

Analisis Metode Heavy Cargo Handling dan Transportasi Multimoda pada Proyek Air Separation Unit dan LNG Regas di Amman Mineral

Irhas Zulfikar* ^{1,2}

¹PT GAP Logistics, Jl. R.E. Martadinata No. 100 Blok C10, Tanjung Priok, Jakarta Utara 14310, Indonesia

²Program Studi Program Profesi Insinyur, Institut Teknologi Indonesia, Jl. Raya Puspipetek, Setu, Tangerang Selatan, Banten 15314, Indonesia

Article Info	Abstract
<i>Article history:</i> Received 22 June 2026 Accepted 04 July 2026 <i>Keywords:</i> heavy cargo, multimodal transportation, tractive effort, Ro-Ro, cargo securing	<i>Heavy-cargo transportation for Air Separation Unit (ASU) and LNG regasification projects involves interdependent marine-land transfer, roll-on/roll-off (Ro-Ro), ballasting, multi-axle transport, cargo securing, and jack-down activities. This study evaluates the engineering adequacy of the Amman Mineral project method in Sumbawa using the XHL-101-JGC method statement, EPCC Sumbawa route survey, standards, recalculation, and sensitivity analysis. The method is feasible in principle, but operational readiness cannot yet be confirmed. The mismatch between a 15% grade and a 15-degree slope materially increases traction demand, while unaccumulated headwind raises critical LIN Tank utilization to 98.5%. Jacking capacity is nominally adequate, but cargo securing, barge stability, ramp reaction, center of gravity, and route bearing capacity still require acceptance evidence. The framework separates verified data, derived results, assumptions, and hold points for go, conditional-go, or no-go decisions.</i>

Info Artikel	Abstrak
<i>Histori Artikel:</i> Diserahkan: 22 Juni 2026 Diterima: 04 Juli 2026 Kata Kunci: muatan berat, transportasi multimoda, gaya traksi, operasi Ro-Ro, pengamanan muatan.	Transportasi heavy cargo pada proyek Air Separation Unit (ASU) dan LNG regasifikasi melibatkan perpindahan laut-darat, roll-on/roll-off (Ro-Ro), ballasting, multi-axle trailer, cargo securing, dan jack-down yang saling bergantung. Penelitian ini mengevaluasi kecukupan rekayasa metode proyek Amman Mineral di Sumbawa menggunakan method statement XHL-101-JGC, route survey EPCC Sumbawa, standar, perhitungan ulang, dan analisis sensitivitas. Metode secara prinsip dapat dilaksanakan, tetapi kesiapan operasi belum dapat dikonfirmasi. Perbedaan grade 15% dan kemiringan 15 derajat meningkatkan kebutuhan traksi secara material, sedangkan headwind yang belum terakumulasi menaikkan utilisasi kritis LIN Tank menjadi 98,5%. Kapasitas jacking memadai secara nominal, tetapi cargo securing, stabilitas barge, reaksi ramp, center of gravity, dan daya dukung rute masih memerlukan bukti penerimaan. Kerangka ini membedakan data terverifikasi, hasil turunan, asumsi, dan hold point untuk keputusan go, conditional-go, atau no-go.

1. PENDAHULUAN

Proyek ASU dan LNG regasifikasi di kawasan industri pertambangan memiliki rantai logistik yang kompleks karena muatan berdimensi besar dan berbobot tinggi harus dipindahkan melalui beberapa interface: mother vessel ke barge atau landing craft tank

*Corresponding author. Irhas Zulfikar
Email address: irhaszulfikar08@gmail.com

(LCT), barge ke jetty melalui Ro-Ro, jetty ke area laydown menggunakan multi-axle trailer, kemudian dari trailer ke stools atau temporary storage dengan sistem jacking-skidding. Setiap pergantian moda mengubah kondisi tumpuan, gaya inersia, stabilitas, dan pihak yang mengendalikan operasi. DNV-ST-N001 mensyaratkan karakteristik lingkungan, batas fisik, asumsi desain, dan toleransi operasi dicerminkan di dalam prosedur operasi laut (DNV, 2023), sedangkan CSS Code menekankan kesesuaian kapal, stowage, dan sistem securing terhadap risiko kapal serta personel (IMO, 2021).

Penelitian heavy transport terdahulu menunjukkan bahwa posisi support pada self-propelled modular transporter mempengaruhi tegangan, defleksi, dan ketahanan guling muatan (Yu, Wang, dan Jing, 2022). Studi instalasi vessel menggunakan SPMT juga melaporkan manfaat pengurangan ketergantungan pada crane besar dan waktu beban tergantung (Stogdill, Al-Dossary, dan Al-Khalifah, 2022). Di sisi lain, kajian keselamatan crane menegaskan bahwa data beban, kondisi tanah, konfigurasi alat, organisasi kerja, dan komunikasi merupakan faktor yang harus dinilai bersama (Sadeghi, Soltanmohammadlou, dan Rahnamayiezekavat, 2021; Kargar et al., 2022). Literatur tersebut umumnya membahas satu subsistem, sedangkan keputusan proyek ini memerlukan integrasi marine operation, route, traksi, securing, lifting interface, dan jacking dalam satu gerbang keputusan.

Dokumen proyek menetapkan PT Cipta Segara International sebagai main contractor, PT Netanya International sebagai client, dan PT Xtra Heavy Logistik sebagai transporter. Ruang lingkupnya mencakup persiapan multi-axle, receiving heavy cargo, sea fastening, Ro-Ro dan ballasting, inland transport, serta jack-down di area laydown (PT Xtra Heavy Logistik, 2023). Route survey memetakan akses Badas Port sejauh 139 km, Poto Tano sejauh 61,4 km, dan alternatif jetty lokal sejauh 3,00-3,78 km menuju fasilitas ASU (PT Xtra Heavy Logistik, 2022). Data ini menunjukkan bahwa pemilihan rute harus dipisahkan antara general cargo dan heavy cargo; rute terpendek belum tentu dapat dipakai bila gate, radius tikungan, kemiringan, atau daya dukung tanah tidak memenuhi envelope muatan.

Pada transportasi darat, modular trailer mendistribusikan beban ke banyak axle line dan menyediakan steering angle besar, tetapi kapasitas nominal pabrikan tidak menggantikan pemeriksaan distribusi reaksi, kecepatan, ban, permukaan, serta stabilitas muatan (Goldhofer, 2026). Kepatuhan operasi di jalan juga harus memperhatikan tata cara pemuatan, dimensi, daya angkut, dan kelas jalan (Kementerian Perhubungan Republik Indonesia, 2019, 2021). Kebutuhan tractive effort dipengaruhi rolling resistance, grade resistance, headwind, dan hambatan lokal; perbedaan antara persen kemiringan dan derajat harus dinormalisasi karena $grade\ i = \tan(\theta)$ (Gillespie, 1992; Wong, 2008). Cargo securing untuk perjalanan darat perlu dihitung berdasarkan gaya inersia dan komponen efektif sistem restraint sesuai EN 12195-1, sedangkan chain dan komponennya harus ditelusuri terhadap EN 12195-3 (CEN, 2001, 2010). Pedoman European Commission dan IRU menekankan blocking, friction, direct lashing, distribusi beban, serta tanggung jawab para pihak dalam rantai pengangkutan (European Commission, 2014; IRU, 2014). Sea fastening harus memakai load case gerak kapal dan tidak dapat digantikan oleh perhitungan lashing jalan raya.

Rolling resistance 3%, grade 5%, prime mover 480 HP, dan chain D13 tanpa ketertelusuran penuh terhadap dokumen proyek. Setelah dibandingkan dengan method statement dan route survey, ditemukan bahwa calculation drawing proyek menggunakan rolling resistance 4%, grade 15% atau 8,55 derajat, prime mover 6x6 440 HP, serta available tractive effort 27,70 ton-gaya per unit. Route survey, di sisi lain, mencatat salah satu obstacle sebagai 15 degree. Ketidaksesuaian ini berpotensi mengubah jumlah prime mover dan margin keselamatan.

Kesenjangan penelitian terletak pada belum adanya validasi lintas-interface yang mempertemukan data marine dan darat, terutama ketika dokumen proyek memuat satuan atau asumsi yang tidak konsisten. Urgensinya tinggi karena kegagalan pada satu subsistem—misalnya traksi, ramp, ballast, restraint, atau support—dapat membatalkan kecukupan seluruh rangkaian. Tujuan kajian ini adalah: (1) mengevaluasi konsistensi data dan kecukupan konfigurasi heavy cargo multimoda; (2) memvalidasi rute, tractive effort, cargo securing, marine interface, lifting boundary, dan jacking; (3) menguji sensitivitas terhadap perbedaan grade serta headwind; dan (4) merumuskan acceptance gate go, conditional go, atau no-go. Pengelolaan risiko dilakukan secara terintegrasi melalui identifikasi, analisis, evaluasi, perlakuan, pemantauan, dan komunikasi risiko (ISO, 2018a), sedangkan kontrol pekerjaan dan kompetensi personel ditempatkan dalam kerangka sistem keselamatan dan kesehatan kerja (ISO, 2018b).

2. METODE PELAKSANAAN

2.1 Lokasi, pihak yang terlibat, dan sumber data

Kajian dilaksanakan sebagai engineering case study atas rencana mobilisasi heavy cargo menuju fasilitas ASU dan LNG regasifikasi Amman Mineral di Sumbawa. Pihak yang tercantum pada dokumen adalah main contractor, client, transporter, serta tim engineering, site supervision, HSE, ballast, multi-axle, driver, dan jacking. Penulis melakukan telaah teknis dari perspektif praktisi transportasi muatan berat. Method statement dan route survey merupakan dokumen primer proyek, tetapi diperlakukan sebagai data sekunder dalam penelitian ini. Tidak dilakukan observasi lapangan, pengukuran ulang, atau wawancara. Karena itu, hasil kajian merupakan design review dan bukan pengganti approved-for-construction calculation atau persetujuan appointed surveyor.

Tabel 1.

Sumber data, fungsi, dan status validasi

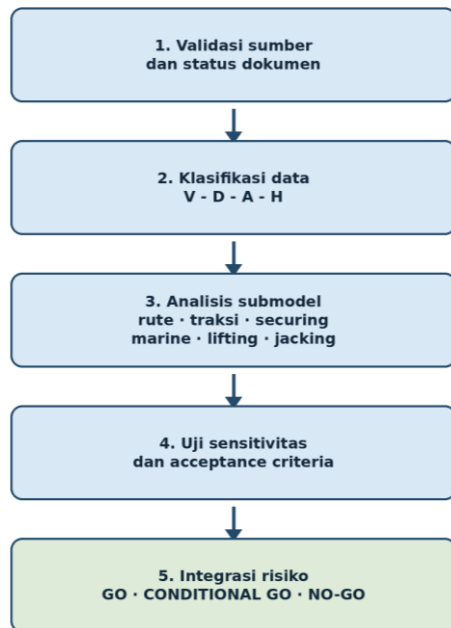
Sumber	Data yang digunakan	Status	Implikasi
Method statement XHL-101-JGC, 17 Feb. 2023	Cargo, urutan operasi, operating limits, stowage, TE, equipment	Data sekunder; title block Rev.0; Issued for Approval	Revision dan approval harus dikonfirmasi sebelum eksekusi
Route Survey EPCC Sumbawa, 14 Des. 2022	Rute, jarak, gate, lebar akses, gradient, alternatif jetty	Data sekunder; survei pendahuluan	Perlu survey ulang dan as-built measurement
Standar dan pustaka	Marine operation, securing, jacking, vehicle dynamics, risk	Referensi desain	Kriteria dipakai sesuai lingkup dan data yang tersedia

2.2 Tahapan analisis dan klasifikasi data

Analisis dilakukan dalam lima tahap. Pertama, seluruh data cargo, trailer, prime mover, rute, dan batas operasi ditranskripsi dari dokumen proyek. Kedua, angka diperiksa silang antara cargo table, route survey, stowage plan, dan tractive-effort drawing. Ketiga, rumus diperiksa dengan satuan konsisten. Keempat, hasil disaring terhadap standar terkait. Kelima, setiap gap diubah menjadi hold point, kriteria go/no-go, atau kebutuhan dokumen tambahan.

Untuk menjaga keterlacakan, data diklasifikasikan sebagai V (verified: terbaca langsung pada dokumen sumber), D (derived: dihitung dari data V), A (assumption: asumsi eksplisit untuk screening), atau H (hold point: data wajib tersedia sebelum operasi). Pendekatan ini mencegah asumsi preliminary disajikan sebagai fakta proyek.

Alur pada Gambar 1 menempatkan validasi sumber sebelum perhitungan. Setiap submodel kemudian diuji terhadap acceptance criteria pada Tabel 2 dan hasilnya diintegrasikan dengan risiko. Keputusan hanya dapat berstatus go apabila semua bukti penerimaan tersedia; kekurangan bukti menghasilkan conditional go atau no-go.



Gambar 1.

Alur validasi terintegrasi dan gerbang keputusan penelitian

Tabel 2.

Variabel, model analisis, dan kriteria penerimaan

Submodel	Variabel/model	Kriteria penerimaan
Rute	Envelope cargo-trailer; grade $i = \tan(\theta)$; crossfall, radius, clearance	Rute final terukur; obstacle dan struktur diluluskan
Traksi	$F_R = W_g(f_r + i)$; $F_{adj} = F_R + F_w$; $U = F_{adj} / (n T_{av})$	U dalam batas proyek dan dibatasi adhesi, towbar, ban, serta rem
Axle load	$q = \text{reaksi grup/jumlah axle line}$	Di bawah rating alat dan allowable route/structure
Securing darat	$F_{res} = (c - \mu)mg$; $n = \text{ceil}[F_{res} / (LC \cos \alpha)]$	LC, sudut, anchor, friction, blocking, dan load path terverifikasi
Marine/Ro-Ro	Stability, deck/ramp reaction, ballast, mooring, weather	Approved load case; GM, draft, list/trim, ramp dan deck dalam limit
Lifting	Gross lifted load/chart capacity pada radius dan konfigurasi aktual	Load chart, rigging, ground reaction, dan lift plan disetujui
Jacking	$R_j = W/4$; $R_d = 1,25 R_j$; utilisasi = $R_d / 200 t$	COG, support, base pressure, sinkronisasi, dan cribbing memenuhi
Risiko	V-D-A-H + acceptance evidence	Semua hold point ditutup sebelum izin kerja

2.3 Persamaan tractive effort dan sensitivitas grade

Calculation drawing menyatakan rolling resistance $f_r = 4\%$, grade $i = 15\%$, available tractive effort $T_{av} = 27,70$ ton-gaya per prime mover, serta maximum headwind 5 ton-gaya. Pemeriksaan dilakukan dengan persamaan:

$$F_R = W_g(f_r + i) \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$F_{adj} = F_R + F_w ; U = F_{adj} / (n T_{av}) \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$i = \tan(\theta) ; n_{req} = \text{ceil}[F_{adj} / T_{av}] \quad \dots\dots\dots (3)$$

Dengan F_R adalah gaya resistansi sumber, W_g gross load, F_w headwind, U utilisasi traksi, n jumlah prime mover, dan θ sudut kemiringan. Persamaan merupakan model kecepatan rendah dan belum mencakup turning resistance, sinkage, starting resistance, shock load, atau penurunan performa akibat temperatur (Gillespie, 1992; Wong, 2008).

2.4 Penyaringan cargo securing, jacking, dan marine operation

Penyaringan lashing darat memakai koefisien akselerasi $c_x = 0,8$ ke depan dan $c_y = 0,5$ lateral, koefisien gesek asumsi $\mu = 0,30$, lashing capacity asumsi $LC = 53$ kN, dan sudut horizontal $\alpha = 30$ derajat. Jumlah cabang efektif dihitung secara konservatif dari $n = \text{ceil}\{[(c - \mu)mg]/[LC \cos(\alpha)]\}$. Nilai LC dan μ adalah asumsi screening, bukan data sertifikat proyek; penggunaannya dibatasi untuk menunjukkan skala kebutuhan dan wajib diganti dengan certificate data sebelum desain final. EN 12195-1 menjadi dasar gaya restraint, sedangkan EN 12195-3 menjadi dasar verifikasi lashing chain dan penandaan LC (CEN, 2001, 2010). Pemilihan friction, blocking, dan direct lashing diperiksa silang dengan pedoman European Commission (2014) dan IRU (2014).

Kapasitas jacking ditelaah dari sistem 800 ton yang terdiri dari empat silinder 200 ton. Reaksi awal dihitung sebagai $W/4$ dan diuji kembali dengan faktor ketidakmerataan 1,25. Pemeriksaan ini hanya memvalidasi kapasitas nominal; ASME B30.1 juga menempatkan konstruksi, operasi, inspeksi, pengujian, dan pemeliharaan jack sebagai bagian dari keselamatan sistem (ASME, 2026). Untuk marine operation, kajian dibatasi pada kesiapan dokumen karena data hydrostatic, GM, draft, deck strength, ramp reaction, mooring load, dan ballast sequence final belum tersedia (DNV, 2023; IMO, 2021).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakteristik cargo dan kebutuhan engineering

Tabel 3 menunjukkan 12 kelompok heavy cargo dengan total gross weight 1.955,2 ton. Total ini merupakan agregat seluruh item, bukan satu kali shipment. Cargo governing berbeda menurut failure mode: Main Heat Exchanger governing terhadap berat satuan, tinggi, dan center of gravity; MP Column + LP Column governing terhadap panjang 40 m dan swept path; sedangkan kelompok LOX Tank governing terhadap total tonase serta kebutuhan stowage berulang.

Tabel 3.

Rekapitulasi *heavy cargo* berdasarkan *method statement*

Cargo	Qty	L (m)	W (m)	H (m)	GW/unit (t)	Total GW (t)
Main Heat Exchanger (Cold Box)	1	12,96	7,90	16,55	273,6	273,6
Air Purification Vessel	2	17,35	4,70	5,00	90,0	180,0
MP Column + LP Column (Cold Box)	1	40,00	5,60	7,50	231,6	231,6
LOX Tank	4	35,00	4,70	4,60	110,4	441,6
Water Wash Tower	1	19,45	3,20	3,20	42,8	42,8
Water Chiller Tower	1	17,05	3,30	3,30	30,0	30,0
LIN Tank	1	35,00	4,80	4,70	118,8	118,8
Marine Loading Arm A-101A/B & A-102	3	23,00	4,00	4,00	30,0	90,0
LOX Tank T-001A/B	2	34,65	4,75	4,80	147,6	295,2
Transformer 25 MVA	2	4,50	4,525	4,07	59,436	118,9
Nitrogen Water Tower E60	1	24,20	4,20	4,50	27,6	27,6
LIN Tank T-002	2	17,20	3,85	3,85	52,56	105,1
TOTAL	-	-	-	-	-	1.955,2

Pemilihan equipment tidak boleh hanya memakai total berat. Tinggi 16,55 m menuntut verifikasi COG dan wind exposure, lebar 7,90 m memerlukan clearance route dan exclusion zone, sedangkan panjang 40 m menambah front/tail swing. Data COG pada drawing masih assumed; karena itu final vendor drawing, support point, lifting point, dan allowable local load merupakan hold point.

Tabel 4.

Data alat, konfigurasi, dan status validasi

Peralatan/parameter	Data dokumen proyek	Status dan acceptance gate
Multi-axle Goldhofer THP/SL 4/6	Lebar dasar 3.000 mm; 8 ban/axle line; steering +/-55 derajat; stroke +/-300 mm	Data V; konfigurasi final dan inspeksi fungsi wajib
Axle geometry/rating	6 axle line = 9.000 mm (spacing 1.500 mm); rating nominal 45 t/axle line pada 1 km/jam	Rating pabrikan bukan allowable route; axle reaction dan struktur wajib diverifikasi
Konfigurasi trailer	12-32 axle line; side-by-side/single line sesuai cargo; beam 3,0-8,0 t	Data V/D; COG dan hydraulic grouping final menjadi hold point
Prime mover	Volvo 6x6 440 HP; calculation memakai T _{av} 27,70 tf/unit; drawing menunjukkan ballast 20 t	Make/model tersedia, tetapi driven-axle reaction, torque curve, gear, tyre, dan drawbar limit belum lengkap
Jacking system	4 silinder x 200 t; total 800 t; 700 bar double-acting; stroke 150 mm	Kapasitas nominal saja; sertifikat, kalibrasi, support, dan sinkronisasi wajib
Heavy-cargo lifting	Tidak ada heavy-lift crane/load chart yang disetujui; crane pada MS untuk general cargo	Direct lifting heavy cargo tidak dapat disahkan

Spesifikasi pabrikan menunjukkan kemampuan modular dan steering, tetapi allowable axle load harus memakai nilai terendah antara rating trailer, ban, sambungan, kecepatan, jalan, jembatan, jetty/ramp, dan perizinan. Kewajiban memenuhi tata cara pemuatan, daya angkut, dimensi, dan kelas jalan juga tetap berlaku pada tahap penyusunan izin operasi (Goldhofer, 2026; Kementerian Perhubungan Republik Indonesia, 2019, 2021).

3.2 Pemilihan rute dan interface marine-land

Route survey memisahkan koridor regional dan koridor lokal. Badas Port dan Poto Tano menyediakan rute panjang untuk general cargo, tetapi terdapat gate dan gradient yang tidak kompatibel dengan envelope heavy cargo. Sebaliknya, Jamuna, Cargo, Jago 10, Benete, dan temporary jetty berada sekitar 3 km dari fasilitas dan lebih relevan untuk cargo ratusan ton.



Gambar 2.

Alternatif rute heavy cargo dari jetty lokal menuju fasilitas ASU (sumber: PT Xtra Heavy Logistik, 2022)

Tabel 5.

Screening alternatif rute berdasarkan route survey

Rute	Jarak	Kesesuaian awal	Temuan/hold point
Badas Port - ASF	139 km	General cargo	Rute panjang; obstacle dan daya dukung struktur perlu kajian
Poto Tano Ro-Ro - ASF	61,4 km	General cargo	Gate 4,5 m x 3,5 m; titik 10 derajat dan 15 derajat
Jamuna Jetty - ASF	3,75 km	Kandidat heavy cargo	Floating/beaching interface; bathymetry dan ramp
Cargo Jetty - ASF	3,61 km	Kandidat heavy cargo	Geometri jetty dan interface ramp
Jago 10 Jetty - ASF	3,00 km	Kandidat heavy cargo	Shortest route; kapasitas jetty wajib diverifikasi
Benete Public Port - ASF	3,67 km	Kondisional	Gate/access road; perlu bypass atau modifikasi
Temporary Jetty - ASF	3,78 km	Kandidat heavy cargo	Bathymetry, access 9,5-10,5 m, ground bearing

Gate Poto Tano 4,5 m x 3,5 m lebih kecil dari beberapa dimensi cargo, sehingga heavy cargo tidak dapat melewati tanpa removal, bypass, atau perubahan moda. Temuan ini menjelaskan mengapa kedekatan jetty lokal menjadi strategis. Namun, route survey belum menyajikan chainage, crossfall, vertical curve, bearing capacity, culvert/bridge capacity, utility clearance, dan gradient profile beresolusi tinggi. Field verification dan swept path berbasis konfigurasi trailer final tetap wajib.

3.3 Urutan operasi Ro-Ro, ballasting, dan stowage

Metode yang tertelusur terdiri dari: persiapan trailer dan stools; ship-to-ship transfer menggunakan vessel crane oleh client/stevedoring; penempatan cargo pada stools di barge/LCT; sea fastening yang disetujui client/appointed surveyor; berthing dan mooring; pemasangan ramp dan pre-ballast; roll-off multi-axle; lashing di trailer; inland transport melalui rute approved; serta jack-down pada stools di area laydown. Gambar 3-5 mendokumentasikan stowage dan alur operasi dari dokumen proyek.

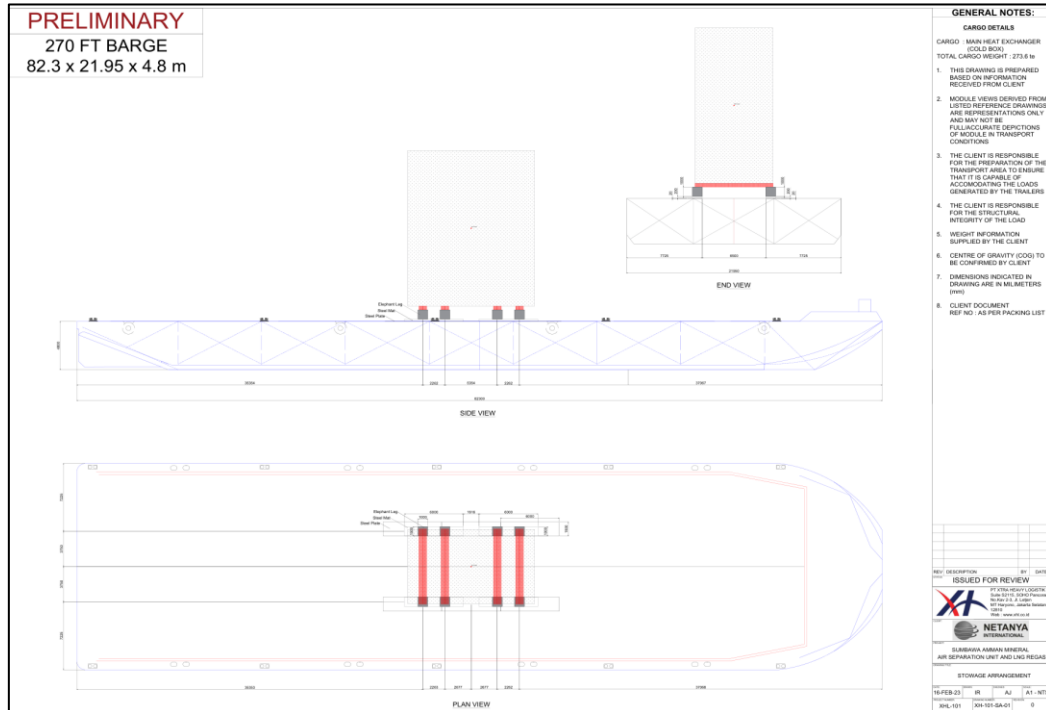
Pemilihan jack-down/Ro-Ro dibanding direct lifting diringkaskan pada Tabel 6. Untuk Main Heat Exchanger 273,6 ton, direct lifting harus memasukkan rigging, radius, boom, outrigger reaction, tanah, dan wind area ke gross lifted load. Method statement hanya menyediakan lifting plan umum untuk general cargo dan route survey menyebut rough-terrain crane 70 ton di Benete; keduanya bukan bukti kapasitas heavy lift. Kajian SPMT menunjukkan keuntungan pengurangan beban tergantung, tetapi keselamatan tetap ditentukan oleh support dan prosedur (Stogdill, Al-Dossary, dan Al-Khalifah, 2022; Yu, Wang, dan Jing, 2022).

Tabel 6.

Perbandingan metode handling pada interface utama

Alternatif	Keunggulan	Keterbatasan/bukti wajib	Keputusan kajian
Ro-Ro + multi-axle	Tidak memerlukan crane heavy lift di jetty; load tetap tersangga	Barge stability, ramp/deck reaction, ballast, tide, mooring, traction	Dipilih secara kondisional
Jack-down/skidding	Kapasitas nominal 4 x 200 t; stroke bertahap; sesuai area laydown	COG, support/ground, stool/beam, sinkronisasi, cribbing, recovery	Dipilih secara kondisional
Direct lifting heavy cargo	Transfer dapat lebih singkat bila crane dan area memadai	Tidak ada heavy-lift crane, load chart, radius, rigging, outrigger/ground check	Tidak dapat disahkan dari data tersedia

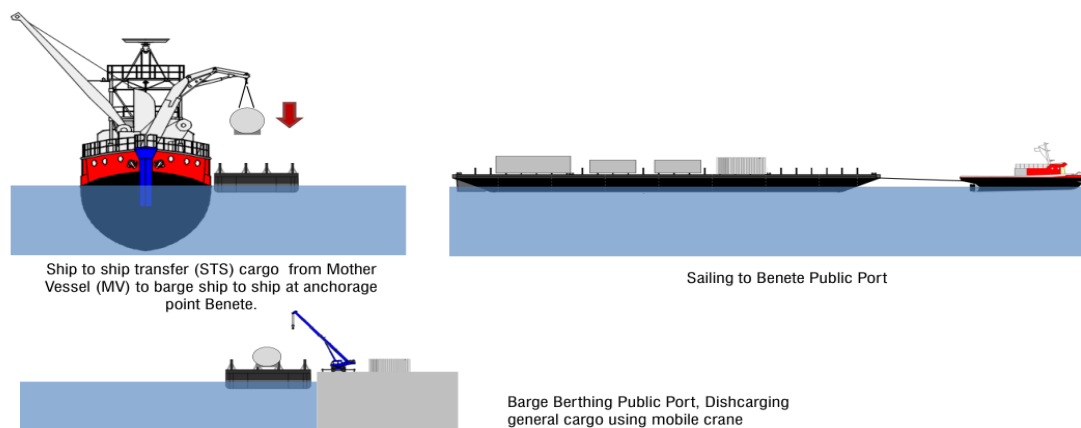
Keputusan untuk tidak mengesahkan direct lifting bukan berarti lifting selalu lebih berbahaya, melainkan karena evidence desainnya tidak tersedia. Literatur keselamatan crane menunjukkan bahwa kapasitas nominal saja tidak cukup tanpa data beban, kondisi tanah, konfigurasi, organisasi kerja, dan komunikasi (Sadeghi, Soltanmohammadlou, dan Rahnamayiezekavat, 2021; Kargar et al., 2022). General cargo lifting tetap memerlukan lift plan dan load chart pada radius aktual.



Gambar 3.

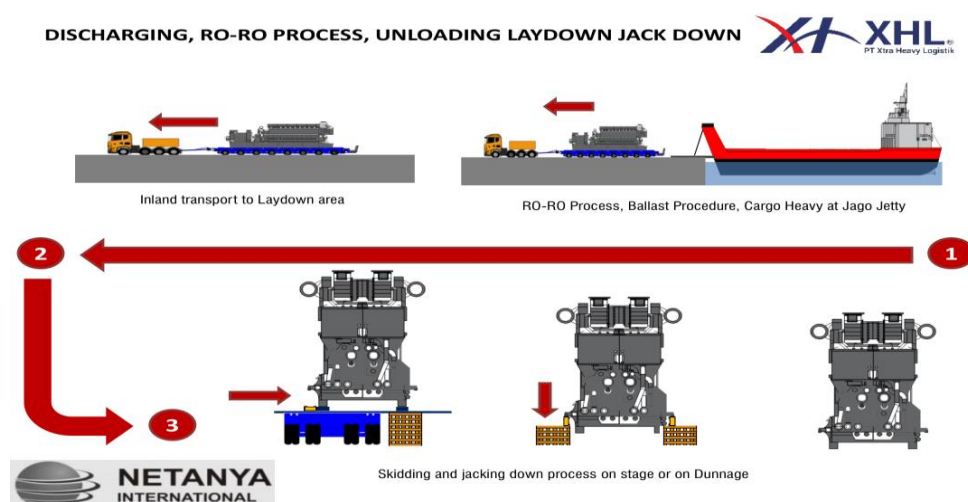
Preliminary stowage arrangement Main Heat Exchanger pada barge 270 ft
(sumber: PT Xtra Heavy Logistik, 2023)

SHIPPING PLAN, HANDLING, AND RECEIVING CARGO



Gambar 4.

Shipping, handling, dan receiving cargo
(sumber: PT Xtra Heavy Logistik, 2023)

**Gambar 5.**

Ro-Ro, inland transport, skidding, dan jack-down

(sumber: PT Xtra Heavy Logistik, 2023)

Stowage drawing menggunakan barge 270 ft (82,3 m x 21,95 m x 4,8 m) untuk Main Heat Exchanger dan MP/LP Column, serta barge 250 ft (76,2 m x 21,34 m x 4,3 m) untuk kelompok cargo lain. Gambar tersebut masih preliminary dan menyatakan COG assumed. Karena hydrostatic particulars, lightship, tank sounding, deck allowable load, dan motion criteria tidak tersedia, kecukupan stability tidak dapat dinyatakan hanya dari ukuran barge. Barge stability calculation, local deck check, ramp reaction, mooring/fendering, ballast sequence, pump redundancy, tide/current, serta weather window harus disetujui sebelum Ro-Ro (DNV, 2023; IMO, 2021).

Tabel 7.

Kriteria go/no-go pada method statement dan penguatan verifikasi

Parameter	Go/no-go pada method statement	Status	Verifikasi/aksi
Windspeed	Go: Beaufort 5/10,81 m/s; no-go: >10,81 m/s	Kriteria project/client	Anemometer, forecast, exposure cargo
24-hour forecast	Go: dropping; no-go: increasing	Kriteria project/client	Forecast resmi dan weather briefing
Temperature	Go: sampai 40 C; no-go: >40 C	Kriteria project/client	Derating equipment dan heat stress
Visibility	Go: >100 m; no-go: <100 m	Kriteria project/client	Line-of-sight signalman dan lighting
Potential lightning	Go: <30%; no-go: >30%	Kriteria project/client	Alarm/nowcasting dan stop-work
Starting time	Go: daylight; no-go: night/lack of lighting	Kriteria project/client	Night work hanya dengan revisi prosedur
Surface	Go: compacted/good traction; no-go: loose/poor	Kriteria project/client	CBR/plate test, compaction, inspection
Ramp movement	Go: +/-50 mm; no-go: di luar +/-50 mm	Kriteria project/client	Survey/monitoring kontinu saat transfer
Tide/deck level	Go: rising/deck +100 mm; no-go: falling/below quay	Kriteria project/client	Tide window dan ballast log

Angka pada Tabel 7 dipetakan sebagai kriteria internal proyek/client dari method statement, bukan limit universal DNV, IMO, ISO, atau ASME. Kriteria tersebut harus masuk ke permit to work dan ITP sebagai hold point. Otoritas stop-work, kompetensi, komunikasi, alat ukur terkalibrasi, dan management of change harus diterapkan konsisten dengan sistem K3 (ISO, 2018b).

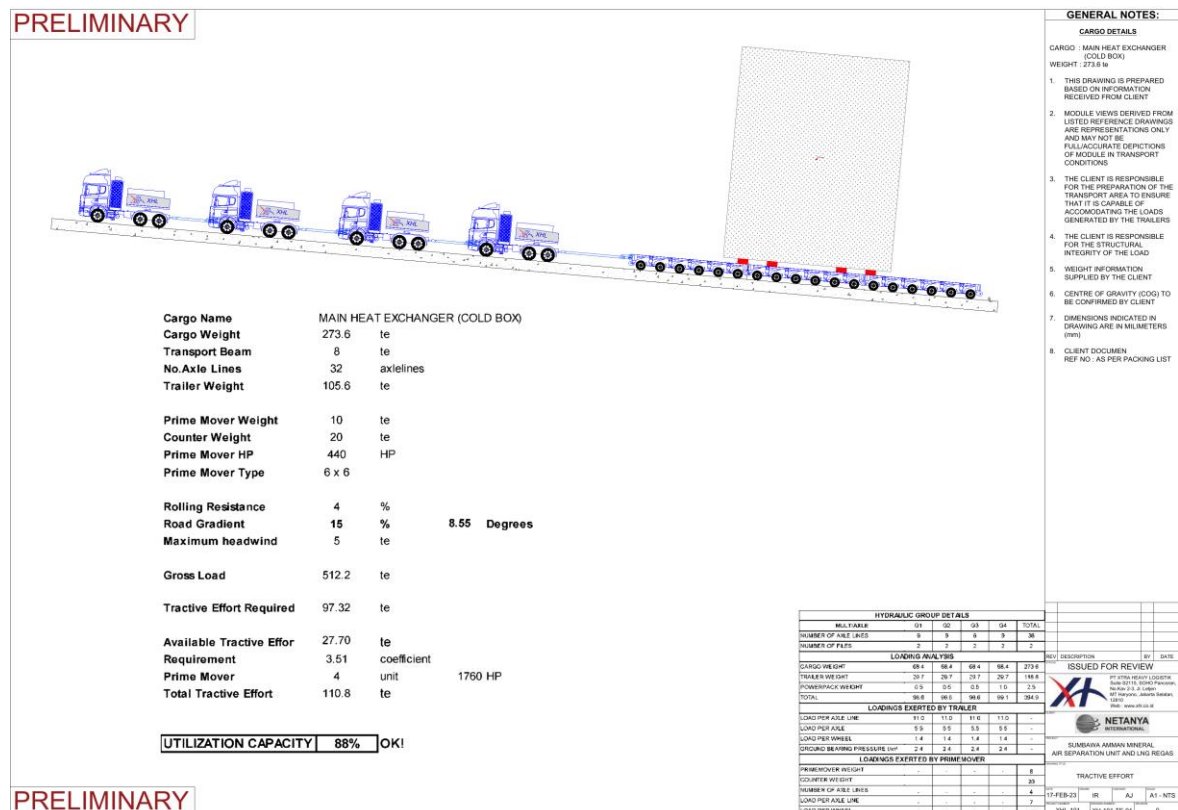
3.4 Validasi tractive effort dan perbedaan 15% terhadap 15 derajat

Drawing tractive effort memuat tujuh skenario cargo. Seluruhnya memakai rolling resistance 4%, grade 15% (ditulis setara 8,55 derajat), prime mover 6x6 440 HP, dan available tractive effort 27,70 ton-gaya per unit. Tabel 8 merekap data sumber. Gambar 6 menunjukkan salah satu calculation drawing untuk Main Heat Exchanger.

Tabel 8.

Rekapitulasi konfigurasi dan *tractive effort* pada *calculation drawing*

Cargo	W cargo (t)	Beam (t)	Axle line	Gross (t)	F_R (tf)	P M	T _{av} (tf)	Util.
Main Heat Exchanger	273,6	8,0	32	512,2	97,32	4	110,8	88%
MP + LP Column	231,6	7,5	32	469,7	89,24	4	110,8	81%
LOX Tank T-001A/B (1 unit)	147,6	4,5	22	319,7	60,74	3	83,1	73%
LIN Tank	118,8	4,5	22	260,9	49,57	2	55,4	89%
LOX Tank (1 unit)	110,4	4,5	22	252,5	47,98	2	55,4	87%
Air Purification Vessel	90,0	4,5	12	199,1	37,83	2	55,4	68%
Transformer 25 MVA	59,44	3,0	12	167,04	31,74	2	55,4	57%



Gambar 6.

Calculation drawing tractive effort Main Heat Exchanger

(sumber: PT Xtra Heavy Logistik, 2023)

Pemeriksaan aritmetika menunjukkan $F_R = 0,19 W_g$, sehingga nilai pada drawing konsisten dengan rolling 4% dan grade 15%. Akan tetapi, maximum headwind 5 ton-gaya dicantumkan sebagai input, sementara nilai F_R sama dengan $0,19 W_g$ tanpa tambahan headwind. Tabel 9 menunjukkan dampaknya. Konfigurasi LIN Tank naik dari 89% menjadi 98,5%, menyisakan margin hanya 1,5% sebelum turning resistance, starting resistance, sinkage, atau derating. Dengan demikian status 'OK' pada drawing bersifat kondisional.

Tabel 9.*Sensitivitas headwind dan interpretasi gradient*

Cargo	F_R sumber (tf)	F_R + wind (tf)	Util. + wind	F pada 15 derajat + wind (tf)	PM pada 15 derajat
Main Heat Exchanger	97,32	102,32	92,3%	162,73	6
MP + LP Column	89,24	94,24	85,1%	149,64	6
LOX 147,6 t	60,74	65,74	79,1%	103,45	4
LIN 118,8 t	49,57	54,57	98,5%	85,34	4
LOX 110,4 t	47,98	52,98	95,6%	82,76	3
Air Purification 90 t	37,83	42,83	77,3%	66,31	3
Transformer 59,44 t	31,74	36,74	66,3%	56,44	3

Route survey menulis gradient 15 degree pada koridor Badas/Poto Tano, sedangkan drawing memakai 15% = 8,55 derajat. Kemiringan 15 derajat setara $\tan(15 \text{ derajat}) = 26,8\%$. Sensitivitas pada Tabel 9 tidak otomatis berlaku untuk seluruh rute heavy cargo karena obstacle tersebut berada pada koridor regional; hasilnya menunjukkan konsekuensi apabila konfigurasi yang sama benar-benar melewati slope tersebut. Jumlah prime mover dapat meningkat menjadi tiga sampai enam unit. Oleh sebab itu, grade wajib diukur ulang dalam persen dan derajat pada chainage yang sama, lalu dikaitkan dengan konfigurasi cargo/rute final.

Selain gaya kebutuhan, available tractive effort 27,70 ton-gaya harus dilacak ke berat aktual pada driven axles, koefisien adhesi ban-permukaan, gear, tyre limit, towbar/sling capacity, dan arah gaya. Penambahan prime mover tidak otomatis menghasilkan penjumlahan penuh bila sinkronisasi, coupling, atau adhesi tidak terpenuhi. Trial pull, brake-hold test, komunikasi radio, dan emergency stop harus menjadi acceptance test.

3.5 Cargo securing untuk darat dan laut

Method statement mensyaratkan chain, chain block, lashing belt, T-jack, pad eye/D-ring, dan persetujuan client/appointed surveyor, tetapi tidak menyertakan certificate LC, pre-tension, weld detail, material pad eye, atau allowable load. Oleh karena itu, Tabel 10 hanya merupakan screening berbasis asumsi LC 53 kN dan μ 0,30. Angka yang dihasilkan adalah jumlah cabang efektif pada arah gaya, bukan rekomendasi langsung jumlah chain di lapangan.

Tabel 10.*Screening kebutuhan cabang restraint efektif untuk inland transport*

Cargo	Massa (t)	F longitudinal (kN)	Cabang efektif	F lateral (kN)	Cabang efektif
Main Heat Exchanger	273,6	1342	30	537	12
MP + LP Column	231,6	1136	25	454	10
LOX Tank T-001A/B	147,6	724	16	289	7
LIN Tank	118,8	583	13	233	6
Air Purification Vessel	90	441	10	177	4
Transformer 25 MVA	59,44	291	7	117	3

Besarnya jumlah cabang menunjukkan bahwa friction lashing saja tidak realistis untuk muatan ratusan ton. Desain harus menggabungkan positive blocking/welded stopper, cradle atau saddle untuk cargo silindris, anti-slip mat, direct lashing simetris, pad eye yang diverifikasi, serta pemeriksaan sliding, overturning, uplift, dan local strength. EN 12195-1 digunakan untuk demand dan EN 12195-3 untuk chain/komponennya; praktik blocking, friction, distribusi beban, serta tanggung jawab pihak diperiksa silang dengan pedoman Eropa dan IRU (CEN, 2001, 2010; European Commission, 2014; IRU, 2014). Untuk voyage barge, tabel ini tidak boleh dipakai; sea fastening harus memakai design accelerations, vessel

motions, environmental load, weld check, dan fatigue/load-case yang sesuai (DNV, 2023; IMO, 2021).

3.6 Jack-down, support, dan kapasitas nominal

Dokumen mencantumkan satu set jacking system berkapasitas total 800 ton, terdiri dari empat silinder masing-masing 200 ton, tekanan kerja 700 bar, double-acting, dan stroke 150 mm. Muatan tunggal terberat adalah Main Heat Exchanger 273,6 ton. Pada distribusi merata, reaksi 68,4 ton/jack atau 34,2% kapasitas; dengan faktor ketidakmerataan 1,25, reaksi screening menjadi 85,5 ton/jack atau 42,8%. MP + LP Column menghasilkan 57,9 ton/jack, atau 72,4 ton/jack setelah faktor 1,25.

Tabel 11.

Screening kapasitas nominal jacking

Cargo	W (t)	Reaksi W/4 (t/jack)	Utilisasi	Reaksi x 1,25	Utilisasi
Main Heat Exchanger	273,6	68,4	34,2%	85,5	42,8%
MP + LP Column	231,6	57,9	29,0%	72,4	36,2%
LOX Tank T-001A/B (1 unit)	147,6	36,9	18,5%	46,1	23,1%

Margin nominal tidak membuktikan stabilitas. Final jack plan harus memuat COG aktual, titik jack/support, baseplate pressure, ground bearing, stool/beam capacity, hose dan manifold arrangement, synchronization limit, increment maksimum, survey elevasi, lock nut/mechanical cribbing, exclusion zone, dan recovery plan. Jack wajib diperiksa dan dioperasikan sesuai prosedur yang mencakup inspection, testing, dan maintenance (ASME, 2026).

3.7 Risiko utama, hold point, dan keputusan engineering

Hasil analisis diubah menjadi kontrol keputusan pada Tabel 12. Risiko tidak dinyatakan selesai hanya karena alat memiliki kapasitas nominal; acceptance evidence harus tersedia pada hold point. Pendekatan ini konsisten dengan prinsip ISO 31000 yang mengintegrasikan risiko ke dalam pengambilan keputusan dan menggunakan informasi terbaik yang tersedia (ISO, 2018a).

Tabel 12.

Register keputusan engineering dan *hold point*

Risiko/failure mode	Bukti penerimaan sebelum operasi	Hold point / no-go
Salah interpretasi grade	Survey chainage, inclinometer/total station, satuan % dan derajat	Tidak ada nilai grade final pada rute cargo
Traksi tidak cukup	TE calc final, adhesion check, towbar/sling certificate, trial pull	Utilisasi tanpa margin atau surface memburuk
Barge trim/list tidak terkendali	Stability booklet, load case, tank sounding, ballast sequence	GM/draft/freeboard/ramp level di luar limit
Ramp/jetty overstress	Ramp reaction dan local deck/jetty structural check	Kapasitas tidak disetujui engineer/owner
Cargo sliding/overturning	Approved lashing/sea-fastening drawing dan certificates	Pad eye, weld, LC, COG, atau pretension belum valid
Jacking instability	Jack plan, support reaction, ground/stool check, synchronized test	Settlement/differential lift melebihi limit
Collision/route obstruction	Swept path, route clearance matrix, utility isolation/removal	Obstacle belum ditangani atau envelope tidak bebas
Cuaca/tide di luar kriteria	Forecast, anemometer, lightning, tide, ramp movement log	Salah satu no-go criterion tercapai
Dokumen tidak terkendali	Revision register dan approved method statement	Nama file, title block, atau approval tidak konsisten

Dari sisi praktik keinsinyuran, kontribusi kajian bukan sekadar menghasilkan angka, melainkan memisahkan data verified, derived, assumption, dan hold point. Kemandirian tercermin pada validasi ulang satuan dan formula; kemanfaatan terlihat pada perubahan hasil menjadi keputusan go/no-go; dan inovasi muncul dari penggabungan marine-land interface, route screening, tractive effort, securing, serta jack-down dalam satu traceability matrix.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Sintesis kajian menunjukkan bahwa kelayakan heavy cargo tidak dapat diputuskan per alat. Kontribusi utamanya adalah kerangka system-of-systems yang menghubungkan validitas dokumen, rute, axle/load path, traksi, marine interface, securing, lifting boundary, jacking, dan risiko ke dalam acceptance gate yang dapat diaudit. Implikasi praktisnya, status siap operasi baru dapat diterbitkan setelah seluruh hold point memiliki bukti penerimaan.

1. Metode proyek merupakan sistem multimoda terintegrasi: ship-to-barge/LCT, sea fastening, Ro-Ro dan ballasting, multi-axle inland transport, serta jack-down. Total 1.955,2 ton adalah agregat 12 kelompok cargo; governing cargo harus ditetapkan per failure mode dan per shipment, bukan berdasarkan total agregat.
2. Rute Badas Port 139 km dan Poto Tano 61,4 km lebih sesuai untuk general cargo karena terdapat gate 4,5 m x 3,5 m serta obstacle 10 dan 15 derajat. Alternatif jetty lokal berjarak 3,00-3,78 km lebih relevan untuk heavy cargo, tetapi tetap memerlukan field survey final, swept path, ground bearing, dan verifikasi kapasitas jetty/ramp.
3. Calculation drawing konsisten untuk rolling resistance 4% dan grade 15%, tetapi headwind 5 ton-gaya belum terakumulasi sehingga utilisasi kritis LIN Tank mencapai 98,5%. Catatan route survey 15 derajat setara grade 26,8%, bukan 15%; perbedaan satuan dan chainage merupakan hold point yang dapat mengubah kebutuhan prime mover secara material.
4. Ro-Ro dan jack-down dapat diterima secara kondisional karena menghindari direct heavy lift tanpa bukti kapasitas. Sistem jack 4 x 200 ton memadai secara nominal, sedangkan direct lifting heavy cargo tidak dapat disahkan karena load chart, radius, rigging, outrigger reaction, dan ground check tidak tersedia.
5. Cargo securing dan marine operation belum dapat disahkan. Final design memerlukan certificate LC dan anchor, pad-eye/weld check, COG, sea-fastening load case, barge stability, deck/ramp reaction, mooring, ballast sequence, serta persetujuan appointed surveyor.
6. Penerapan klasifikasi V-D-A-H mencegah asumsi preliminary diperlakukan sebagai fakta. Kerangka ini dapat direplikasi pada proyek heavy cargo lain untuk mengubah hasil perhitungan menjadi keputusan go, conditional go, atau no-go yang tertelusur.

4.2 Saran

1. Lakukan route survey ulang berbasis chainage dan ukur grade dalam persen serta derajat, vertical curve, crossfall, lebar efektif, obstacle height, turning radius, culvert/bridge, dan bearing capacity.
2. Terbitkan calculation package final yang menggabungkan cargo data/COG, trailer arrangement, axle reaction, adhesion-limited tractive effort, headwind, turning/starting resistance, brake-hold test, serta contingency prime mover atau towing assist.
3. Pisahkan desain inland lashing berdasarkan EN 12195-1 dari sea fastening berdasarkan vessel motions dan marine load cases; gunakan hanya certificate LC/WLL, pad eye, weld, stopper, dan dunnage yang terverifikasi.

4. Jadikan stability calculation, ramp reaction, deck/jetty strength, ballast sequence, tide/weather window, route clearance, dan jack plan sebagai hold point pada ITP dan permit to work.
5. Selaraskan nama file, revision status, approval status, dan master document register sebelum dokumen dipakai untuk pelaksanaan.

5. DAFTAR PUSTAKA

1. American Society of Mechanical Engineers (ASME). (2026). *ASME B30.1-2026: Jacks, Industrial Rollers, Air Casters, and Hydraulic Gantries*. New York: ASME. (<https://www.asme.org/codes-standards/find-codes-standards/b30-1-jacks-industrial-rollers-air-casters-hydraulic-gantries>). (Diakses 15 Mei 2026)
2. DNV. (2023). DNV-ST-N001: *Marine Operations and Marine Warranty, Edition December 2023*. Hovik: DNV. (<https://www.dnv.com/energy/standards-guidelines/dnv-st-n001-marine-operations-and-marine-warranty/>). (Diakses 17 Mei 2026)
3. European Commission. (2014). *European Best Practice Guidelines on Cargo Securing for Road Transport*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. (<https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/30c7c1dc-f26e-44af-bd4c-2434b43edd7e>). (Diakses 19 Mei 2026)
4. European Committee for Standardization (CEN). (2001). EN 12195-3:2001 Load Restraint Assemblies on Road Vehicles - Safety - Part 3: Lashing Chains. Brussels: CEN.
5. European Committee for Standardization (CEN). (2010). EN 12195-1:2010 Load Restraining on Road Vehicles - Safety - Part 1: Calculation of Securing Forces. Brussels: CEN.
6. Gillespie, T. D. (1992). *Fundamentals of Vehicle Dynamics*. Warrendale, PA: SAE International.
7. Goldhofer AG. (2026). *THP/SL Heavy-Duty Modules: Technical Features*. Memmingen: Goldhofer AG. (<https://www.goldhofer.com/en/heavyduty-modules/towed-thp-sl>). (Diakses 21 Mei 2026)
8. International Maritime Organization (IMO). (2021). *Code of Safe Practice for Cargo Stowage and Securing (CSS Code), 2021 Edition*. London: IMO. (<https://www.imo.org/en/ourwork/safety/pages/css-code.aspx>). (Diakses 23 Mei 2026)
9. International Organization for Standardization (ISO). (2018a). *ISO 31000:2018 Risk Management - Guidelines*. Geneva: ISO. (<https://www.iso.org/standard/65694.html>). (Diakses 25 Mei 2026)
10. International Organization for Standardization (ISO). (2018b). *ISO 45001:2018 Occupational Health and Safety Management Systems - Requirements with Guidance for Use, termasuk Amendment 1:2024*. Geneva: ISO. (<https://www.iso.org/standard/63787.html>). (Diakses 27 Mei 2026)
11. International Road Transport Union (IRU). (2014). *International Guidelines on Safe Load Securing for Road Transport*. Geneva: IRU. (<https://www.iru.org/resources/iru-library/international-guidelines-safe-load-securing-road-transport>). (Diakses 29 Mei 2026)
12. Kargar, V., Jahangiri, M., Alimohammadlou, M., Kamalinia, M., dan Mirazahossieninejad, M. (2022). Risk assessment of mobile crane overturning in asymmetric tandem lifting operation based on fuzzy fault tree analysis. *Results in Engineering*, 16, 100755.

13. Kementerian Perhubungan Republik Indonesia. (2019). *Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM 60 Tahun 2019 tentang Penyelenggaraan Angkutan Barang dengan Kendaraan Bermotor di Jalan*. Jakarta: Kementerian Perhubungan.
14. Kementerian Perhubungan Republik Indonesia. (2021). *Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM 18 Tahun 2021 tentang Pengawasan Muatan Angkutan Barang dan Penyelenggaraan Penimbangan Kendaraan Bermotor di Jalan*. Jakarta: Kementerian Perhubungan.
15. PT Xtra Heavy Logistik. (2022). *Survey Report EPCC Sumbawa: Air Separation Facility and LNG Regas Project*. Jakarta: PT Xtra Heavy Logistik, 14 Desember 2022. Dokumen proyek tidak dipublikasikan.
16. PT Xtra Heavy Logistik. (2023). *XHL-101-JGC Method Statement: ASF & LNG Regas, JGC-Amman Mineral, Revision 0, Issued for Approval*. Jakarta: PT Xtra Heavy Logistik, 17 Februari 2023. Dokumen proyek tidak dipublikasikan.
17. Sadeghi, S., Soltanmohammadlou, N., dan Rahnamayiezekavat, P. (2021). A systematic review of scholarly works addressing crane safety requirements. *Safety Science*, 133, 105002.
18. Stogdill, M. A., Al-Dossary, M. K., dan Al-Khalifah, N. H. (2022). Deployment of Self-Propelled Modular Transporter for Vessel Installation. *Open Journal of Civil Engineering*, 12, 554-558. <https://doi.org/10.4236/ojce.2022.124030>.
19. Wong, J. Y. (2008). *Theory of Ground Vehicles (4th ed.)*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
20. Yu, X., Wang, H., dan Jing, H. (2022). Support position optimization with safety factor in the demolition and rebuilding of a bridge using the SPMT method: *A case study*. *Advances in Structural Engineering*, 25(8), 1701-1713. <https://doi.org/10.1177/13694332211053692>.