berbasis *open loop*, *sea water lifting pump* memiliki peran krusial sebagai jantung sirkulasi. Layaknya pembuluh darah,

pompa ini berfungsi untuk memompa air laut ke seluruh sistem. Secara teknis, pompa ini adalah alat mekanis yang pindah fluida cair dari reservoir laut ke unit pemanas (*heat exchanger*) dengan cara meningkatkan tekanan hidroliknya. Tanpa pompa yang beroperasi dengan stabil, air laut hanya akan terjebak di *sea-chest*, dan proses perpindahan panas tidak akan terjadi.

Dalam operasional FSRU, peran penting dan karakteristik desain pompa dijelaskan oleh Mokhatab, S. dan Makwash, N. dalam buku *Handbook of Liquefied Natural Gas, 2nd Edition* (2019). Mokhatab mengategorikan SWLP sebagai jantung sistem regasifikasi *open loop*, dengan tugas utama menyediakan medium pemanas yang konstan. Berbeda dengan pompa pendingin pada kapal biasa, SWLP di FSRU dirancang untuk menghadapi *high flow, low head* secara terus-menerus (24/7). Teori Mokhatab menyoroti bahwa keandalan SWLP dipengaruhi oleh *Net Positive Suction Head Available* (NPSHa). Mengingat posisi *intake* yang tetap namun level air laut yang bervariasi, pompa ini sangat rentan terhadap fluktuasi tekanan hisap yang dapat menyebabkan kavitasi jika desain impeller tidak memiliki margin NPSH yang cukup.

Dalam hal efisiensi energi dan beban termodinamika, Hao Chang, dkk dalam jurnal internasional "*Energy*" melalui artikel penelitian berjudul "*Thermodynamic Analysis and Optimization of Regasification Systems for LNG-FSRU*" (2020) mengidentifikasi SWLP sebagai konsumen daya terbesar kedua dalam operasional FSRU setelah kompresor. Chang mengemukakan teori bahwa kinerja SWLP memiliki hubungan terbalik dengan efisiensi pabrik, semakin kotor saringan atau semakin rendah level air laut, maka pompa akan beroperasi lebih keras untuk mempertahankan debit yang konsisten. Dalam analisisnya, Chang menunjukkan bahwa penurunan efisiensi hidrolik pada SWLP akibat *fouling* tidak hanya mengakibatkan pemborosan bahan bakar generator, tetapi juga mengurangi laju transfer panas di *vaporizer*, yang secara langsung membatasi kapasitas produksi gas.

Dalam penelitian terbarunya yang dipublikasikan di "*International Journal of Advanced Multidisciplinary*" dengan judul "*Performance Analysis of Sea Water Cooling Pumps on The Smoothness of The Main Engine Cooling System*" (2025), Billy, A. dkk. memberikan analisis mengenai tingkat degradasi mekanis dan perawatan pompa air laut. Billy mengemukakan bahwa tantangan utama

yang dihadapi oleh SWLP bukanlah durasi operasional, melainkan erosi dan korosi yang diperparah oleh kavitasi. Ia menjelaskan bahwa ketika *sea-chest strainer* mengalami penyumbatan sebagian, akan muncul fenomena yang disebut "Starvasi Aliran", yang dapat menghasilkan gelembung uap di area *impeller*. Ketika gelembung tersebut pecah, hal ini dapat mengikis material logam pada *impeller* yang menyebabkan ketidakseimbangan dan menciptakan getaran destruktif pada *bearing*. Billy menegaskan bahwa pemantauan vibrasi dan *suction pressure* merupakan variabel kontrol yang wajib dilakukan untuk mendeteksi kondisi SWLP sebelum mengalami kegagalan yang parah.

14. ***Open loop sea water***

Dalam sistem regasifikasi FSRU Jawa Satu, istilah *open loop* secara spesifik merujuk pada mekanisme penyediaan energi panas. Proses pemanasan LNG yang dilakukan secara tidak langsung menggunakan fluida perantara tetap dikategorikan sebagai *open loop* karena sumber kalor utamanya berasal dari sirkulasi air laut yang bersifat terbuka.

Berdasarkan penelitian termodinamika terbaru oleh Chang, dkk. dalam jurnal "*Energy*" (2020), sistem ini beroperasi dengan cara mengambil air laut dalam volume besar, mengekstraksi energi termalnya dalam *Heat Exchanger*, dan kemudian membuang kembali air tersebut ke laut. Chang menekankan bahwa dalam konfigurasi ini, air laut berperan sebagai satu-satunya penyuplai energi. Jika sirkulasi air laut berhenti, maka seluruh proses pemanasan akan kehilangan sumber dayanya.

Implementasi sistem *open loop* pada FSRU Jawa Satu bertipe *Intermediate Fluid Vaporizer* (IFV) memiliki karakteristik perpindahan panas yang khas. Penelitian oleh He, et al. yang dipublikasikan dalam "*Applied Thermal Engineering*" (2019) menjelaskan bahwa air laut berfungsi memanaskan fluida perantara (glikol) dalam *glycol water heater*. Panas yang diserap oleh glikol selanjutnya digunakan untuk menguapkan LNG. He menekankan bahwa efisiensi sistem ini sangat bergantung pada stabilitas suhu dan debit air laut. Karena glikol hanya bertindak sebagai perantara, ia tidak dapat menghasilkan panas sendiri. Oleh karena itu, fluktuasi sekecil apapun pada sisi *intake* air laut (akibat gelombang atau kotoran) akan berdampak langsung terhadap penurunan suhu glikol.

Keunggulan utama yang menjadikan sistem *open loop* pilihan utama adalah efisiensi energi. Analisis teknis ekonomis oleh Bae, dkk. dalam "*Ocean Engineering*" (2018) menunjukkan bahwa penggunaan air laut sebagai sumber panas dapat menghilangkan kebutuhan bahan bakar gas yang biasanya digunakan dalam sistem *closed loop*. Bae menghitung bahwa mode *open loop* dapat menghemat konsumsi *fuel gas* hingga 1,5% dari total kargo LNG per perjalanan. Penghematan ini sangat signifikan bagi operasional komersial FSRU Jawa Satu, tetapi juga menempatkan sistem penyediaan air laut (*Sea Water Supply System*) sebagai komponen yang sangat kritis yang harus beroperasi 100% tanpa jeda.

Namun, ketergantungan sepenuhnya pada air laut juga menimbulkan tantangan operasional yang serius, terutama terkait parameter aliran. Studi simulasi dinamika fluida oleh Gong, dkk. dalam "*Journal of Thermal Science*" (2022) menunjukkan bahwa sistem *open loop* sangat rentan terhadap penurunan *mass flow rate*. Dalam desain penukar panas, koefisien perpindahan panas konveksi air laut berbanding lurus dengan kecepatannya. Jika debit air laut menurun akibat penyumbatan pada *strainer*, kemampuan air laut untuk mentransfer panas ke glikol akan menurun drastis. Gong memperingatkan bahwa pada kondisi debit rendah, air laut cenderung mengalami penurunan suhu yang ekstrem di dalam heater, yang berisiko memicu pembekuan pada pelat penukar panas.

Pemilihan mode *open loop* pada FSRU Jawa Satu menempatkan air laut sebagai bahan bakar utama dalam proses regasifikasi. Ini menciptakan hubungan sebab-akibat yang tak terhindarkan, keandalan produksi *send-out gas* sepenuhnya bergantung pada kelancaran aliran air laut di *sea-chest*. Berdasarkan sintesis literatur di atas, setiap gangguan fisik pada sistem intake air laut bukan hanya masalah mekanis pompa, tetapi juga kegagalan suplai energi termal yang dapat mengganggu fungsi termodinamika sistem regasifikasi secara keseluruhan.

15. *Glycol water*

Dalam sistem regasifikasi tipe *Intermediate Fluid Vaporizer* (IFV) yang digunakan pada FSRU, *glycol water* memegang peranan penting sebagai fluida perantara perpindahan panas. Berbeda dengan sistem *Open Rack Vaporizer* (ORV) yang menggunakan air laut secara langsung, sistem IFV memanfaatkan

campuran *ethylene glycol* atau *propylene glycol* dengan air sebagai media penghubung antara air laut dan LNG. Fungsi utama *glycol water* adalah menyerap panas dari air laut di *Glycol Water Heater* (GWH), kemudian mentransfer energi tersebut ke *vaporizer* untuk menguapkan LNG. Penggunaan larutan glikol ini bertujuan untuk menurunkan titik beku dan mencegah pembekuan pada permukaan penukar panas, sekaligus menjaga keamanan operasional sistem.

Said et al. (2022) dalam jurnal berjudul “*Thermophysical properties of water, water and ethylene glycol mixture-based nanodiamond + Fe₃O₄ hybrid nanofluids: An experimental assessment and application of data-driven approaches*” yang diterbitkan di *Journal of Molecular Liquids*, menjelaskan bahwa campuran *water/ethylene glycol* (pada rasio umum 60:40 atau 40:60) banyak digunakan sebagai base fluid karena keseimbangan antara perlindungan anti-beku dan kemampuan transfer panas. Penelitian ini menunjukkan bahwa larutan glikol memiliki viskositas lebih tinggi, kapasitas panas spesifik lebih rendah, serta konduktivitas termal yang menurun seiring peningkatan konsentrasi glikol dibandingkan air murni.

Pérez-Tavernier et al. (2019) dalam artikel berjudul “*Heat transfer performance of a nano-enhanced propylene glycol:water mixture*” yang dimuat di *International Journal of Thermal Sciences*, menyatakan bahwa campuran *propylene glycol-water* (30:70) umum dipilih dalam aplikasi karena sifat non-toksik dan proteksi anti-beku yang baik. Studi ini menyoroti bahwa meskipun penambahan nanopartikel dapat meningkatkan koefisien transfer panas konveksi hingga 15,3%, hal tersebut juga meningkatkan *pressure drop*. Oleh karena itu, optimasi konsentrasi glikol sangat krusial untuk menyeimbangkan efisiensi termal dan konsumsi daya pompa sirkulasi.

Dalam operasional FSRU, *glycol water* bersirkulasi dalam closed loop di sisi GWH, berfungsi sebagai jembatan termal antara air laut (*open loop*) yang korosif dan proses LNG yang bersih. Berdasarkan sintesis teori tersebut, *glycol water* merupakan fluida kerja yang sensitif terhadap perubahan suhu dan aliran. Penurunan suplai panas dari air laut akan langsung berdampak pada penurunan performa keseluruhan sistem regasifikasi karena kapasitas panas spesifik glikol yang relatif rendah.

16. *Glycol water heater*

Dalam sistem regasifikasi tipe IFV yang digunakan pada FSRU, *glycol water heater* memiliki peranan yang sangat penting sebagai jembatan termal. Berbeda dengan sistem *open rack vaporizer* yang memanaskan LNG secara langsung dengan air laut, IFV menggunakan campuran air dan glikol sebagai media perantara. Fungsi utama GWH adalah mengalirkan energi panas dari air laut sebagai sumber panas ke sirkulasi glikol sebagai fluida perantara, yang kemudian digunakan untuk menguapkan LNG. Penggunaan media perantara ini bertujuan untuk mengurangi risiko pembekuan air laut pada dinding penukar panas yang bisa menyebabkan kerusakan serius.

Mengenai mekanisme perpindahan panas yang berlangsung, referensi terkini mengacu pada Thulukkanam, K. dalam buku edisi terbaru berjudul *Heat Exchanger Design Handbook, Second Edition* (2017). Thulukkanam menjelaskan bahwa GWH dalam aplikasi maritim umumnya menggunakan *Plate Heat Exchanger* (PHE) atau *compact shell and tube* karena efisiensinya yang tinggi dalam ruang terbatas. Prinsip kerjanya didasarkan pada konveksi paksa. Air laut yang dipompa akan mengalir melalui pelat-pelat titanium, menyerahkan kaloranya melewati dinding pelat menuju sisi glikol. Thulukkanam menekankan bahwa efisiensi perangkat ini sangat bergantung pada koefisien perpindahan panas keseluruhan (U), yang ditentukan oleh turbulensi aliran kedua fluida tersebut.

Tinjauan khusus mengenai aplikasi GWH pada FSRU dibahas dalam jurnal penelitian oleh He dkk. yang diterbitkan dalam "*Applied Thermal Engineering*" (2019) dengan judul "*Optimization of intermediate fluid vaporizer for LNG regasification*". Riset ini menyoroti bahwa kinerja GWH sangat dipengaruhi oleh *Mass Flow Rate* air laut. Dalam simulasi termodinamika mereka, terlihat bahwa penurunan debit air laut, misalnya akibat gangguan pada sistem intake akan menyebabkan penurunan *Log Mean Temperature Difference* (LMTD) secara signifikan. Ini menunjukkan bahwa tanpa aliran air laut yang cukup, GWH tidak dapat menaikkan suhu glikol ke titik operasi yang diperlukan (biasanya sekitar 30°C - 40°C), sehingga energi yang dibawa glikol menjadi tidak mencukupi untuk proses berikutnya.

Selain dari segi termal, sifat fluida kerja juga diteliti dalam studi oleh Cengel, Y. A. & Ghajar, A. J. dalam buku *Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications* edisi ke-6 (2020). Mereka membahas properti termofisika campuran glikol biasanya *Ethylene Glycol* atau *Propylene Glycol*. Cengel menjelaskan bahwa glikol dipilih karena titik bekunya yang sangat rendah, tetapi memiliki kelemahan berupa kapasitas kalor spesifik yang lebih rendah dibandingkan air murni. Oleh sebab itu, GWH perlu didesain dengan luas permukaan kontak yang akurat. Cengel menekankan bahwa gangguan sekecil apa pun pada suplai panas di sisi air laut akan langsung berdampak pada penurunan suhu sisi glikol karena glikol tidak bisa "menyimpan" panas dalam waktu lama.

Dalam operasional FSRU Jawa Satu, GWH berfungsi dalam siklus tertutup (*closed loop*) di sisi glikol, sementara di sisi air laut bersifat terbuka (*open loop*). Ini menjadikannya titik pertemuan krusial antara lingkungan laut yang kotor dan sistem proses yang bersih. Berdasarkan sintesis teori-teori modern tersebut, dapat disimpulkan bahwa GWH adalah komponen pasif yang kinerjanya sepenuhnya ditentukan oleh debit air laut. Jika *sea water lifting pump* gagal menyuplai air karena *strainer* tersumbat, GWH akan kehilangan fungsinya, berubah dari pemanas menjadi sekadar pipa tanpa transfer energi, yang pada akhirnya dapat menyebabkan kegagalan sistem regasifikasi secara keseluruhan.

17. *Closed loop glycol water*

Dalam desain *Intermediate Fluid Vaporizer* (IFV) yang diterapkan pada FSRU Jawa Satu, sistem *closed loop glycol water* berperan sebagai media transfer termal yang menghubungkan sumber panas air laut dengan penerima panas LNG. Berbeda dengan sirkuit air laut yang terbuka untuk lingkungan, sirkuit glikol merupakan sistem tertutup di mana volume fluida kerja terus disirkulasikan tanpa adanya penambahan atau pengurangan massa selama operasi normal. Sebagaimana diungkapkan oleh Mokhatab, S & Makwashi, N. dalam buku berjudul *Handbook of Liquefied Natural Gas, 2nd Edition* (2019), sirkuit tertutup ini dirancang untuk menciptakan dua lapis keselamatan. Dengan memisahkan air laut dari LNG melalui sirkuit glikol, risiko pembekuan air laut di dinding *vaporizer* dapat dihilangkan serta mencegah kebocoran gas alam ke lingkungan laut jika terdapat kerusakan pada pipa.

Fluida kerja dalam sirkuit tertutup ini umumnya campuran air demineralisasi dan *Ethylene Glycol* atau *Propylene Glycol* dengan konsentrasi tertentu. Penelitian termofisika oleh Cengel, Y. A. & Ghajar, A. J. dalam buku *Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications, 6th Edition* (2020) menekankan pentingnya properti depresi titik beku. Campuran glikol dipilih karena tetap dapat berbentuk cair pada suhu di bawah 0°C, yang vital karena dalam *vaporizer*, fluida ini bersentuhan dengan dinding pipa LNG yang bersuhu -160°C. Penggunaan air biasa akan menyebabkan pembekuan instan dan kerusakan pipa, sementara glikol menjaga kelancaran aliran meskipun terjadi penurunan suhu ekstrem.

Mekanisme perpindahan panas di sirkuit tertutup ini beroperasi berdasarkan prinsip *sensible heat exchange*. Penelitian He dkk. dalam jurnal "*Applied Thermal Engineering*" (2019) menggambarkan siklus termodinamikanya, glikol yang dingin keluar dari LNG *vaporizer* dipompa ke *glycol water heater* (GWH). Di GWH, glikol menyerap panas dari air laut, sehingga suhu glikol naik dari sekitar 5°C menjadi 20-30°C. Selanjutnya, glikol panas ini dikembalikan ke *vaporizer* untuk melepaskan panas ke LNG. He menekankan bahwa dalam sistem tertutup ini, Laju Sirkulasi adalah parameter kunci. Pompa sirkulasi glikol harus menjaga kecepatan aliran yang konstan untuk memastikan keseimbangan antara pengambilan panas di GWH dan pelepasan panas di *vaporizer*.

Stabilitas operasional sistem *closed loop* ini sangat dipengaruhi oleh manajemen ekspansi termal. Studi dinamika sistem oleh Gong dkk. dalam "*Journal of Thermal Science*" (2022) mengupas peran *expansion tank* dalam sirkuit tertutup. Mengingat glikol membahas siklus pemanasan dan pendinginan yang cepat, volumenya akan berubah dengan memuai dan menyusut. Oleh karena itu, sistem tertutup perlu memiliki ruang ekspansi untuk mengakomodasi perubahan volume ini agar tekanan hidrolik dalam pipa tetap stabil. Gong memperingatkan bahwa kegagalan dalam menjaga tekanan sirkuit karena kebocoran kecil dapat menyebabkan pembentukan rongga udara (*air lock*) yang menghambat sirkulasi panas.

18. Gangguan perpindahan panas di *glycol water heater*

Dalam sistem regasifikasi, *glycol water heater* berfungsi sebagai jantung kedua yang mensirkulasikan media pemanas perantara ke unit *vaporizer*.

Gangguan pada proses perpindahan panas di alat ini bukan sekadar masalah teknis minor, melainkan kegagalan sistemik yang dapat menghentikan produksi. Secara teoritis, proses perpindahan panas yang ideal hanya terjadi jika tiga syarat terpenuhi yaitu, luas permukaan kontak yang bersih, perbedaan suhu (ΔT) yang cukup, dan aliran fluida yang turbulen. Gangguan terjadi ketika salah satu dari elemen ini terdistorsi.

Secara mendasar, gangguan dalam perpindahan panas pada *heat exchanger* dianalisis melalui konsep resistansi termal, seperti yang dijelaskan oleh Cengel, Y. A. & Ghajar, A. J. dalam buku teknik berjudul *Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications*, 6th Edition (2020). Mereka mendefinisikan gangguan ini menggunakan parameter Faktor Pengotoran (Fouling Factor - R_f). Dalam teori ini, akumulasi material biologis atau sedimen dari air laut pada dinding pipa GWH tidak hanya memperkecil diameter aliran, tetapi juga membentuk lapisan isolator tambahan yang akan meningkatkan total resistansi termal. Persamaan laju perpindahan panas ($Q = U \cdot A \cdot \Delta T_{lm}$) menunjukkan bahwa adanya faktor pengotoran akan secara signifikan mengurangi Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh (U). Cengel menegaskan bahwa desain GWH yang hanya berfokus pada luas permukaan (A) yang besar akan menjadi sia-sia jika nilai U menurun akibat pengotoran, karena panas akan terperangkap di sisi air laut dan tidak berhasil menembus ke sisi glikol.

Dalam aplikasi spesifik FSRU, kinerja GWH sangat bergantung pada stabilitas aliran fluida, sebagaimana dibahas oleh Mokhatab, S dan Makwashi, N. dalam buku *Handbook of Liquefied Natural Gas*, 2nd Edition (2019). Mokhatab mengemukakan bahwa gangguan pada perpindahan panas dalam sistem IFV umumnya disebabkan oleh deviasi laju aliran massa air laut. Teorinya menyatakan bahwa GWH beroperasi dengan prinsip keseimbangan neraca energi, apabila suplai air laut berkurang karena sumbatan strainer, maka kapasitas panas yang bisa diserap oleh glikol akan berkurang secara signifikan. Mokhatab juga mengingatkan akan potensi bahaya dari kondisi ini, ketika glikol tidak menerima cukup panas di GWH, ia akan kembali ke vaporizer dalam keadaan dingin, yang dapat menyebabkan reaksi berantai kegagalan dalam proses regasifikasi dan berujung pada penghentian sistem.

Tianbiao He, dkk. dalam artikel jurnal internasional “*Applied Thermal Engineering*” tahun 2019 yang berjudul “*Optimization of Intermediate Fluid Vaporizer for LNG Regasification under Off-Design Conditions*” membahas dinamika gangguan dalam kondisi operasi yang tidak ideal. Mereka melakukan analisis simulasi numerik dan mengajukan teori Sensitivitas Beda Suhu, yang menunjukkan bahwa efisiensi GWH sangat terpengaruh oleh penurunan LMTD. Dalam penelitian tersebut, He menemukan bahwa gangguan aliran air laut menyebabkan suhu keluar air laut menjadi terlalu rendah, mendekati suhu glikol, sehingga gaya dorong perpindahan panas hilang. Temuan pentingnya adalah bahwa pada titik tertentu, GWH tidak lagi berfungsi sebagai pemanas, tetapi hanya sebagai jalan bagi fluida pasif, yang bisa menyebabkan efisiensi termal sistem anjlok hingga mendekati nol dan berisiko menyebabkan pembekuan pada glikol itu sendiri.

19. *Send-out gas*

Dalam FSRU, istilah *send-out gas* merujuk kepada laju aliran gas alam yang telah melalui proses regasifikasi dan siap disalurkan ke jaringan pipa transmisi. Berbeda dengan kapasitas desain yang hanya bersifat teoritis, jumlah *send-out* merupakan parameter aktual yang digunakan untuk menilai kinerja harian terminal. Menurut Mokhatab, S. & Makwashi, N. dalam buku berjudul *Handbook of Liquefied Natural Gas, Second Edition* (2019), parameter ini diukur dalam satuan standar volume gas, MMSCFD. Mokhatab menekankan bahwa stabilitas *send-out* merupakan indikator keberhasilan konversi fase yang penting, gas yang dikirim harus memenuhi spesifikasi suhu, tekanan, dan nilai kalor yang ditetapkan oleh pembeli.

Pengukuran *send-out gas* harus dilakukan secara presisi, karena ini merupakan titik serah terima dalam transaksi jual-beli (*Custody Transfer Point*). Kidnay, A. J. dan Parrish, W. R. dalam buku berjudul *Fundamentals of Natural Gas Processing, Third Edition* (2020) menjelaskan bahwa pengukuran ini menggunakan sistem instrumen presisi tinggi yang dikenal sebagai *Custody Transfer Measurement System* (CTMS). Teknologi yang sering dipakai adalah *ultrasonic flow meter* multi-jalur yang mampu mengukur kecepatan aliran gas dengan tingkat ketidakpastian yang sangat rendah, di bawah 1%. Data yang dihasilkan dari CTMS bersifat legal dan fiskal, setiap penurunan aliran akibat

gangguan teknis akan dicatat secara permanen sebagai defisit penyaluran energi.

Operasional penyaluran gas dijalankan tidak sembarangan, melainkan diatur melalui mekanisme *daily gas nomination*. Dalam kajian rantai pasok energi yang dilakukan oleh Pareschi dkk. dalam jurnal "*Applied Energy*" (2021), dijelaskan mengenai *Gas Sales Agreement* (GSA). Dalam kontrak ini, pihak PLN akan menominasikan jumlah gas yang diperlukan untuk hari berikutnya berdasarkan beban kelistrikan. FSRU berkewajiban kontraktual untuk menjaga laju *send-out* sesuai dengan angka yang dinyatakan dalam nominasi. Pareschi menunjukkan bahwa ketidakmampuan FSRU dalam memenuhi kuantitas nominasi akibat kerusakan alat sering kali dikenakan penalti finansial yang signifikan.

Namun, kemampuan FSRU dalam mencapai target kuantitas tersebut dibatasi oleh *operating envelope* yang bersifat dinamis. Penelitian Chang dkk. dalam jurnal "*Energy*" (2020) mengenai optimasi regasifikasi menunjukkan bahwa kapasitas maksimum penyaluran (*Maximum Continuous Rating*) sangat bergantung pada ketersediaan utilitas pendukung. Chang menemukan bahwa penurunan debit air laut di *sea-chest* berhubungan linear dengan penurunan kapasitas *send-out*. Ini berarti jika suplai panas berkurang 50%, maka kuantitas gas yang bisa diproduksi dengan aman juga harus diturunkan 50%, terlepas dari seberapa besar permintaan konsumen.

Send-out adalah hasil akhir yang terpengaruh oleh semua kejadian di hulu. Ketika sistem proteksi (ESD) pada *vaporizer* aktif karena kegagalan pemanasan, kuantitas *send-out* akan menurun hingga mencapai titik nol. Oleh karena itu, grafik fluktuasi *send-out* gas yang tercatat pada DCS (*Distributed Control System*) menjadi bukti yang valid untuk menunjukkan dampak nyata dari penyumbatan *sea-chest strainer* terhadap operasional FSRU Jawa Satu.

B. PENELITIAN TERDAHULU

Dari penelitian terdahulu, penulis tidak menemukan penelitian dengan judul yang sama akan tetapi memiliki keterkaitan dalam penelitian terdahulu. Namun penulis mengangkat beberapa penelitian sebagai referensi dalam memperkaya bahan kajian pada penelitian penulis

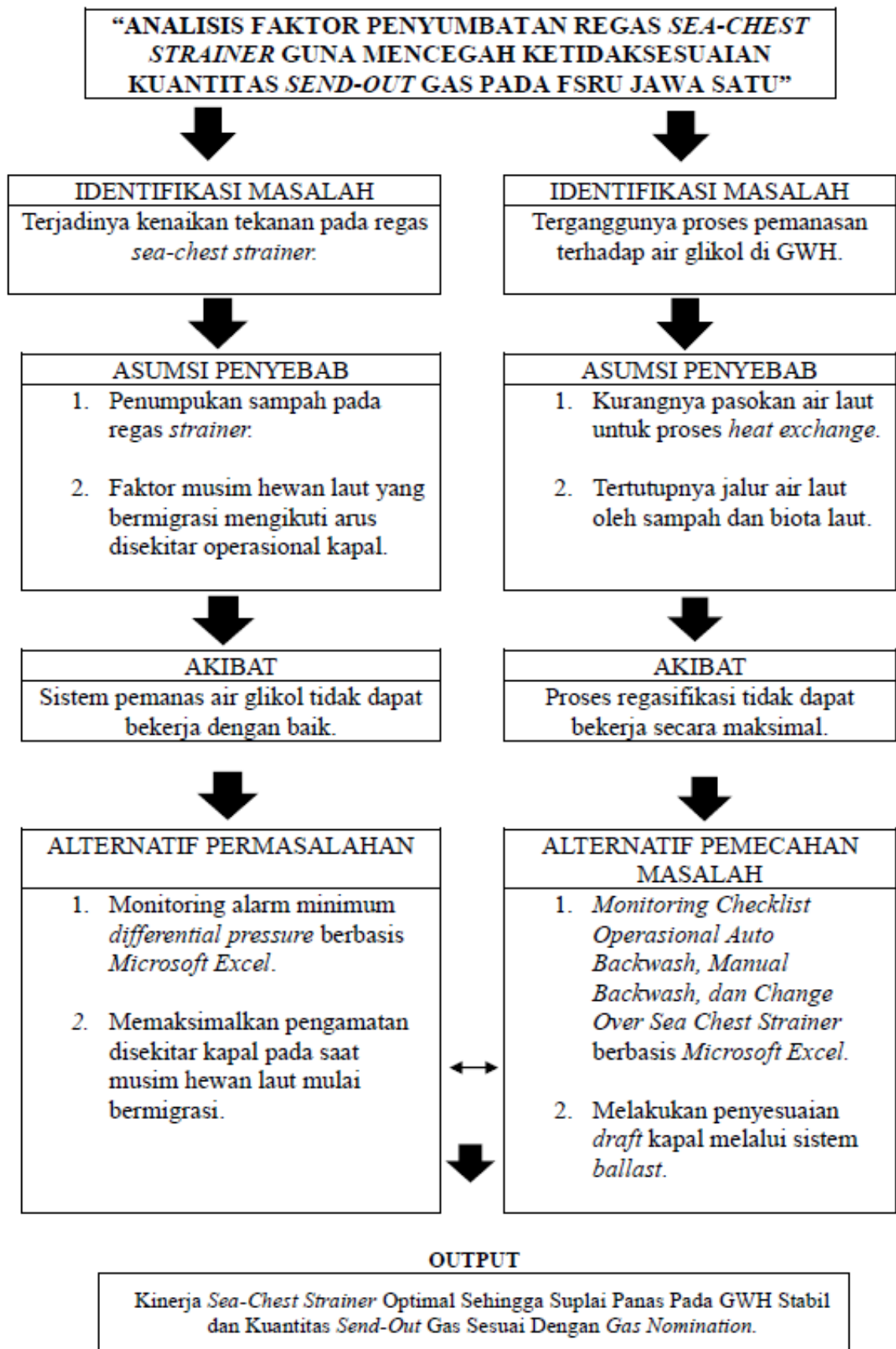
Tabel 2. 1
Penelitian Terdahulu

No.	Judul Penelitian	Nama Penulis dan Tahun	Hasil Penelitian
1.	Optimalisasi Kinerja <i>Strainer Sea Chest</i> Terhadap Pompa Pendingin Pada Mesin Induk	Rizky P. Anggi (2024)	Hasil penelitian menunjukkan adanya korelasi linear yang kuat antara kebersihan saringan dengan kinerja pompa, di mana kondisi saringan yang tersumbat lebih dari 50% menyebabkan penurunan tekanan hisap (<i>suction pressure</i>) secara drastis, yang mengakibatkan suplai air ke sistem pendingin menjadi tidak stabil.
2.	Analisis Dampak <i>Blooming Alga</i> dan <i>Sea Butterflies</i> Terhadap Kinerja <i>Heat Exchanger</i> Pada Sistem Regasifikasi FSRU	Adolf A. B. Zebua (2024)	Penelitian ini mendeskripsikan fenomena invasi biota laut musiman di perairan tropis, di mana <i>sea butterflies</i> ditemukan mampu menutupi 80% luas penampang <i>sea chest</i> strainer dalam waktu singkat. Kondisi ini secara teknis memaksa operator melakukan penurunan beban regasifikasi (<i>turndown</i>) secara mendadak guna menghindari <i>trip</i> pada sistem pendingin.
3.	<i>Dynamic Simulation and Control Strategy of LNG Regasification Process</i>	Yilin Gong, dkk (2022)	Penelitian ini menunjukkan respons sistem kontrol otomatis di mana kegagalan termal akibat kurangnya suplai pemanas akan direspons oleh sistem <i>Emergency Shutdown</i> (ESD) dengan logika <i>interlock</i> suhu rendah. Respons ini secara otomatis menutup katup aliran gas utama untuk melindungi pipa, yang menyebabkan penghentian produksi seketika.
4.	<i>LNG Supply Chain Resilience Analysis and Impact of Technical Failures</i>	Giulia Pareschi, dkk (2021)	Studi ini menemukan bahwa kegagalan teknis di terminal regasifikasi, khususnya masalah pada sistem utilitas air laut, adalah penyebab utama terjadinya selisih antara nominasi gas harian dengan aktual penyaluran (<i>send-out shortfall</i>). Kegagalan ini berimplikasi langsung pada penerapan denda penalti komersial bagi operator terminal.
5.	<i>Thermodynamic Analysis and Optimization of Regasification Systems for LNG-FSRU</i>	Hao Chang, dkk (2020)	Analisis ini menegaskan bahwa gangguan pada sistem pengambilan air laut (<i>intake system</i>) merupakan faktor dominan penyebab waktu henti tidak terencana (<i>unplanned downtime</i>) pada sistem <i>open loop</i> . Hal ini disebabkan karena sistem

No.	Judul Penelitian	Nama Penulis dan Tahun	Hasil Penelitian
			tersebut tidak memiliki cadangan sumber panas lain ketika kualitas atau kuantitas air laut menurun.
6.	<i>Optimization of Intermediate Fluid Vaporizer for LNG Regasification under Off-Design Conditions</i>	Tianbiao He, dkk (2019)	Simulasi numerik membuktikan bahwa penurunan laju aliran massa air laut akibat gangguan di <i>intake</i> berdampak langsung pada penurunan koefisien perpindahan panas global. Akibatnya, fluida perantara (glikol) gagal mencapai suhu target operasional, yang meningkatkan risiko pembekuan (<i>icing</i>) pada unit <i>vaporizer</i> .

C. KERANGKA PEMIKIRAN

Untuk memudahkan analisis terhadap kendala yang muncul selama PRALA di FSRU Jawa Satu, penulis menyusun kerangka pemikiran yang sistematis. Kerangka ini berperan sebagai panduan dalam menyelesaikan masalah, memastikan setiap tahap mulai dari pengumpulan data hingga penentuan solusi dilaksanakan sesuai dengan prosedur standar dan dasar teori, mencakup analisis penyebab masalah baik dari aspek internal maupun eksternal, konsekuensi yang muncul, serta hasil akhir yang diharapkan.



Gambar 2. 1 Kerangka Pemikiran

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil observasi, evaluasi, dan analisis kualitatif mengenai keandalan operasional sistem pendukung regasifikasi di FSRU Jawa Satu, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Operasional FSRU Jawa Satu sebagai infrastruktur krusial bagi PLTGU Jawa-1 sempat terhambat akibat kenaikan tekanan drastis pada regas *sea-chest strainer* yang dipicu oleh penumpukan masif sampah darat dan biota laut musiman. Mengacu pada regulasi *International Safety Management (ISM) Code* Elemen 10, kegagalan fungsi ini menyoroti pentingnya kewajiban pengawasan dan perawatan peralatan kritis kapal guna mencegah ketidaksesuaian operasional. Melalui metode penelitian kualitatif yang memadukan observasi partisipatif dan analisis dokumen *Statement of Fact* menggunakan kerangka *Fishbone Analysis*, akar penyebab penyumbatan dapat dipetakan secara komprehensif. Sebagai pemecahan masalah yang efektif, diimplementasikan instrumen *Monitoring Checklist Alarm Differential Pressure* berbasis *Microsoft Excel* yang dipadukan dengan maksimalisasi pengamatan visual geladak untuk mendeteksi ancaman penyumbatan sejak dini.
2. Terhambatnya pasokan debit air laut secara berantai memicu kegagalan pertukaran panas di *Glycol Water Heater (GWH)*, sehingga suhu *glycol water* anjlok drastis dan menggagalkan pencapaian target kuantitas *send-out* gas harian. Berdasarkan mandat *International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS) Chapter II-1*, sistem pendingin dan pemanas air laut merupakan layanan esensial yang diwajibkan memiliki keandalan tinggi agar kapal tetap beroperasi optimal dalam berbagai kondisi. Untuk menelusuri anomali termal tersebut, penelitian ini menerapkan metodologi kualitatif berbasis observasi

lapangan dan kajian dokumen otentik yang kemudian diurai secara terstruktur melalui pendekatan *Fishbone Analysis*. Guna memulihkan suhu pemanasan secara stabil, diterapkan solusi *Monitoring Checklist Operasional Auto/Manual Backwash dan Change Over* berbasis *Microsoft Excel*, serta manuver penyesuaian *draft* kapal melalui sistem *ballast* guna menghindari lapisan air yang tercemar.

B. SARAN

Berlandaskan kesimpulan operasional di atas, penulis bermaksud memberikan beberapa saran yang diharapkan dapat menjadi bahan masukan dan evaluasi guna meningkatkan keandalan sistem regasifikasi, antara lain:

1. Terjadinya kenaikan tekanan pada regas *sea-chest strainer*

a. Ditujukan untuk perusahaan dan pihak kapal.

- 1) Memfasilitasi penyediaan alat bantu pengamatan visual yang lebih mutakhir, seperti teropong *binocular night vision*, serta perangkat pemantauan digital di *Cargo Control Room (CCR)* guna mendeteksi keberadaan sampah atau biota laut terutama pada malam hari.
- 2) Mengintegrasikan instrumen *Monitoring Checklist Alarm Differential Pressure* berbasis *Microsoft Excel* secara resmi ke dalam prosedur baku *Safety Management System (SMS)* kapal agar pengawasan menjadi lebih terstruktur.
- 3) Mengevaluasi kebutuhan penambahan proteksi ekstra (seperti modifikasi desain pelindung area kotak hisap) saat kapal memasuki periode pemeliharaan *dry-docking* serta menyesuaikan jumlah personel jaga musiman.

b. Ditujukan untuk perwira jaga

- 1) Disiplin dalam melakukan pengisian data pada lembar *Monitoring Checklist Alarm Differential Pressure* secara berkala pada setiap pergantian jam kerja (*shift*).
- 2) Memantau tren pergerakan tekanan secara proaktif sebagai sistem peringatan dini (*early warning system*), sehingga memiliki *golden time* untuk mempersiapkan manuver *change over* sebelum saringan

tersumbat total.

- 3) Memastikan jalur komunikasi darurat dan instruksi lapangan dengan Anak Buah Kapal (ABK) yang sedang berpatroli berjalan dengan responsif dan cepat.

c. Ditujukan untuk ABK

- 1) Meningkatkan intensitas dan fokus patroli keliling (*deck patrol*) di area sekitar lambung luar kapal dan *forward pump room*, khususnya saat memasuki periode peralihan musim migrasi hewan laut.
- 2) Memaksimalkan penggunaan perangkat alat bantu pengamatan keliling, yaitu menggunakan *binocular* pada siang hari dan *gas-proof searchlight* pada malam hari.
- 3) Segera melaporkan setiap temuan visual yang mencurigakan (seperti tumpukan sampah plastik atau kawanan *sea butterfly*) melalui *Handy Talky* (HT) kepada perwira jaga di CCR dengan detail posisi dan estimasi volume material.

2. Terganggunya proses pemanasan terhadap *glycol water* di *glycol water heater*

a. Ditujukan untuk perusahaan dan pihak kapal

- 1) Menyediakan fasilitas kelengkapan perangkat pencatatan digital di CCR dan senantiasa menjamin keandalan sistem *auto-backwash* pada pompa air laut agar selalu berada dalam kondisi operasional yang optimal.
- 2) Mengintegrasikan penerapan *Monitoring Checklist Operasional Auto Backwash*, *Manual Backwash*, dan *Change Over* ke dalam SMS kapal.
- 3) Menyelenggarakan pelatihan khusus dan pembekalan mitigasi *pra-sign-on* secara berkala bagi kru kapal mengenai evaluasi efektivitas pembersihan saringan.

b. Ditujukan untuk perwira jaga

- 1) Mengawasi indikator suhu *glycol water* secara ketat serta memanfaatkan *monitoring checklist* operasional untuk mengevaluasi tingkat keberhasilan dan efektivitas *auto-backwash* secara *real-time*.

- 2) Mengambil keputusan taktis secara cepat untuk menginstruksikan intervensi *manual backwash* atau *change over strainer* jika sistem otomatis terbukti gagal menormalkan *differential pressure* dan suhu GWH.
- 3) Melakukan perhitungan stabilitas melalui *loading computer* dan berkoordinasi untuk mengeksekusi manuver *ballasting/deballasting* (penyesuaian *draft* kapal) guna menjauhkan lubang hisap dari lapisan air yang terkontaminasi limbah ekstrem.

c. Ditujukan untuk ABK

- 1) Sangat disiplin dan tanggap dalam melaksanakan instruksi operasional permesinan di lapangan, baik saat pelaksanaan *manual backwash* maupun saat mengeksekusi *change over*.
- 2) Mencatat durasi pelaksanaan penanganan dan melaporkan secara *real-time* status kebersihan serta hasil akhir dari pembersihan saringan tersebut kepada perwira jaga di CCR.
- 3) Menjaga koordinasi dan komunikasi lintas departemen yang solid, responsif, dan terpadu agar manuver antisipasi terhadap anomali termal dapat dieksekusi secepat mungkin.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggi, R. P. (2024). Optimalisasi kinerja sea chest strainer terhadap pompa pendingin pada mesin induk.
- Anggito, & Setiawan. (2018). Metode penelitian kualitatif.
- Arikunto, S. (2019). Prosedur penelitian: Suatu pendekatan praktik.
- Bae, et al. (2018). Analisis teknis ekonomis penghematan bahan bakar. Ocean Engineering.
- Benedetti, F., et al. (2021). Major restructuring of marine plankton assemblages under global warming. Global Ecology and Biogeography.
- Billy, A., et al. (2025). Performance analysis of sea water cooling pumps on the smoothness of the main engine cooling system. International Journal of Advanced Multidisciplinary.
- Bosch-Belmar, M., et al. (2020). Jellyfish impacts on marine aquaculture and fisheries.
- Cengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2020). Heat and mass transfer: Fundamentals and applications (6th ed.).
- Ceylan, et al. (2023). Risk assessment of sea chest fouling on the ship machinery systems by using both FMEA method and ERS process.
- Chang, H., et al. (2020). Thermodynamic analysis and optimization of regasification systems for LNG-FSRU. Energy.
- Dai, M., et al. (2020). An unprecedented outbreak of pelagic molluscs *Creseis Acicula* in Daya Bay, South China Sea. Science of The Total Environment.
- Eyres, D. J., & Bruce, G. J. (2018). Ship construction (7th ed.).
- Gaza, M., et al. (n.d.). Diel vertical migration of copepods in the tropical and subtropical Atlantic Ocean.
- Gerhart, et al. (2016). Munson, Young, and Okiishi's fundamentals of fluid mechanics (8th ed.).
- GESAMP. (2019). Guidelines for the monitoring and assessment of plastic litter and microplastics in the ocean (GESAMP Reports and Studies No. 99).
- Gong, Y., et al. (2022). Dynamic simulation and control strategy of LNG regasification process. Journal of Thermal Science.
- Hardani, et al. (2020). Metode penelitian kualitatif & kuantitatif.
- He, T., et al. (2019). Optimization of intermediate fluid vaporizer for LNG regasification under off-design conditions. Applied Thermal Engineering.
- Helaluddin, & Wijaya. (2019). Analisis data kualitatif: Sebuah tinjauan teori & praktik.

- IMO. (2018). ISM Code: International safety management code with guidelines for its implementation (2018 Edition).
- Kastanevakis, S., et al. (2025). Deliverable 5.2.: Review and testing methods for HABs, invasive species, jellyfish blooms, and top predators.
- Kasyan, V. V. (2025). Seasonal variations in structure and distribution of zooplankton community in Vostok Bay (Peter the Great Bay, Northwestern Sea of Japan). *Science of The Total Environment*.
- Kidnay, A. J., & Parrish, W. R. (2020). *Fundamentals of natural gas processing* (3rd ed.).
- Liu, Q., et al. (2022). Rising temperature contributed to the outbreak of a macrozooplankton *Creseis Acicula* by enhancing its feeding and assimilation. *Marine Environmental Research*.
- Mokhatab, S., & Makwashi, N. (2019). *Handbook of liquefied natural gas* (2nd ed.).
- Moleong, L. J. (2018). *Metodologi penelitian kualitatif*.
- Molland, A. F. (2016). *The maritime engineering reference book: A guide to ship design, construction and operation*.
- Morandini, A. C., et al. (2022). Impacts of jellyfish: Gelatinous problems or opportunities?
- Myles, A., et al. (2018). Bioinspired aryldiazonium carbohydrate coatings: Reduced adhesion of foulants at polymer and stainless steel surfaces in a marine environment.
- Naveiro, et al. (2021). Energy efficiency and environmental measures for floating storage regasification units. *Energy Reports*.
- Pareschi, G., et al. (2021). LNG supply chain resilience analysis and impact of technical failures. *Applied Energy*.
- Pérez-Tavernier, et al. (2019). Heat transfer performance of a nano-enhanced propylene glycol:water mixture. *International Journal of Thermal Sciences*.
- Pineda. (2025). The ISM Code: A critical view of the contemporary challenges and future prospects for maritime safety management systems (SMS) in the new digital era. *Journal of Maritime Research*.
- Pitt, K. A., et al. (2018). Claims that anthropogenic stressors facilitate jellyfish blooms have been amplified beyond the available evidence: A systematic review.
- PT. Jawa Satu Regas. (n.d.). *Cargo manual book FSRU Jawa Satu*.
- PT. Jawa Satu Regas. (n.d.). *Machinery operating manual FSRU Jawa Satu*.
- PT. Jawa Satu Regas. (n.d.). *Regas operating manual FSRU Jawa Satu*.
- Said, et al. (2022). Thermophysical properties of water, water and ethylene glycol mixture-based nanodiamond + Fe₃O₄ hybrid nanofluids: An experimental

- assessment and application of data-driven approaches. *Journal of Molecular Liquids*.
- Siahaan, J., et al. (2025). Implementation of failure mode and effects analysis in the maintenance strategy for the main engine cooling system pump of fishing vessels.
- Sugiyono. (2019). *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D*.
- Thulukkanam, K. (2017). *Heat exchanger design handbook* (2nd ed.).
- Tornero, & Hanke, G. (2016). Mekanisme transportasi arus. *Marine Pollution Bulletin*.
- UNEP. (2021). *From pollution to solution: A global assessment of marine litter and plastic pollution*.
- Wen-Tseng, L., et al. (2016). Seasonal dynamics of planktonic pteropods in the Taiwan Strait, Western North Pacific Ocean.
- Zebua, A. A. B. (2024). Analisis dampak blooming alga dan sea butterflies terhadap kinerja heat exchanger pada sistem regasifikasi FSRU.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Sinopsis

	KEMENTERIAN PERHUBUNGAN BADAN PENGEMBANGAN SDM PERHUBUNGAN SEKOLAH TINGGI ILMU PELAYARAN J A K A R T A	  
<u>PENGAJUAN SINOPSIS SKRIPSI</u>		
NAMA	: MUHAMMAD MUFTI KAILANI RUMAGESAN	
NRP	: 365221361	
KELAS	: VII - A	
JURUSAN	: NAUTIKA	
SEMESTER	: VII	
Mengajukan Sinopsis Skripsi sebagai berikut:		
A. JUDUL		
“ANALISIS FAKTOR PENYUMBATAN REGAS <i>SEA-CHEST STRAINER</i> GUNA MENCEGAH KETIDAKSESUAIAN KUANTITAS <i>SEND-OUT GAS</i>”		
B. LATAR BELAKANG MASALAH		
Peningkatan kebutuhan energi nasional seiring dengan laju pertumbuhan ekonomi dan komitmen Indonesia terhadap transisi energi bersih menempatkan gas alam sebagai komoditas strategis yang tak tergantikan. Mengingat karakteristik geografis Indonesia sebagai negara kepulauan, distribusi gas alam melalui jaringan pipa seringkali terkendala oleh jarak dan kondisi medan, sehingga pemanfaatan <i>Liquefied Natural Gas</i> (LNG) menjadi solusi paling efisien untuk mendistribusikan energi dari ladang gas ke pusat-pusat beban kelistrikan. Dalam konteks ini, peran LNG sangat krusial untuk menjamin ketahanan energi, khususnya dalam menyuplai pembangkit listrik di wilayah dengan permintaan tinggi seperti Jawa-Bali, di mana infrastruktur penerima seperti FSRU menjadi kunci utama dalam menjaga kontinuitas pasokan gas yang andal dan berkelanjutan. FSRU (<i>Floating Storage Regasification Unit</i>) Jawa Satu berfungsi sebagai infrastruktur kunci dalam rantai pasok energi terintegrasi pada proyek <i>LNG-to-Power</i> Jawa-1, yang merupakan proyek sejenis pertama di Asia Tenggara. Sebagai terminal terapung, kapal ini bertugas menerima pasokan <i>Liquefied Natural Gas</i> (LNG) dari kapal pengangkut (<i>LNG Carrier</i>) melalui mekanisme transfer antar kapal (<i>ship-to-ship transfer</i>) dan menyimpannya dalam tangki kargo. Keberadaannya memastikan ketersediaan cadangan bahan bakar gas yang aman dan mandiri di lepas pantai utara Jawa Barat, tanpa bergantung pada kompleksitas pembebasan lahan untuk tangki penyimpanan di darat. Selain sebagai fasilitas penyimpanan, fungsi teknis utama FSRU Jawa Satu adalah melakukan proses regasifikasi, yaitu mengubah kembali fase LNG dari cair menjadi gas melalui sistem perpindahan panas (<i>heat exchange</i>) yang memanfaatkan air laut. Gas alam hasil regasifikasi tersebut kemudian disalurkan (<i>send-out</i>) melalui pipa bawah laut menuju Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU) Jawa-1 di Cilamaya. Dengan demikian,		

FSRU ini berperan vital dalam menjamin keberlanjutan suplai bahan bakar bagi pembangkit listrik berkapasitas 1.760 MW tersebut, yang merupakan penyangga utama stabilitas sistem kelistrikan Jawa-Bali. FSRU memiliki fungsi ganda sebagai Kapal (*Storage/Carrier*) dan Fasilitas Migas (regasifikasi), maka aturannya pun merupakan gabungan dari regulasi maritim dan industri gas.

Operasional FSRU Jawa Satu sebagai unit regasifikasi terapung tunduk pada kerangka regulasi yang kompleks karena dualitas fungsinya sebagai kapal pengangkut gas sekaligus instalasi pemrosesan energi. Landasan hukum utama yang menjamin standar keselamatan konstruksi dan operasional kapal ini mengacu pada konvensi *International Maritime Organization* (IMO), khususnya *International Convention for the Safety of Life at Sea* (SOLAS). Secara spesifik, SOLAS *Chapter II-1* mengatur tentang konstruksi, struktur, stabilitas, dan instalasi permesinan, yang mensyaratkan bahwa sistem layanan esensial (*essential services*) termasuk sistem pendingin air laut harus memiliki keandalan tinggi dan redundansi untuk menjamin kapal tetap dapat beroperasi dalam berbagai kondisi. Selain itu, sebagai pengangkut gas cair, FSRU ini juga wajib mematuhi *International Gas Carrier* (IGC) *Code*, yang menetapkan standar ketat bagi keselamatan sistem kargo dan proses penanganan LNG guna memitigasi risiko bahaya kriogenik dan *flammability*.

Dalam aspek manajemen operasional dan perawatan, FSRU Jawa Satu terikat pada *International Safety Management* (ISM) *Code*. Regulasi ini mewajibkan setiap kapal untuk menerapkan Sistem Manajemen Keselamatan (*Safety Management System*) yang komprehensif. Relevansi ISM Code, khususnya pada Elemen 10 tentang Pemeliharaan Kapal dan Perlengkapannya, sangat krusial dalam konteks penelitian ini. Pasal tersebut menegaskan kewajiban operator untuk menjamin bahwa peralatan kritis, seperti *Sea-Chest Strainer* dan sistem pompa, dirawat secara berkala melalui *Planned Maintenance System* (PMS). Kegagalan fungsi akibat penyumbatan yang tidak terantisipasi dapat dikategorikan sebagai ketidaksesuaian terhadap prosedur perawatan preventif yang diamanatkan oleh kode etik manajemen keselamatan internasional tersebut.

Di samping aspek keselamatan, FSRU juga harus mematuhi regulasi lingkungan di bawah naungan *International Convention for the Prevention of Pollution from Ships* (MARPOL). Terkait dengan fenomena penyumbatan oleh sampah laut, MARPOL Annex V memberikan kerangka kerja mengenai penanganan sampah di laut, yang secara tidak langsung menjadi indikator kondisi lingkungan perairan tempat kapal beroperasi. Di tingkat nasional, karena beroperasi di wilayah kedaulatan Indonesia, FSRU Jawa Satu juga tunduk pada Undang-Undang No. 17 Tahun 2008 tentang Pelayaran serta regulasi sektor migas nasional yang menjamin kelaiklautan kapal serta keamanan penyaluran energi strategis.

Pada tanggal 16 Januari 2025, jam 13.30 waktu setempat, Perwira Jaga di FSRU Jawa Satu mengamati bahwa tekanan pada *sea chest strainer* mengalami kenaikan yang cukup signifikan. Kemudian, perwira jaga memerintahkan *Able Bodied Seaman* (AB) *on Duty* untuk berpatroli ke sisi kapal bagian kiri untuk mengamati keadaan permukaan laut disekitar FSRU Jawa Satu. Diinformasikan oleh AB *on Duty* kepada Perwira Jaga yang berjaga di *Cargo Control Room* (CCR), bahwa terdapat kumpulan sampah yang sangat banyak dibagian sebelah kiri kapal. Kemudian Perwira Jaga melaporkan kepada *Chief Officer Cargo* yang kemudian meneruskan laporan kepada *Master*. Kemudian dilakukan *change over sea chest* dari sebelah kiri ke sebelah kanan dan dilakukannya pembersihan *sea chest strainer* sebelah kiri.

Pada saat kejadian, pembangkit listrik sedang melakukan *full load* 880 MW/130 Million Standard Cubic Feet per Day (MMSCFD). Kemudian pada pukul 15.45 waktu setempat, kembali dilakukan *change over sea chest strainer* dari sebelah kanan ke sebelah kiri dikarenakan *sea chest* sebelah kanan juga mengindikasikan *different pressure* tinggi. Kali ini, yang dibuka adalah *sea chest* sebelah kanan, ketika dibuka, *sea chest* sebelah kanan pun tersumbat oleh sampah. Pada 16.00 waktu setempat, pihak FSRU Jawa Satu meminta izin kepada pihak pembangkit listrik untuk menurunkan *send-out rate* menjadi 90 MMSCFD. Hal ini sangat mengganggu untuk proses regasifikasi karena proses pengiriman gas akan menjadi terhambat dikarenakan adanya kendala pada *sea chest*, yang dimana *sea chest* berfungsi sebagai pemanas untuk air glikol yang sudah bersentuhan secara tidak langsung di *glycol water heater* (GWH). Proses ini terjadi di tempat yang bernama *sea water lifting pump*.

C. IDENTIFIKASI MASALAH

Berdasarkan tinjauan operasional di FSRU Jawa Satu, permasalahan yang teridentifikasi meliputi:

1. Terjadinya kenaikan tekanan pada regas *sea-chest strainer*
2. Terganggunya proses pemanasan air glikol di *glycol water heater*
3. Terganggunya proses LNG di regas *vaporizer*
4. Pengiriman produk gas ke PLTGU Jawa-1 terhambat

D. BATASAN MASALAH

Agar penelitian ini terfokus pada korelasi antara sistem air laut, air glikol, dan output gas, maka penulis menetapkan batasan sebagai berikut:

1. Terjadinya kenaikan tekanan pada regas *sea-chest strainer*
2. Terganggunya proses pemanasan air glikol di *glycol water heater*

E. RUMUSAN MASALAH

1. Mengapa kenaikan tekanan pada regas *sea-chest strainer* dapat terjadi?
2. Apa penyebab proses pemanasan air glikol di *glycol water heater* menjadi terganggu?

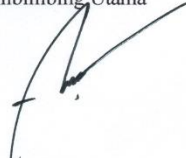
F. PENJELASAN PENELITIAN

1. Pendekatan Masalah Penelitian: Kualitatif
2. Metode Pengumpulan Data:
 - a. Observasi: Mengamati langsung pengaruh penyumbatan sampah dan faktor alam di *sea-chest strainer* serta gagalnya proses *heat-exchange* di *glycol water heater*.
 - b. Dokumentasi: Mengumpulkan data dari laporan, dokumentasi lain yang relevan dengan penyumbatan yang terjadi di *sea-chest strainer* dan gagalnya proses *heat-exchange* di *glycol water heater*.
 - c. Studi Pustaka: Penulisan proposal penelitian ini penulis sudah mencari referensi-referensi yang akan memperkuat data-data dan teori dalam analisis ini, referensi di dapatkan dari jurnal, buku, dan media daring. Fokus penelitian adalah membantu meningkatkan kesadaran prosedur perawatan dan penanganan oleh kru kapal terhadap *sea-chest strainer* dan *glycol water heater* untuk proses regasifikasi, yang meliputi aspek-aspek teknis dan operasional.

Jakarta, 12 Desember 2025

Menyetujui,

Pembimbing Utama



Capt. FERRO HIDAYAH, M.Mar., M.MTr

Penata Tk.I (III/d)

NIP. 197407082009121001

Pembimbing Pendamping



TRISTANTI, S.S., M. Pd

Penata Tk.I (III/d)

NIP. 197204242002122007

Penulis



MUFTI RUMAGESAN

NRP. 365221361

Mengetahui,
Ketua Jurusan Nautika

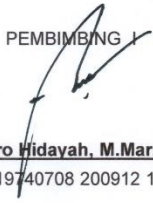


Dr. Meilinasari N.H. S.SiT., M.MTr.

Penata Tk.I (III/d)

NIP. 19810503 200212 2 001

Lampiran 2 Pengajuan Judul

	KEMENTERIAN PERHUBUNGAN BADAN PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA SEKOLAH TINGGI ILMU PELAYARAN J A K A R T A	
<u>PENGAJUAN JUDUL SKRIPSI</u>		
N a m a	:	MUHAMMAD MUFTI KAILANI RUMAGESAN
N R P	:	365221361
Bidang Keahlian	:	NAUTIKA
Semester	:	VII (7)
 Mengajukan Judul Skripsi Sebagai Berikut :		
A. JUDUL	:	"Analisis Faktor Penyumbatan Regas <i>Sea-Chest Strainer</i> Guna Mencegah Ketidaksesuaian Kuantitas <i>Send-Out Gas</i> "
B. MASALAH POKOK	:	1. Terjadinya kenaikan tekanan pada regas <i>sea-chest strainer</i> . 2. Terganggunya proses pemanasan air glikol di <i>glycol water heater</i>
C. PENDEKATAN PEMECAHAN MASALAH :		
		1. Mengidentifikasi penyebab terjadinya kenaikan tekanan pada regas <i>sea-chest strainer</i>
		2. Mengidentifikasi sebab-akibat terganggunya proses pemanasan air glikol di <i>glycol water heater</i>
Jakarta, 12 Desember 2025		
 PEMBIMBING I (<u>Capt.Ferro Hidayah, M.Mar., M.MTr</u>) NIP. 19740708 200912 1 001	 PEMBIMBING II (<u>Trisanti, SS., M.Pd</u>) NIP. 197204242002122007	 PENULIS (<u>Mufti Rumagesan</u>) NRP. 365 221 361
Mengetahui KETUA JURUSAN NAUTIKA  (<u>Dr. Meilinasari N.H, S.SiT., M.MTr.</u>) NIP. 19810503 200212 2 001		
FM.JR.1.030/R.2		

Lampiran 3 Lembar Pembimbingan



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



PEMBIMBING I : Capt.Ferro Hidayah, M.Mar., M.MTr

MATERI PEMBIMBING :

NO.	TANGGAL	URAIAN MATERI	TANDA TANGAN PEMBIMBING
1	20 November 2025	Penyusunan proposal Sinopsis	[Signature]
2	06 DECEMBER 2025	Penyusunan Sinopsis	[Signature]
3	20 JANUARI 2026	Penyusunan Sinopsis + BAB I Lanjutan Sinopsis BAB II	[Signature]
4	2 FEBRUARI 2026	Penyusunan BAB II - Lanjutan Sinopsis BAB II	[Signature]
5	13 APRIL 2026	Penyusunan BAB II - Penyusunan BAB III	[Signature]
6	14 APRIL 2026	Penyusunan BAB III - Lanjutan Sinopsis BAB IV	[Signature]
7	04/05-2026	Penyusunan BAB IV	[Signature]
8	12 MAY 2026	Revisi BAB IV	[Signature]
9	13 MAY 2026	Penyusunan BAB IV - Sinopsis BAB V	[Signature]
10	18/05-26	Penyusunan Penyusunan akhir & BAB V	[Signature]

13/05/2026

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



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



PEMBIMBING I : Capt. Ferro Hidayah, M. Mar., M. Mtr.

MATERI PEMBIMBING :

NO.	TANGGAL	URAIAN MATERI	TANDA TANGAN PEMBIMBING
1	04/06/2026	Pertemuan 1 st @ 1 st - Segitiga Lautan Dapur x PPT	
2	10/06/2026	Segitiga, Segitiga Lautan	
3			
4			
5			
6			
7			
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



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



PEMBIMBING II : Trisanti, SS., M.Pd

MATERI PEMBIMBING :

NO.	TANGGAL	URAIAN MATERI	TANDA TANGAN PEMBIMBING
1	19 JANUARI 2026	Konsultasi ringkas	✓
2	21 JANUARI 2026	Acc ringkas	✓
3	25 FEBRUARI 2026	Perbaiki bab I dan II	✓
4	19 APRIL 2026	Perbaiki bab I, II, III	✓
5	28 APRIL 2026	Acc Bab I - III	✓
6	11/5	Perbaiki bab IV - V	✓
7	4 JUNI 2026	Perbaiki bab V	✓
8	8 JUNI 2026	Acc bab V	✓
9	9/6	Acc ringkas	✓
10			

4/13/2026
105

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 4 Turnitin

 Page 1 of 93 - Cover Page

Submission ID trn:oid::3618:142066425


N^o 8/6/2026

Perpustakaan STIP Jakarta
**Turnitin_“ANALISIS FAKTOR PENYUMBATAN REGAS
SEA-CHEST STRAINER GUNA MENCEGAH KETIDAKSESUAIAN...**

 Rabu

Document Details

Submission ID

trn:oid::3618:142066425

Submission Date

Jun 8, 2026, 8:48 AM GMT+7

Download Date

Jun 8, 2026, 8:56 AM GMT+7

File Name

“ANALISIS FAKTOR PENYUMBATAN REGAS SEA-CHEST STRAINER GUNA MENCEGAH KETIDAKSESU...pdf

File Size

1.1 MB

83 Pages

20,660 Words

133,572 Characters

 Page 1 of 93 - Cover Page

Submission ID trn:oid::3618:142066425

10% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Filtered from the Report

- Bibliography
- Quoted Text

Top Sources

- 9%  Internet sources
- 5%  Publications
- 0%  Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags

0 Integrity Flags for Review

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

***Lampiran 5 Ship Particular**

Owner	PT. Jawa Satu Regas	
Flag	Indonesia	
Port of Registry	Jakarta	
Official Number	AL.520 / 79 / 12 . SM / DK / 2020	
IMO Number	9854935	
Call Sign	YDDP2	
Hull Number	SN2255	
MMSI Number	525101662	
Contact Details	Tel	(870)773989552 (FBB)
	Tel	+81-5050-509504 (VSAT)
	Fax	(870)783409295 (Fax)
	email	fsrujawasatu@humolco.net
	Tlx	-
Iridium Mobile Bridge	Tel	-
	Data	-
	Tel	-
Iridium ECR	Tel	-

Built in	Samsung Heavy Industries Co.Ltd Geoje Shipyard
Date Building Contract	12 October 2018
Date Keel Laying	29 October 2019
Date Launching	11 January 2020
Date Delivery	31 December 2020
LOA	292, 651 M
LBP	281,000 M
Breadth, moulded	43,400 M
Depth, moulded	26,600 M
Summer Draft (Ext.)	12,5 M
Design Draft (Mld.)	12,1 M
Scantling Draft (Mld.)	12,9 M
Min. Draft Fwd	7,841 M
Min. Draft Aft for propeller full immersion	8,831 M
Height above Keel - Air Draft	59,834 M
International G/T	160900
International N/T	33400
Suez Canal G/T	-
Suez Canal N/T	-
Suez Canal SCID	-
Light Ship	3,724 M

Lampiran 6 Musterlis

MUSTER LIST				
FSRU JAWA SATU				11th January2025
No.	NAME	RANK	LIFEBOAT STATION	MUSTER TEAM
1	Capt. WALES HENDRA PUTRA	MASTER	STARBOARD	COMMAND TEAM
2	YEPI RIDWAN	CHIEF MATE (A)	STARBOARD	LNG TEAM
3	PURNOMO YUDI PUTRA	CHIEF MATE (B)	PORT	EMERGENCY TEAM I
4	MUHAMAD IRFAN	2nd MATE (A)	STARBOARD	EMERGENCY TEAM I
5	JEFRIYANTO YUSUP	2nd MATE (B)	PORT	BACK UP/ MEDICAL
6	ANUGRAH ROBIAL WILDANATA	3rd MATE	STARBOARD	COMMAND TEAM
7	RADEN SIGIT HARYANTO	CHIEF ENGINEER	STARBOARD	ENGINE ROOM TEAM
8	IBADUR RAHMAN	Sr. 1st ENGINEER	PORT	EMERGENCY TEAM II
9	ANDHIE LESMANA	Jr. 1st ENGINEER (A)	STARBOARD	LNG TEAM
10	NICKHOLAS PARULIAN SILALAH	Jr. 1st ENGINEER (B)	PORT	LNG TEAM
11	UBAIDILLAH	2nd ENGINEER (A)	STARBOARD	ENGINE ROOM TEAM
12	JOSHUA DANIELLO	2nd ENGINEER (B)	PORT	EMERGENCY TEAM II
13	YUANTO SAPUTRA	ELECTRICIAN	PORT	ENGINE ROOM TEAM
14	TRI MARTANTO RIAWAN	3rd ENGINEER	PORT	ENGINE ROOM TEAM
15	ACHMAD BUCHORI	BOATSWAIN	STARBOARD	EMERGENCY TEAM I
16	MUJIANTO	AB SEAMAN (A)	STARBOARD	COMMAND TEAM
17	SYAFEI IBNU KOSIM	AB SEAMAN (B)	STARBOARD	LNG TEAM
18	ULUL NOR ROCHMAN	AB SEAMAN (C)	STARBOARD	EMERGENCY TEAM I
19	HARJO PRAWIRO	AB SEAMAN (D)	PORT	EMERGENCY TEAM I
20	ULUL AZMI	AB SEAMAN (E)	PORT	EMERGENCY TEAM I
21	AL QARNI	ORDINARY SEAMAN (A)	PORT	EMERGENCY TEAM I
22	MOH. AGUNG PERMANA	ORDINARY SEAMAN (B)	PORT	EMERGENCY TEAM I
23	M. IQBAL REZA	ORDINARY SEAMAN (C)	PORT	EMERGENCY TEAM I
24	RUDI ERNAWANTO	NO. 1 OILER	STARBOARD	ENGINE ROOM TEAM
25	NURUL NOVIYANTO	OILER (A)	STARBOARD	ENGINE ROOM TEAM
26	SUGENG RIYADI	OILER (B)	STARBOARD	LNG TEAM
27	TINTUS ARISMUNANDAR	OILER (C)	PORT	EMERGENCY TEAM II
28	ADAM ADNAN	OILER (D)	PORT	EMERGENCY TEAM II
29	SUGIYANTO	OILER (E)	PORT	EMERGENCY TEAM II
30	RAMDHANI HARDIANANTA	WIPER (A)	PORT	EMERGENCY TEAM II
31	M. SYARIP HIDAYATULLOH	WIPER (B)	PORT	EMERGENCY TEAM II
32	GEMA AKBAR	CHIEF COOK	STARBOARD	BACK UP/ MEDICAL
33	ISMAIL YUDI SALIKIN	COOK (A)	STARBOARD	BACK UP/ MEDICAL
34	CECEP SUPRIYATNA	COOK (B)	PORT	BACK UP/ MEDICAL
35	M. SUBHAN LIAN ASSIDIQ	MESSMAN (A)	STARBOARD	BACK UP/ MEDICAL
36	WAHYU TRI SYACHBANI	MESSMAN (B)	PORT	BACK UP/ MEDICAL
37	MUHAMMAD MUFTI KAILANI RUMAGESAN	DECK CADET	STARBOARD	COMMAND TEAM
38	MUHAMMAD ARIF MUTOLIB	ENGINE CADET	PORT	ENGINE ROOM TEAM
TOTAL	COMMAND TEAM	4 MEMBER	TARBOARD SIDE LIFEBOAT (NO.1) = 18 PERSONS	
	LNG TEAM	5 MEMBER		
	ENGINE ROOM TEAM	7 MEMBER	PORT SIDE LIFEBOAT (NO.2) = 20 PERSONS	
	EMERGENCY TEAM I	9 MEMBER		
	EMERGENCY TEAM II	7 MEMBER		
	MEDICAL/ BACK UP TEAM	6 MEMBER		
TOTAL 39 PERSONS INCLUDING MASTER				
- ALL CREWS MUSTER TO EACH MUSTER STATION AS SOON AS POSSIBLE AFTER HEARD GENERAL ALARM AND TAKE A ROLL CALL :- 2nd OFF				
- LIFEBOAT STARBOARD: NO.1 , PORT= NO.2				
- SUPERNUMERARY AND PASSENGER SHALL MUSTER AT THE BRIDGE				
- EACH CREW LIFEBOAT STATION, MUSTER TEAM, DUTY, AND CARRYING EFFECTS *WILL BE SAME DURING HIS CONTRACT IN SAME RANK				
Signed by: Capt. WALES HENDRA PUTRA - MASTER OF JAWA SATU				

Lampiran 7 Statement of Fact

HUMOLCO	Operation Procedures			OP 199b - 1	Ver. 7.0
	FSRU - Initial Incident Report			Rev.01 20-Sept-2023	Page 1 of 2
Approved: DPA	Proposed: QSSHE Dept	Timing: Same day when incident <u>happen</u> .	Report: Email	Retention: 3 years	
Subject		REGAS Sea Chest Clogging by massive garbage at sea			
Date & Time of incident:		16 th January 2025 / 16.00 LT			
Category:		Injury ☐	ESD ☐	PSD 1 ☐	PSD 2 ☐
		MGE ☐ Trip	Other ☒	Name of equipment REGAS Sea chest Strainer	
Obstruction of service:		REGAS ☒	STS ☐	BOG Control ☐	N/A ☐
Total time of regas stop		N/A		Detail of time	
Stop request of shore power plant		Yes ☐		No ☒	
If yes, estimate recovery time		N/A <u> </u> (tt/dd/mm/yy)			
Timeline of defect/failure (attached alarm list)					
16th January 2025 13.30 LT Observed Sea chest strainer (Port side) Different Pressured high, checked surrounding vessel were found massive garbage floated at sea (shared information to Operational Group). Changed over sea chest trainer to starboard side & Cleaning portside strainer. 14.30 LT Power Plant on full load 880 MW (130mmscfd) 15.45 LT Observed Sea chest strainer (Starboard side) Different Pressured high. Changed over sea chest trainer to port side & Cleaning starboard side strainer. 15.50 LT Observed Sea chest strainer (Port side) Different Pressured high. Cleaning of Starboard side strained is still on progress. 16.00 LT Request to IPP by phone to reduce send out rate to 90 mmscfd.					
Remarks					
					
GARBAGE ON SEA	GARBAGE ON SEA	GARBAGE ON STRAIER	GARBAGE ON STRAIER		

Lampiran 8 Normal flowrate at Regas Sea-Chest Strainer



165, Mieumsandan 3-ro, Gangseo-gu, Busan, Korea 46744

Tel : +82 51 831 7720 Fax : +82 51 831 7726 Web : <http://www.iccp-mgps.com> E-mail : kcas

Daily Log for Chlorine	
Vessel Name	FSUR JAWA SATU
Owner	PERTAMINA JAYA

Date		Area of Operation	Actual Flow rate (m³/h) for REGAS	No.1 System		No.2 System	
				Current (Amp)	Voltage (Volt)	Current (Amp)	Voltage (Volt)
1	30.2	G.O.P Cilamaya	5744	186.0	17.7	-	-
2	30.6	G.O.P Cilamaya	5761	186.0	19.4	-	-
3	30.1	G.O.P Cilamaya	11051	185.9	19.5	-	-
4	30.0	G.O.P Cilamaya	5778	186.2	19.6	-	-
5	30.0	G.O.P Cilamaya	5765	186.2	18.8	-	-
6	30.1	G.O.P Cilamaya	5715	186.0	18.8	-	-
7	30.1	G.O.P Cilamaya	5726	185.9	18.4	-	-
8	30.3	G.O.P Cilamaya	5707	185.8	18.1	-	-
9	30.2	G.O.P Cilamaya	5711	186.0	18.1	-	-
10	30.4	G.O.P Cilamaya	5763	276.5	18.9	-	-
11	30.1	G.O.P Cilamaya	5682	276.3	18.9	-	-
12	30.1	G.O.P Cilamaya	5636	185.9	18.0	-	-
13	30.4	G.O.P Cilamaya	5508	186.0	18.0	-	-
14	30.3	G.O.P Cilamaya	5771	185.9	18.2	-	-
15	30.3	G.O.P Cilamaya	5718	185.7	18.1	-	-
16	30.1	G.O.P Cilamaya	5710	185.9	18.3	-	-
17	30.1	G.O.P Cilamaya	5730	185.8	18.3	-	-
18	30.4	G.O.P Cilamaya	5621	185.9	17.6	-	-
19	30.5	G.O.P Cilamaya	5527	186.2	18.2	-	-
20	31.1	G.O.P Cilamaya	5375	185.8	18.2	-	-
21	30.6	G.O.P Cilamaya	5466	187.8	18.1	-	-
22	30.8	G.O.P Cilamaya	5508	185.7	18.3	-	-
23	30.6	G.O.P Cilamaya	5538	185.7	17.6	-	-
24	30.6	G.O.P Cilamaya	5571	187.2	17.2	-	-
25	30.8	G.O.P Cilamaya	5580	187.8	18.5	-	-
26	30.6	G.O.P Cilamaya	5575	187.8	18.0	-	-
27	30.6	G.O.P Cilamaya	5575	187.9	18.4	-	-
28	31.0	G.O.P Cilamaya	5420	187.9	17.7	-	-
29							
30							
31							