TUGAS AKHIR – MN 184802

ANALISIS TEKNIS REKA ULANG KAPAL PUNJULHARJO

Radityo Wisnu Wibowo
NRP 04111440000023

Dosen Pembimbing
Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.
Ir. Samodra, M.Sc., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020

TUGAS AKHIR – MN 184802

ANALISIS TEKNIS REKA ULANG KAPAL PUNJULHARJO

Radityo Wisnu Wibowo
NRP 04111440000023

Dosen Pembimbing
Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.
Ir. Samodra, M.Sc., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020

FINAL PROJECT – MN 184802

TECHNICAL ANALYSIS OF PUNJULHARJO SHIP RECONSTRUCTION

Radityo Wisnu Wibowo
NRP 04111440000023

Supervisor
Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.
Ir. Samodra, M.Sc., Ph.D.

DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2020

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS TEKNIS REKA ULANG KAPAL PUNJULHARJO

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

RADITYO WISNU WIBOWO
NRP 04114440000023

Disetujui oleh:

Dosen Pembimbing II	Dosen Pembimbing I
Ir. Samodra, M.Sc., Ph.D.	Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D. NIP 19640210 198903 1 001

Mengetahui,
Kepala Departemen Teknik Perkapalan

Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.
NIP 19640210 198903 1 001

SURABAYA, 6 AGUSTUS 2020

LEMBAR REVISI

ANALISIS TEKNIS REKA ULANG KAPAL PUNJULHARJO

TUGAS AKHIR
Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir
Tanggal

Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

RADITYO WISNU WIBOWO
NRP 04111440000023

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

1. Sri Rejeki Wahyu Pribadi, S.T., M.T. ……..……..……..
2. Hasanudin, S.T., M.T. ……..……..
3. Danu Utama, S.T., M.T. ……..……..

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D. ……..……..……..
2. Ir. Samodra, M.Sc., Ph.D. ……..……..……..

SURABAYA, 6 AGUSTUS 2020

Dipersembahkan kepada kedua orang tua atas segala dukungan dan doanya

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas karunianya Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.

Pada kesempatan ini Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu penyelesaian Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Bapak Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D. dan Bapak Ir. Samodra, M.Sc., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing atas bimbingan dan motivasinya selama pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini;
2. Ibu Sri Rejeki Wahyu Pribadi, S.T., M.T.,Bapak Hasanudin, S.T., M.T.,Bapak Danu Utama, S.T., M.T., dan Ibu Febriani Rohma Dhana, S.T., M.T. selaku dosen penguji atas masukan-masukannya yang berguna dalam pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini;
3. Pengelola Situs Perahu Kuno Punjulharjo yang telah mengijinkan pengambilan data yang berguna dalam pengerjaan tugas akhir ini.
4. Pimpinan dan para arkeolog di Balai Arkeologi Yogjakarta yang telah membantu memberikan akses terhadap data arkeologi dan foto-foto ekskavasi.
5. Rekan-rekan P-54 Deadrise atas dukungan dan motivasinya selama masa pengerjaan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, sehingga kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan. Akhir kata semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak.

Surabaya, 6 Agustus 2020

Radityo Wisnu Wibowo

ANALISIS TEKNIS REKA ULANG KAPAL PUNJULHARJO

Nama Mahasiswa	:	Radityo Wisnu Wibowo
NRP	:	04111440000023
Departemen / Fakultas	:	Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing	:	1. Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.
		2. Ir. Samodra, M.Sc., Ph.D.

ABSTRAK

Sebuah kapal kuno ditemukan di Desa Punjulharjo, Rembang, Jawa Tengah pada tahun 2008. Diperkirakan kapal tersebut berasal dari abad ke-7 masehi. Bagian yang ditemukan utuh dari kapal adalah bagian lambung bawah dan balok dudukan kemudi. Bentuk utuh kapal belum dapat diketahui. Oleh karena itu diperlukan reka ulang dari Kapal Punjulharjo. Pada studi ini dilakukan reka ulang Kapal Punjulahrjo dan analisis teknis dari kapal untuk mengetahui kualitas kapal tersebut. Reka ulang dilakukan dengan cara menentukan ukuran utama kapal, bentuk lambung kapal, bangunan atas, layar, dan kemudi. Kemudian dilakukan analisis teknis yang meliputi hidrostatik, hambatan, dan stabilitas kapal.Berdasarkan hasil reka ulang, kapal memiliki panjang LOA = 17,74 meter, Lebar 4 meter, dan tinggi 1,8 meter. Kapal menggunakan layar tanja sebagai propulsi dan kemudi yang digunakan jenis kemudi samping. Reka ulang kapal memiliki berat kosong 10,31 ton. Berat kargo yang diangkut kapal seberat 34,92 ton. Kapal memiliki kecepatan 6 knot pada angin buritan 12 knot.

Kata kunci:

Kapal kuno; Punjulharjo; Rekonstruksi

TECHNICAL ANALYSIS OF PUNJULHARJO BOAT RECONSTRUCTION

Author : Radityo Wisnu Wibowo
Student Number : 04111440000023
Department / Faculty : Naval Architecture / Marine Technology
Supervisor : 1. Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.
2. Ir. Samodra, M.Sc., Ph.D.

ABSTRACT

An ancient ship was discovered in the village of Punjulharjo, Rembang, Central Java in 2008. It is estimated that the ship originated in the 7th century AD. The discovery is very important as it is the oldest wooden boat to be found in a relatively intact conditions in Indonesia. Parts found intact from the ship are the lower hull and the steering beams. The full shape of the boat is yet to be determined. Therefore a re-creation of the Punjulharjo Ship is needed. In this study a re-engineering of the Punjulahrjo vessel and technical analysis of the boat was carried out to determine the performance of the boat. Reconstruction is done by the way of determining main dimension, hul form, superstructure, rigging, and rudder. Based on the results of the reconstructions, the boat has length of 15 meters LOA, a width of 4 meters, and a height of 1.8 meters. The ship uses tanja sails as a main propulsion and using quarter rudder. The re-engineering of the ship has an light weight of 10.31 tons. The boat is able to carry a payload of 34.92 tons. The ship can attain speed of 6 knots in 12knots downwind.

Keywords:

Ancient boat; Punjulharjo; Reconstruction

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN v
LEMBAR REVISI vii
HALAMAN PERUNTUKAN ix
KATA PENGANTAR xi
ABSTRAK xiii
ABSTRACT xv
DAFTAR ISI xvii
DAFTAR GAMBAR xix
DAFTAR TABEL xxi
DAFTAR SIMBOL xxiii
BAB 1 PENDAHULUAN 1
1.1. Latar Belakang Masalah 1
1.2. Perumusan Masalah 2
1.3. Tujuan 2
1.4. Batasan Masalah 3
1.5. Manfaat 3
1.6. Hipotesis 3
BAB 2 STUDI LITERATUR 5
2.1. Umum 5
2.2. Dasar Teori 7
2.2.1. Hambatan Kapal 7
2.2.2. Karakteristik Hidrostatik 9
2.2.3. Stabilitas Kapal 15
2.2.4. Propulsi Layar 18
2.3. Tinjauan Pustaka 19
2.3.1. Konstruksi Kapal *Lashed-lug* 19
2.3.2. Metode Rekonstruksi Kapal Borobudur 20
2.3.3. Rekonstruksi Virtual Kapal Karam Nanhan/Cirebon 22
2.3.4. Kapal Punjulharjo 23
2.3.5. Jenis Layar 26
BAB 3 METODOLOGI 35
3.1. Bagan Alir 35
3.1. Proses Pengerjaan 36
3.1.1. Pengumpulan Data 36
3.1.2. Studi Literatur 37
3.1.3. Estimasi Ukuran Utama Kapal 37
3.1.4. Reka Ulang Bentuk Kapal 37
3.1.5. Reka Ulang Bentuk Layar, Bangunan Atas, dan Kemudi 38
3.1.6. Perhitungan Berat Kapal 38
3.1.7. Estimasi Sarat Kapal 38
3.1.8. Perhitungan Hidrostatik 38
3.1.9. Perhitungan Hambatan Kapal 38

3.1.10. Perhitungan Stabilitas Kapal 39
3.1.11. Pembuatan Lines Plan, General Arrangement, dan 3D Model Kapal Keseluruhan 39
3.1.12. Kesimpulan dan Saran....39
BAB 4 REKA ULANG KAPAL 41
4.1. Estimasi Ukuran Utama Kapal....41
4.2. Reka Ulang Lambung Kapal....41
4.2.1. Penggambaran Ulang Lambung Kapal 42
4.3. Pembuatan 3D Model Lambung Kapal....45
4.3.1. Penyesuaian 3D Model Lambung dengan Estimasi Lebar dan Tinggi Kapal...46
4.3.2. Fairing 3D Model Lambung Kapal 47
4.4. Reka Ulang Bangunan Atas 47
4.5. Penentuan Jumlah Awak Kapal 48
4.6. Rekonstruksi Jenis Layar 48
4.7. Rekonstruksi Jenis Kemudi....49
BAB 5 ANALISIS TEKNIS 51
5.1. Perhitungan Berat Kapal 51
5.1.1. Perhitungan Berat Kosong 51
5.1.2. Perhitungan Berat Mati 52
5.2. Perhitungan Hidrostatik 53
5.3. Perhitungan Hambatan....55
5.4. Perhitungan Gaya Dorong Layar 55
5.5. Perhitungan Stabilitas 56
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN 59
6.1. Kesimpulan 59
6.2. Saran....59
DAFTAR PUSTAKA 61
LAMPIRAN
LAMPIRAN A Penggambaran Kapal oleh Balai Arkeologi Yogyakarta
LAMPIRAN B Pengukuran Jarak Gading dan Lunas
LAMPIRAN C Pengukuran Gading
LAMPIRAN D Perhitungan Berat
LAMPIRAN E Perhitungan Hidrostatik
LAMPIRAN F Perhitungan Stabilitas
LAMPIRAN G Gambar Rencana Garis
LAMPIRAN H Gambar Rencana Umum
LAMPIRAN I Gambar 3D Kapal
BIODATA PENULIS

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Selat Muria pada abad ke-8 Masehi dan abad ke-16 Masehi(Husein, 2016). 6
Gambar 2.2 Komponen dasar dari hambatan kapal. (Molland et al., 2017).....7
Gambar 2.3 Kurva hidrostatik dengan sumbu vertikal sebagai sarat dan sumbu horisontal sebagai besaran-besaran karakteristik hidrostatik(Biran, 2013).....10
Gambar 2.4 Stabilitas kapal berdasarkan konsep metasenter. (a) merupakan kondisi awal kapal. (b) Kapal berada dalam kondisi stabil. (c) Kapal dalam kondisi labil(Biran, 2013). 15
Gambar 2.5 Lengan penegak GZ(Biran, 2013). 17
Gambar 2.6 Kurva stabilitas statis(Biran, 2013). 18
Gambar 2.7 Arah gaya yang bekerja pada kapal layar(Marchaj, 1982). 19
Gambar 2.8 Perahu yang dibangun dengan teknik *lashed-lug (Horridge, 1982)*.....20
Gambar 2.9 Relief kapal pada Candi Borobudur 21
Gambar 2.10 Sketsa kapal dalam relief Candi Borobudur oleh van Erp(Burningham, 2005). 22
Gambar 2.11 Kondisi kapal saat ditemukan dan mulai diangkat 23
Gambar 2.12 Detil Sistem konstruksi kapal Lashed-Lug pada Kapal Punjulharjo 24
Gambar 2.13 Gading-gading dan tambuku pada Kapal Punjulharjo.....24
Gambar 2.14 Lokasi Kapal Punjulharjo – Museum Perahu – in situ 25
Gambar 2.15 Detil ikatan pada floor Kapal (dasar gading) dan tambuku 25
Gambar 2.16 Perahu setelah ekskavasi dan preservasi – in situ.....26
Gambar 2.17 Pengukuran Kapal oleh team dari Dept. Teknik Perkapalan FTK. ITS 26
Gambar 2.18. Bagian-bagian dari *square rigging* (Wikimedia Commons) 27
Gambar 2.19 Perahu layar fifie dengan layar *standing lug* dan *dipping lug* (Wikimedia Commons) 28
Gambar 2.20 Kapal *Caravel* Boa Esperanca dengan layar *lateen* (Wikimedia Commons).....29
Gambar 2.21 Bagian-bagian pada spritsail (Wikimedia Commons).....29
Gambar 2.22 Bagian pada layar gaff (Wikimedia Commons). 30
Gambar 2.23 Jenis layar *gunter rig* (Wikimedia Commons) 31
Gambar 2.24 Perahu *dinghy* dengan layar *bermuda* (Wikimedia Commons).....31
Gambar 2.25 Layar *crab claw* pada perahu jukung Madura (Horridge, 2015). 32
Gambar 2.26 Layar tanja pada perahu Bondet (Wangania, 1981). 33
Gambar 3.1 Bagan Alir Pengerjaan Tugas Akhir.....36
Gambar 4.2. Pengukuran pada bagian dalam lambung kapal. Jarak M merupakan jarak titik pada lunas yang diukur dari titik acuan ke titik P pada papan dan titik K pada lunas. Untuk menentukan letak titik P dan K, diukur sudut dari garis yang dibentuk antara jarak M dengan garis horisontal. 42
Gambar 4.3 Perahu setelah ekskavasi dan preservasi – in situ.....43
Gambar 4.4. Pembuatan gambar gading nomor 9 sisi utara. 44
Gambar 4.5. *Body plan* kapal sisi utara dan sisi selatan dilihat dari arah timur. 45
Gambar 4.6 Layout penempatan awak kapal di rumah geladak. 48
Gambar 4.7 Rekonstruksi layar dan tiang layar pada kapal Punjulharjo.....49
Gambar 4.8 Rekonstruksi jenis kemudi pada kapal Punjulharjo.....49
Gambar 5.1. Kurva Hidrostatik Kapal Punjulharjo 53
Gambar 5.2. Kurva koefisien bentuk kapal. 54
Gambar 5.3. Grafik hambatan Kapal Punjulharjo. 55

Gambar 5.4. Kurva GZ untuk kapal dalam keadaan kosong. 56
Gambar 5.5 Kurva GZ untuk kapal dengan muatan setengah penuh. 57
Gambar 5.6. Kurva GZ untuk kapal dalam kondisi muatan penuh. 58
Gambar 5.7 Sisi kapal yang terendam pada sudut 14^0..... 58

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Rata-rata proporsi ukuran utama perahu Jawa (Gunawan and Shibata, 1986).....41
Tabel 4.2 Pengukuran lambung pada gading 9 sisi utara 43
Tabel 5.1 Perhitungan berat kulit lambung kapal.....51
Tabel 5.2 Perhitungan berat gading 1 hingga gading 5 52
Tabel 5.3 Perhitungan DWT.....53
Tabel 5.4 Pengisian Loadcase kapal kosong 56
Tabel 5.5 Loadcase pada kapal dengan muatan setengah penuh.....57
Tabel 5.6 Pengisian Loadcase untuk kapal muatan penuh 57

DAFTAR SIMBOL

A = Luas station (m^2)
B = Lebar kapal (m)
C_B = Koefisien blok
C_M = Koefisien midship
C_P = Koefisien prismatik
C_{WP} = Koefisien bidang air
DWT = Berat muatan kapal dan *provision* (ton)
Fs = Gaya (N)
GM = Jarak titik berat ke metasenter (m)
GZ = Panjang momen penegak (m)
H = Tinggi kapal (m)
KB = Tinggi titik gaya apung dari lunas (m)
KM = Tinggi titik metasenter (m)
KG = Tinggi titik berat kapal dari lunas (m)
LBM = Panjang jari-jari metasenter memanjang (m)
LCB = Letak titik gaya apung secara memanjang (m)
LCF = Letak titik *floatation* secara memanjang (m)
LKM = Tinggi titik metasenter memanjang (m)
LOA = Panjang keseluruhan kapal (m)
LWT = Berat kosong kapal (ton)
LWL = Panjang garis air pada sarat (m)
T = Tinggi sarat kapal (m)
TBM = Panjang jari-jari metasenter melintang (m)
TKM = Tinggi titik metasenter melintang (m)
TPC = Perubahan displasemen apabila terjadi perubahan sarat 1cm (ton)
R_{total} = Hambatan kapal (N)
R_{APP} = Hambatan *appendages* (N)
R_F = Hambatan friksional (N)
R_W = Hambatan gelombang (N)
∇ = Volume displasemen (m^3)
Δ = Displasemen (ton)
WPA = Luas bidang air pada sarat (m^2)
WSA = Luas permukaan basah (m^2)

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Indonesia memiliki letak geografis di antara Samudera Hindia dan Samudera Pasifik. Dengan letak geografis tersebut, Indonesia menjadi bagian dari jalur perdagangan trans-Asia yang menghubungkan wilayah Asia Timur, Asia Tenggara, Asia Selatan, Timur Tengah, Afrika, dan Laut Mediterania. Potensi ini dimanfaatkan oleh kerajaan-kerajaan maritim di Indonesia seperti Sriwijaya dan Majapahit *(Manguin, 1993).* Salah satu bukti adanya kekuatan maritim di Indodesia pada masa lalu adalah adanya relief kapal pada Candi Borobudur. Relief candi menunjukkan adanya kapal dengan layar ganda yang dilengkapi cadik. Pada tahun 2003, dilakukan rekonstruksi dari kapal pada relief Candi Borobudur. Hasil rekonstruksi kapal tersebut berukuran panjang lambung 19 meter, lebar 4,25 meter, tinggi 2,25 meter, dan sarat 1,5 meter. Kapal memiliki sistem propulsi berupa dua layar jenis *tanjak (Beale, 2006)* .

Kapal pada relief Candi Borobudur memiliki kesamaan dengan kapal *kora-kora* asal Maluku. Jenis kapal yang masih dipakai sampai abad ke-19. Persamaan kapal tersebut antara lain, memiliki perlindungan pertahanan di haluan dan buritan dan memiliki galeri di bagian samping lambung untuk pendayung *(Liebner, 2016).* Kapal *kora-kora* dibangun dengan menggunakan teknik *lashed-lug.* Teknik *lashed-lug* merupakan teknik pembuatan perahu dengan cara mengikat papan pada gading-gading *(Horridge, 1982).*

Pada tahun 2008, ditemukan sisa-sisa kapal yang dbangun dengan teknik *lashed*-lug di Desa Punjulharjo, Rembang, Jawa Tengah. Penemuan kapal Punjulharjo merupakan penemuan yang penting karena kapal ini merupakan kapal tertua di Asia Tenggara dan kapal tertua kedua di Samudera Hindia yang mayoritas bagian lambungnya ditemukan dalam keadaan utuh. Bagian kapal dari haluan ke buritan dalam kondisi utuh, meskipun beberapa lajur papan yang membentuk bagian sisi lambung termasuk *sheer strake* hilang. Sisa-sisa dari gading-gading, senta dan pengikatannya masih dapat ditemukan. Kapal diperkirakan berasal dari abad ke-7 masehi dari hasil penanggalan radiokarbon *(Mochtar, 2018).*

Teknik *lashed-lug* digunakan dalam pembuatan kapal tradisional di daerah Kepulauan Asia Tenggara yang meliputi Indonesia, Malaysia, dan Filipina sebelum era kolonial. Kapal *lashed-lug* tertua ditemukan di Pontian, Malaysia pada tahun 1920-an. Diperkirakan kapal tersebut berasal dari abad ke-3 masehi. Kapal-kapal lainnya ditemukan di berbagai tempat seperti di Sambirejo (Palembang), Paya Pasir (Medan), dan Kolam Pinisi (Palembang) *(Manguin, 1993)* . Temuan yang lebih penting terdapat di Butuan (Filipina), lepas pantai Cirebon, dan Punjulharjo. Lima kapal ditemukan di situs pelabuhan kuno di Butuan. Berdasarkan penanggalan radiokarbon dari tiga kapal di Butuan, kapal-kapal tersebut diperkirakan berasal dari abad ke-12 masehi sampai abad ke-14 masehi *(Manguin, 2016)*. Kapal terbesar yang ditemukan berasal dari lepas pantai Cirebon. Kapal tersebut terletak pada kedalaman 50 meter dari permukaan laut dan diperkirakan memiliki panjang 30 meter *(Liebner, 2014)*.

Pada temuan kapal Punjulharjo, tidak ditemukan sisa-sisa dari sistem propulsi kapal. Dudukan kemudi kapal ditemukan dalam keadaan utuh namun tidak dengan kemudi kapal. Dengan hilangnya beberapa lajur papan dari kapal, bentuk utuh lambung kapal sebenarnya masih belum diketahui. Hilangnya beberapa lajur papan juga menyebabkan adanya perbedaan pendapat tentang ukuran kapal sebenarnya (Mochtar, 2018). Untuk mengetahui bentuk kapal, diperlukan reka ulang dari kapal Punjulharjo yang meliputi reka ulang bentuk kapal, sistem propulsi kapal, sistem kemudi kapal, dan analisa dari performance kapal yang meliputi hidrostatik, stabilitas, dan hambatan kapal.

1.2. Perumusan Masalah

Permasalahan yang menjadi fokus dalam tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana ukuran utama kapal dan reka ulang dari kapal Punjulharjo.
2. Bagaimana karakteristik hidrostatik, stabilitas, dan hambatan kapal Punjulharjo.

1.3. Tujuan

Adapun tujuan yang diharapkan adalah:

1. Menentukan ukuran utama kapal dan menghasilkan reka ulang bentuk lambung kapal Punjulharjo.
2. Mendapatkan karakteristik hidrostatik, stabilitas, dan hambatan kapal Punjulharjo.

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah:

1. Reka ulang kapal hanya meliputi reka ulang lambung, bangunan atas, sistem propulsi, dan kemudi kapal.
2. Analisis teknis hanya meliputi hidrostatik, stabilitas, hambatan dan tidak meliputi aspek kekuatan kapal.

1.5. Manfaat

1. Menjadi referensi untuk penelitian mengenai kapal Punjulharjo dan kapal kuno lainnya yang dibangun dengan teknik *lashed-lug*.
2. Menjadi referensi bagi pemahaman teknologi bahari nenek moyang bangsa Indonesia khususnya teknologi kapal di Nusantara pada masa lalu.

1.6. Hipotesis

Kapal Punjulharjo menggunakan layar tanja dan kemudi kapal menggunakan kemudi samping (*quarter rudder*) dan memiliki kemampuan untuk berlayar ke laut bebas (*ocean going vessel*).

Halaman ini sengaja dikosongkan

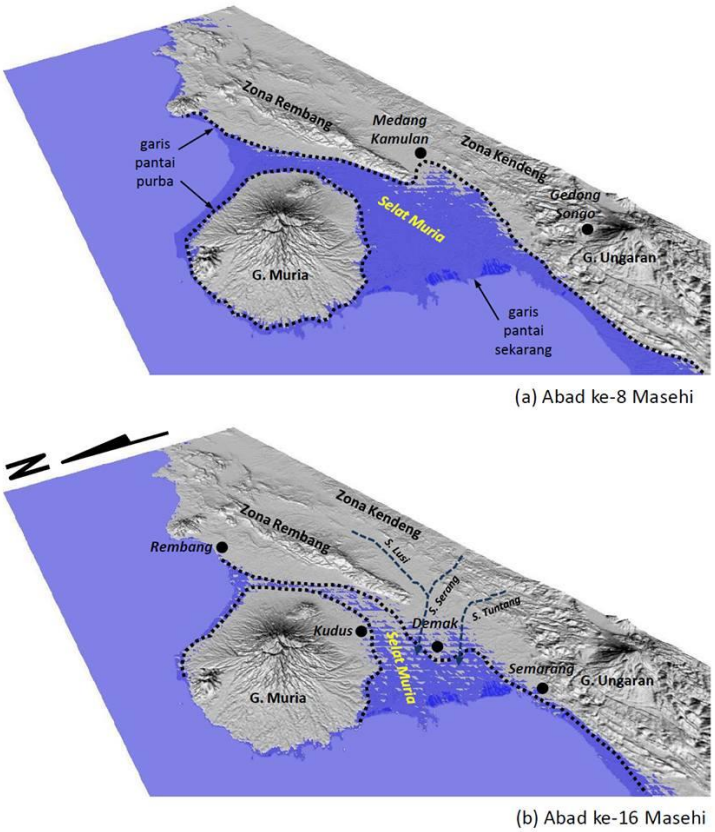
BAB 2
STUDI LITERATUR

2.1. Umum

Awal milenium pertama masehi ditandai dengan adanya kerajaan-kerajaan maritim di Kepulauan Nusantara. Sekitar abad ke-7 hingga abad ke-8 masehi, Kerajaan Sriwijaya menguasai jalur dagang di Selat Malaka yang menjadi bagian dari jalur sutra laut dari Tiongkok hingga India. Kerajaan Sriwijaya berpusat di Pulau Sumatra di daerah yang saat ini menjadi Palembang. Wilayah kerajaan Sriwijaya meliputi Pulau Sumatera, Pulau Jawa, Tumasek, hingga Semenanjung Malaka(Sungkowo and Wirasanti, 2019).

Pulau Jawa di abad ke-8 Masehi dikuasai oleh Kerajaan Mataram Kuno yang masih satu dinasti dengan Kerajaan Sriwijaya yaitu Wangsa Syailendra. Kerajaan Mataram Kuno berpusat di Medang berdasarkan inskripsi *medang i bhumi mataram, medang ri poh pitu, medang ri mamrati, medang i tamwlang, medang i watu galuh*. Berdasarkan inskripsi tersebut, pusat Kerajaan Mataram berpindah lebih dari sekali ke arah timur. Arkeolog berpendapat ibukota kerajaan dipindah ke Medang Kamulan, yang saat ini menjadi Grobogan. Namun klaim ini dibantah karena tidak adanya pembangunan candi di Medang Kamulan. Walaupun belum ada bukti yang mendukung Medang Kamulan sebagai pusat Kerajaan Mataram, terdapat bukti yang menunjukkan bahwa Medang Kamulan merupakan bagian dari jalur dagang di pesisir utara Pulau Jawa(Sungkowo dan Wirasanti, 2019).

Pantai Utara Jawa pada abad ke-8 memiliki bentuk yang berbeda dengan bentuk saat ini. Jepara pada masa itu terpisah dengan Pulau Jawa dengan Selat Muria di antaranya. Selat Muria memiliki dua jalur masuk yaitu Demak dan Juwana, keduanya menjadi pelabuhan penting pada abad ke-15. Medang Kamulan terletak di bagian Jawa dari selat. Keterlibatan Medang Kamulan dalam perdagangan internasional masa itu dibuktikan dengan ditemukannya pecahan keramik, dan koin Tiongkok. Selat Muria cukup besar untuk dilalui kapal dagang masa itu ditunjukkan dengan ditemukannya puing-puing kapal dari abad ke-7 di Desa Punjulharjo, Rembang(Sungkowo dan Wirasanti, 2019).



Gambar 2.1 Selat Muria pada abad ke-8 Masehi dan abad ke-16 Masehi(Husein, 2016).

Dalam kegiatan perdagangan internasional masa itu, kerajaan-kerajaan Nusantara bukan hanya berperan sebagai pelabuhan singgah bagi kapal-kapal asing. Kapal-kapal dari Nusantara juga mengunjungi pelabuhan-pelabuhan asing. Salah satu negeri yang dikunjungi adalah Tiongkok. Oleh penulis Tiongkok kapal tersebut ditulis sebagai *kunlun bo*. Sumber paling awal berasal dari abad ke-3 Masehi mendeskripsikan susunan layar dari *kunlun bo*. Menurut catatan tersebut, *kunlun bo* tergantung ukurannya memasang layar yang kadang-kadang sebanyak empat layar. Layar kapal dipasang tidak menghadap depan, namun dipasang miring dan ditata hingga semua menghadap arah yang sama. Sumber lain berasal dari abad ke-8 Masehi ditulis oleh biksu Tiongkok. Sumber tersebut mencatat papan-papan pada *kunlun bo* diikat dengan tali yang terbuat dari serat-serat kulit pohon kelapa dan tidak menggunakan penguat dari besi(Manguin, 1993).

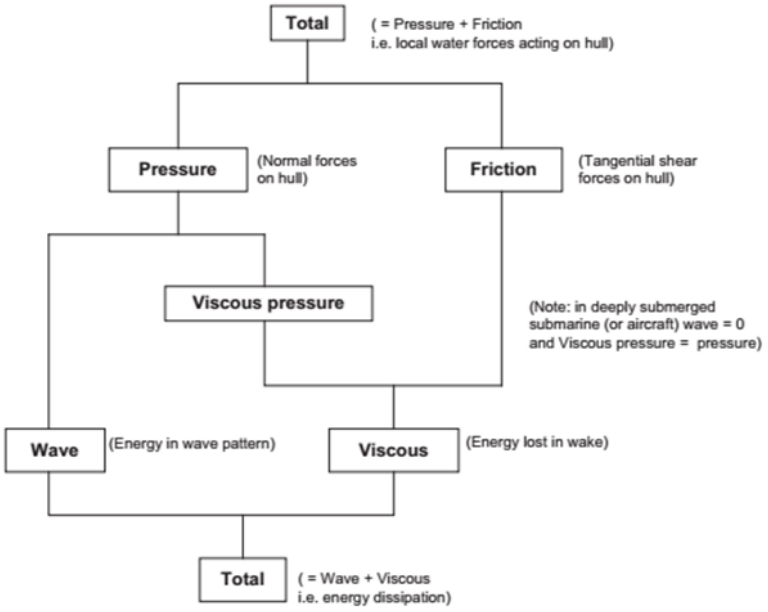
Gambaran lain dari kapal Nusantara pada abad ke-7 hingga ke-8 berasal dari relief pada Candi Borobudur. Terdapat lima relief yang menggambarkan bagian-bagian kapal secara detail. Perbandingan dengan perahu-perahu saat ini menunjukkan bagian-bagian kapal seperti tali-temali dan bagian lambung digambar secara detail dan akurat. Meskipun, relief kapal memiliki bagian-bagian yang akurat namun tidak dengan

penggambaran ukuran kapal. Pada relief, ukuran orang dibuat lebih besar dari ukuran normal untuk mendramatisir adegan pada relief. Beberapa estimasi ukuran kapal sudah dilakukan dengan memperkirakan ukuran dari masing-masing kotak pendayung yang terdapat di bagian luar kapal. Estimasi oleh Heide menghasilkan ukuran kapal kurang dari 15 meter dan estimasi van Erp menunjukkan ukuran kapal sepanjang 25-30 meter (Liebner, 2016).

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Hambatan Kapal

Hambatan kapal terdiri dari hambatan gesek, hambatan viskous dan hambatan gelombang. Hambatan gesek merupakan gaya geser tangensial yang bekerja pada tiap elemen permukaan lambung. Hambatan gesek dibagi menjadi gesekan plat 2 dimensi dan efek 3 dimensi. Hambatan viskous merupakan hambatan yang diakibatkan oleh tekanan pada lambung(Molland et al., 2017). Hambatan gelombang merupakan hambatan yang timbul akibat terbentuknya gelombang karena medan tekanan (pressure field) yang bergerak(Rawson dan Tupper, 2001).



Gambar 2.2 Komponen dasar dari hambatan kapal. (Molland et al., 2017).

Hambatan kapal dapat diprediksi dengan metode statistik. Metode prediksi hambatan kapal yang sering digunakan adalah metode Holtrop-Mennen. Hambatan total kapal dibagi ke dalam beberapa komponen:

$$R_{total} = R_F(1 + k_1) + R_{APP} + R_W + R_B + R_{TR} + R_A \quad (2.1)$$

Dimana:

R_F hambatan gesek menurut rumus ITTC 1957

$1+k_1$ *form factor* yang mendeskripsikan hambatan viskous dari bentuk lambung yang berhubungan dengan R_F.

R_{APP} hambatan *appendages*

R_W hambatan *wave making* dan *wave breaking*

R_B tambahan hambatan tekan dari *bulbous bow* dekat permukaan air

R_{TR} tambahan hambatan tekan dari buritan *transom* yang tercelup

R_A hambatan korelasi dengan model kapal

Form factor lambung dirumuskan sebagai:

$$1 + k_1 = c_{13}\{0.93 + c_{12}(B/L_R)^{0.92497}(0.95 - C_P)^{-0.521448}(1 - C_P + 0.0225\,LCB)^{0.6906}\} \quad (2.2)$$

Pada persamaan $1 + k_1 = c_{13}\{0.93 + c_{12}(B/L_R)^{0.92497}(0.95 - C_P)^{-0.521448}(1 - C_P + 0.0225\,LCB)^{0.6906}\}$ (2.2, L_R merupakan parameter *length of the run* yang dirumuskan sebagai:

$$L_R/L = 1 - C_P + 0.06C_P lcb/(4C_P - 1) \quad (2.3)$$

Koefisien C_{12} didefinisikan sebagai :

$C_{12} = (T/L)^{0.222846}$ ketika T/L>0.05 (2.4)

$C_{12} = 48.20(T/L - 0.02)^{2.078} + 0.479948$ ketika 0.02<T/L<0.05 (2.5)

$C_{12} = 0.479948$ ketika T/L<0.02 (2.6)

Koefisien C_{13} merujuk pada bentuk buritan kapal dan berhubungan dengan koefisien C_{stern} menurut:

$$C_{13} = 1 + 0.003C_{stern} \quad (2.7)$$

Koefisien C_{stern} ditentukan oleh bentuk buritan kapal:

Bentuk gading V C_{stern} = -10

Bentuk gading normal C_{stern} = 0

Bentuk gading U dengan buritan Hogner C_{stern} = +10

Luas permukaan basah pada lambung dapat diperkirakan dengan:

$$S = L(2T + B)\sqrt{C_M}(0.453 + 0.4425C_B - 0.2862C_M - 0.003467\,B/T + 0.3696C_{WP}) + 2.38A_{BT}/C_B \quad (2.8)$$

Hambatan *appendage* dapat ditentukan melalui:

$$R_{APP} = 0.5\rho V^2 S_{APP}(1 + k_2)_{eq} C_F \quad (2.9)$$

Dimana ρ merupakan massa jenis air, V kecepatan kapal, S_{APP} luas permukaan basah dari *appendages*, $1+k_2$ faktor hambatan *appendages*, dan C_F koefisien hambatan gesek menurut ITTC 1957.

Hambatan gelombang ditentukan melalui:

$$R_W = c_1 c_2 c_5 \nabla \rho g \exp\{m_1 F_n^d + m_2 cos(\lambda F_n^{-2})\} \quad (2.10)$$

Dimana:

$$c_1 = 2223105 c_7^{3.78163} (T/B)^{1.07961} (90 - i_e)^{-1.37565} \quad (2.11)$$

$c_7 = 0.229577(B/L)^{0.33333}$ ketika B/L<0.11 (2.12)

$c_7 = B/L$ ketika 0.11<B/L<0.25 (2.13)

$c_7 = 0.5 - 0.0625L/B$ ketika B/L>0.25 (2.14)

$\lambda = 1.446C_P - 0.03L/B$ ketika L/B<12 (2.15)

$\lambda = 1.446C_P - 0.36$ ketika L/B>12 (2.16)

$$m_1 = 0.0140407\,L/T - 1.75254\nabla^{1/3}/L - 4.79323\,B/L - c_{16} \quad (2.17)$$

$c_{16} = 8.07981C_P - 13.8673C_P^2 + 6.984388C_P^3$ ketika C_P<0.80 (2.18)

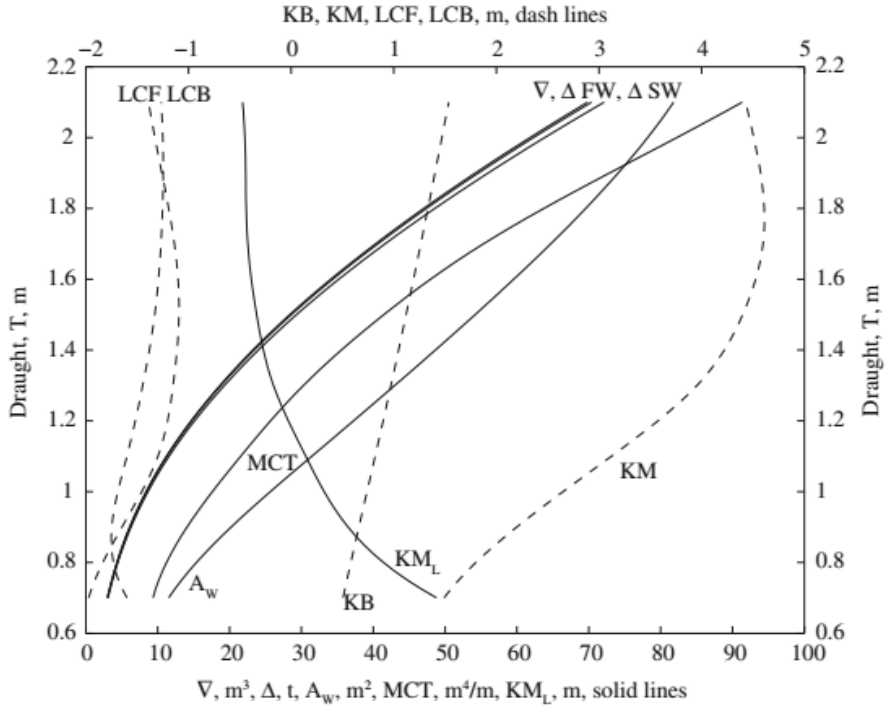
$c_{16} = 1.73014 - 0.7067C_P$ ketika C_P>0.80 (2.19)

$$m_2 = c_{15} C_p^2 exp(-0.1F_n^{-2}) \quad (2.20)$$

2.2.2. Karakteristik Hidrostatik

Data hidrostatik kapal diperoleh dari perhitungan bentuk lambung pada sarat-sarat dengan interval tertentu. Data hdrostatik yang diperoleh pada umumnya direpresentasikan

dalam bentuk kurva hidrostatik yang memungkinkan untuk dilakukan interpolasi pada sarat yang diperlukan. Kurva digambar sebagai fungsi dari sarat T saat kapal *even keel*. Pada kurva hidrostatik, sarat T, digambar sebagai sumbu vertikal dengan nilai positif ke atas. Sumbu horisontal berbagai karakteristik hidrostatik masing-masing dengan skala tersendiri.



Gambar 2.3 Kurva hidrostatik dengan sumbu vertikal sebagai sarat dan sumbu horisontal sebagai besaran-besaran karakteristik hidrostatik(Biran, 2013).

Besaran-besaran yang terdapat pada kurva hidrostatik antara lain :

1. Luas bidang air WPA (*water plane area*)

   Luas bidang air pada sarat yang diberikan dihitung dengan cara integrasi dari setengah lebar *station* y ke arah sumbu x memanjang kapal.

$$WPA = 2 \int_{LWL} y \, dx \qquad (2.21)$$

2. Sub Bab Titik berat bidang air pada sumbu memanjang LCF (*longitudinal centre of floatation*)

   Momen M_x dari luas bidang air dengan sumbu melintang dihitung dengan:

$$Mx = 2 \int_{LWL} x \, y \, dx \qquad (2.22)$$

   Titik LCF didapat dari momen M_x dibagi dengan luas bidang air WPA.

$$LCF = \frac{Mx}{WPA} \quad (2.23)$$

3. Volume displasemen ∇

Volume displasemen ∇ diperoleh dari integrasi luas *station* A ke arah sumbu x. Luas *station* A diperoleh dari integrasi setengah lebar *station* ke arah sumbu z vertikal. Luas *station* A dirumuskan sebagai:

$$A = \int_{Keel}^{T} y\, dz \quad (2.24)$$

Setelah luas tiap *station* didapat, dilakukan integrasi luas *station* untuk memperoleh volume displasemen ∇. Volume displasemen ∇ dirumuskan sebagai:

$$\nabla = \int_{LWL} A\, dx \quad (2.25)$$

4. Tinggi titik gaya apung KB

Tinggi titik gaya apung didapat dengan menghitung momen volume displasemen terhadap garis dasar $M_{\nabla x}$. Momen volume displasemen $M_{\nabla x}$ dirumuskan sebagai :

$$M\nabla x = \int_{0}^{WL} z\, WPA\, dz \quad (2.26)$$

Tinggi titik gaya apung KB diperoleh dari pembagian antara momen volume displasemen $M_{\nabla x}$ dengan volume displasemen ∇. Tinggi KB dirumuskan sebagai:

$$KB = \frac{M\nabla x}{\nabla} \quad (2.27)$$

5. Titik gaya apung secara memanjang LCB

Titik gaya apung memanjang LCB diperoleh dengan menghitung momen volume displasemen terhadap bidang tengah panjang $M_{\nabla y}$. Momen bidang tengah panjang diperoleh dengan:

$$M\nabla y = \int_{LWL} x\, A\, dx \quad (2.28)$$

Letak titik gaya apung memanjang LCB dihitung dengan membagi momen volume displasemen $M_{\nabla y}$ dengan volume displasemen ∇. Letak LCB dirumuskan sebagai:

$$LCB = \frac{M_{\nabla y}}{\nabla} \quad (2.29)$$

6. Displasemen air tawar Δ_{FW}

Displasemen air tawar diperoleh dengan mengalikan volume displasemen kapal ∇ dengan massa jenis air tawar.

$$\Delta FW = \nabla \times 1 \text{ ton}/m^3 \quad (2.30)$$

7. Displasemen air laut Δ_{SW}

Displasemen air laut merupakan berat dari volume air laut yang dipindahkan oleh lambung kapal di sarat WL. Dispasemen air laut diperoleh dengan mengalikan volume displasemen dengan massa jenis air laut.

$$\Delta_{SW} = \nabla \times 1.025\ ton/m^3 \quad (2.31)$$

8. TPC (*tonnes per cm immersion*)

Tonnes per centimeter immersion merupakan besar perubahan displasemen apabila terjadi perubahan sarat sebesar 1 cm.

$$TPC = \frac{WPA \times \rho w}{100} \quad (2.32)$$

9. Jari-jari metasenter secara memanjang LBM

Jari-jari metasenter BM merupakan jarak dari titik apung B ke titik metasenter M. Jari-jari BM diperoleh dari pembagian momen inersia I dengan volume displasemen ∇. Untuk menghitung jari-jari metasenter LBM momen inersia yang dihitung merupakan momen inersia terhadap sumbu y. Momen inersia I_y dihitung dengan:

$$I_y = 2 \int_{LWL} x^2\ y\ dx \quad (2.33)$$

Setelah didapatkan besar momen inersia, letak titik LBM dapat dihitung dengan:

$$LBM = \frac{I_y}{\nabla} \quad (2.34)$$

10. Tinggi metasenter secara memanjang LKM

Tinggi metasenter LKM merupakan jarak metasenter untuk kondisi memanjang dari lunas kapal hingga titik metasenter. Karena letak tinggi titik $M_{\nabla x}$ (2.27, dan jari-jari metasenter LBM dari persamaan $LBM = \frac{I_y}{\nabla}$

(2.34, maka tinggi metasenter LKM dapat dirumuskan sebagai:

$$LKM = KB + LBM \quad (2.35)$$

11. Tinggi metasenter secara melintang TKM

Metasenter melintang diperoleh dengan momen inersia bidang air terhadap sumbu x. Momen inersia sumbu x dirumuskan sebagai:

$$I_x = 2\int_{LWL} \frac{1}{3} y^3 dx \quad (2.36)$$

Momen inersia bidang air terhadap sumbu x digunakan untuk menghitung jari-jari metasenter melintang TBM yang dirumuskan sebagai:

$$TBM = \frac{I_x}{\nabla} \quad (2.37)$$

Tinggi metasenter melintang dari lunas didapatkan dengan penjumlahan tinggi titik apung dari lunas KB dengan jari-jari metasenter melintang TBM.

$$TKM = KB + TKM \quad (2.38)$$

12. *Moment to change trim 1 cm* MTC

Moment to change trim 1 cm merupakan besar momen yang dibutuhkan untuk mengubah trim kapal sebesar 1 cm. MTC dirumuskan sebagai:

$$MTC = \frac{\nabla \text{ LBM}}{100\ Lpp} \quad (2.39)$$

13. Luas permukaan basah WSA

Luas permukaan basah WSA merupakan luasan permukaan kulit kapal dari garis sarat ke bawah. Luas permukaan basah diperoleh dari integrasi setengah keliling *station* (*half girth*) pada sumbu x.

$$WSA = 2 \int_{LWL} g \, dx \qquad (2.40)$$

14. Koefisien bidang air C_W

Koefisien bidang air C_W adalah perbandingan antara luas bidang air WPA dengan luas bidang air persegi panjang yang dibentuk oleh panjang kapal dan lebar kapal.

$$C_W = \frac{WPA}{B \; LPP} \qquad (2.41)$$

15. Koefisien *midship* C_M

Koefisien *midship* C_M adalah perbandingan antara luas *station midship* dengan luas persegi panjang yang dibentuk oleh lebar kapal dan sarat kapal.

$$C_M = \frac{A_{ST}}{B \; T} \qquad (2.42)$$

16. Koefisien blok C_B

Koefisien blok C_B adalah perbandingan antara volume displasemen kapal dengan volume balok yang dibentuk oleh panjang kapal, lebar kapal, dan sarat kapal.

$$C_B = \frac{\nabla}{LPP \; B \; T} \qquad (2.43)$$

17. Koefisien prismatik C_P

Koefisien prismatik C_P adalah perbandingan antara volume displasemen kapal dengan volume prisma horisontal yang dibentuk oleh penampang *midship* sepanjang kapal.

$$C_P = \frac{\nabla}{A_{ST} \; LPP} \qquad (2.44)$$

Koefisien prismatik dapat dibentuk secara vertikal dengan perbandingan antara volume displasemen kapal dengan volume prisma vertikal yang dibentuk oleh luas bidang air pada sarat setinggi sarat kapal.

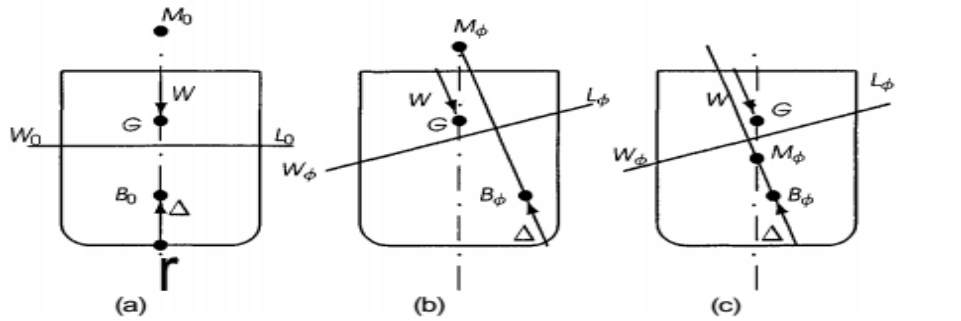
$$C_{PV} = \frac{\nabla}{WPA\,T} \qquad (2.45)$$

2.2.3. Stabilitas Kapal

Suatu benda dikatakan berada dalam kondisi keseimbangan apabila benda tersebut tidak mengalami akselerasi. Pada benda terapung, terdapat dua gaya yang bekerja yaitu gaya apung dan gaya berat. Benda tersebut berada pada kondisi keseimbangan apabila resultan dari kedua gaya yang bekerja sama dengan nol dan resultan dari momen kedua gaya tersebut sama dengan nol. Pada benda yang terapung bebas, berat benda dan gaya apung benda tersebut berada dalam kondisi seimbang sesuai dengan prinsip Archimedes yaitu berat dari volume air yang dipindahkan oleh benda terapung sama dengan berat benda tersebut.(Rawson and Tupper, 2001).

Kondisi kedua dari keadaan seimbang yaitu resultan dari kedua gaya tersebut ama dengan nol. Kondisi ini terpenuhi ketika titik berat G dan titik gaya apung B berada dalam garis vertikal yang sama. Apabila titik berat G bergeser pada bidang yang sama, resultan dari momen gaya-gaya tersebut tidak lagi sama dengan nol. Momen tersebut mengakibatkan benda tersebut oleng ke arah pergeseran titik berat G. Karena, berat benda tersebut tidak mengalami perubahan, volume benda yang tercelup besarnya tetap. Gerakan oleng benda tersebut mengakibatkan sebagian volume benda di satu sisi naik dari air dan sisi yang lain tercelup. Sehingga titik gaya apung B bergeser ke arah bagian benda yang tercelup. Benda tersebut mencapai kondisi keseimbangan ketika ketika titik gaya apung B yang baru segaris dengan titik G yang baru(Biran, 2013).

Apabila sebuah benda yang seimbang mendapat gangguan kecil dari luar, akan ada tiga kemungkinan yang akan terjadi. Kemungkinan pertama yaitu ketika gaya luar hilang, benda tersebut kembali ke posisinya semula, kondisi tersebut dinamakan stabil. Apabila benda tersebut tidak kembali ke posisi awal tetapi tetap pada posisi setelah mendapat gangguan, kondisi tersebut dinamakan keseimbangan netral. Apabila setelah gaya luar hilang dan benda tersebut tetap bergerak menjauhi posisi awal, kondisi tersebut dinamakan labil.



Gambar 2.4 Stabilitas kapal berdasarkan konsep metasenter. (a) merupakan kondisi awal kapal. (b) Kapal berada dalam kondisi stabil. (c) Kapal dalam kondisi labil(Biran, 2013).

Error! Reference source not found..(a) merupakan penampang melintang kapal dalam kondisi tegak pada titik apung B. Pada penampang tersebut terdapat titik berat G. Garis W_0L_0 merupakan garis air. Gaya berat W bekerja melewati titik berat G. Gaya apung A bekerja melewati titik gaya apung B_0. Besar gaya berat W dan gaya apung A sama dan segaris. Sehingga kapal berada dalam kondisi seimbang. Misalkan kapal dibuat oleng ke kanan dengan sudut ϕ. Diasumsikan bahwa kapal oleng dengan sudut kecil. Sehingga garis air menjadi $W_\phi L_\phi$. Berat kapal tetap dan letak titik berat tidak berubah. Karena volume tercelup di bagian kanan sama dengan volume timbul di bagian kiri, maka terjadi pergeseran titik gaya apung ke posisi B_ϕ. Kedua gaya W dan A vertikal, yaitu tegak lurus terhadap garis air $W_\phi L_\phi$. Kedua gaya tersebut membentuk momen yang mengembalikan kapal ke posisi awal. Sehingga kapal dikatakan stabil pada kondisi tersebut. **Error! Reference source not found.**.(c), menunjukkan kapal yang oleng ke kanan dengan sudut ϕ. Pada kondisi tersebut, momen yang dibentuk oleh gaya W dan A menggerakkan kapal untuk oleng lebih jauh ke kanan. Sehingga kapal dikatakan labil(Biran, 2013).

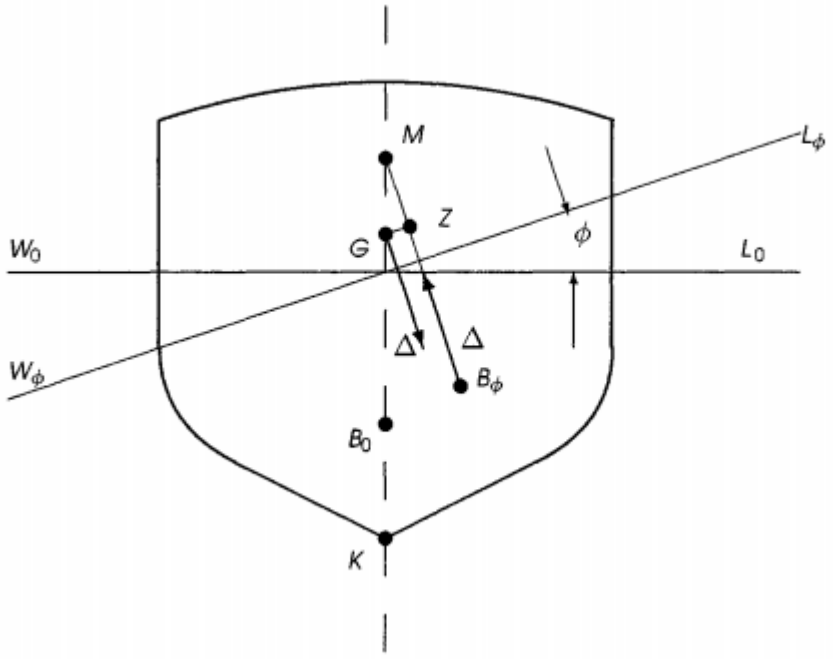
Pada **Error! Reference source not found.**.(b) dan (c) garis strip titik merupakan garis simetri kanan dan kiri yaitu garis *centreline*. Garis tersebut juga merupakan garis bekerjanya gaya apung sebelum kapal oleng. Setelah kapal oleng, garis kerja gaya apung melewati titik gaya apung yang baru B_ϕ dan tegak lurus terhadap garis air $W_\phi L_\phi$. Kedua garis berpotongan pada titik M_ϕ. Titik M_ϕ disebut dengan titik metasenter. Perbedaan dari kedua kondisi oleng tersebut yaitu pada Gambar 2.4.(b) titik metasenter terletak di atas titik G. Pada Gambar 2.4.(c) titik metasenter terletak di bawah titik G. Sehingga dapat dikatakan bahwa pada kondisi stabil, titik metasenter kapal terletak di atas titik G. Sebaliknya apabila titik metasenter terletak di bawah titik G kapal dikatakan tidak stabil.

Apabila diambil titik referensi dari lunas kapal K, tinggi metasenter dirumuskan sebagai:

$$GM = KB + BM - KG \quad (2.46)$$

GM merupakan tinggi metasenter. KB merupakan letak titik gaya apung pada sumbu z. $Ix\nabla$ (2.37). KG merupakan koordinat z dari titik berat. Besar KB dan BM bergantung dari bentuk lambung kapal. Besar KG bergantung dari persebaran berat kapal.

Pada kondisi stabil, gaya berat W dan gaya apung A membentuk momen yang mengembalikan kapal ke posisi tegak. Momen yang dibentuk gaya W dan A disebut juga dengan momen penegak. Apabila dari titik G dibuat garis yang tegak lurus terhadap garis gaya berat W ke arah garis gaya apung A, garis tersebut akan memotong garis gaya apung A di titik Z. Jarak antara titik G dengan titik Z merupakan jarak momen antara gaya berat W dengan gaya apung A. Dengan kata lain garis GZ merupakan lengan penegak.

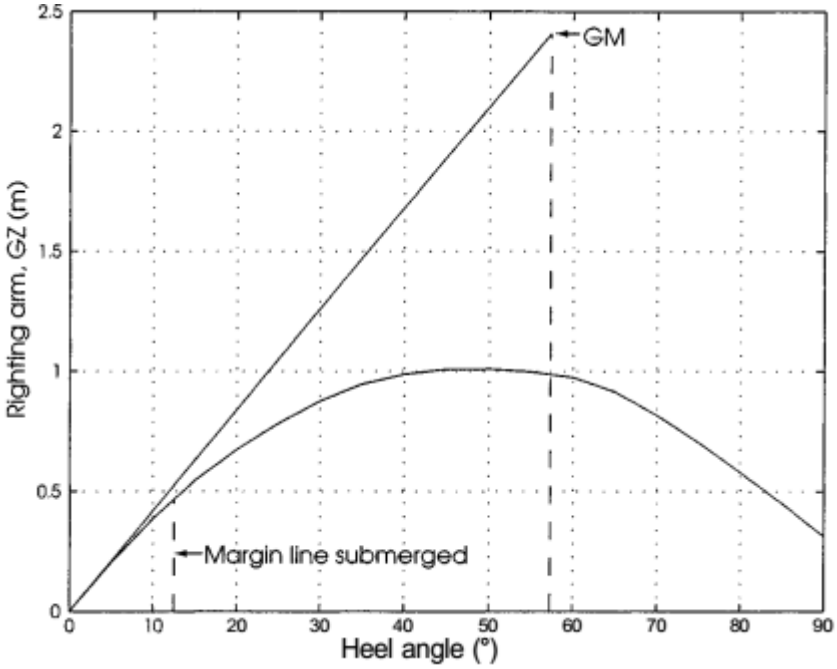


Gambar 2.5 Lengan penegak GZ(Biran, 2013).

Dimana besar lengan penegak GZ dirumuskan sebagai:

$$GZ = GM\ sin\theta \quad (2.47)$$

Besar GZ dapat bervariasi sesuai dengan sudut oleng kapal. Lengan penegak GZ dapat diplot sebagai fungsi dari sudut oleng dan membentuk kurva yang disebut dengan kurva stabilitas statis. Kurva stabilitas statis digunakan untuk mengevaluasi stabilitas kapal pada kondisi pembebanan yang diberikan(Biran, 2013).



Gambar 2.6 Kurva stabilitas statis(Biran, 2013).

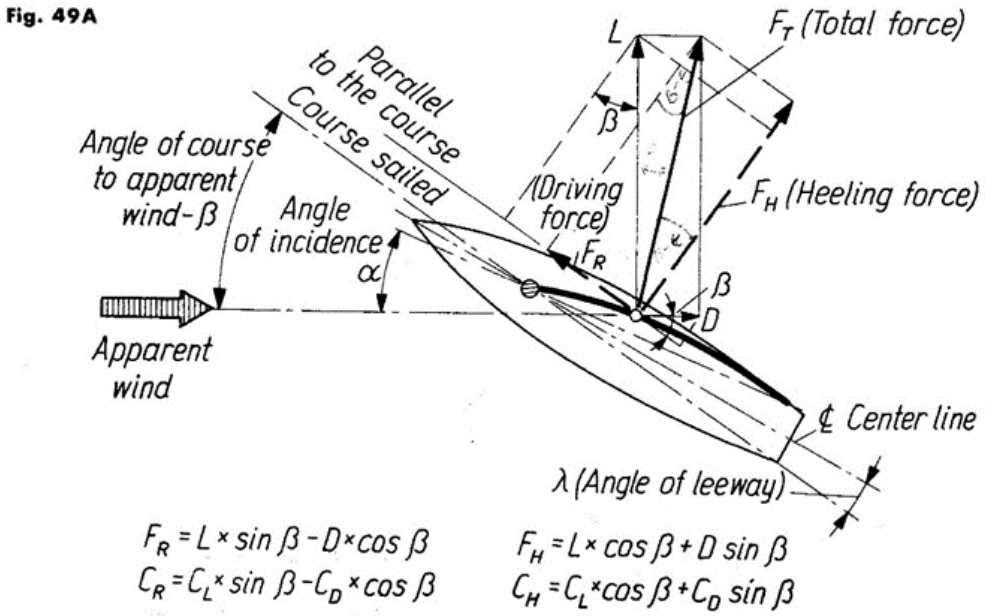
2.2.4. Propulsi Layar

Layar bekerja sebagai aerofoil yang menghasilkan gaya dari aliran udara. Terdapat dua gaya yang bekerja pada layar yaitu Lift L dan Drag D. Gabungan dari kedua vektor gaya F dan D menjadi gaya total aerodinamis FT. Gaya total aerodinamis FT dapat dibagi menjadi dua komponen berdasarkan arah gerak kapal yaitu Driving Force FR dan Heeling Force FH. Driving Force adalah vektor gaya yang bekerja searah dengan arah gerak kapal. Heeling Force merupakan vektor gaya yang bekerja tegak lurus dengan arah gerak kapal.

Untuk membuat kapal bergerak, besar gaya FR diperbesar dan gaya FH diperkecil. Besar gaya FR dan FH dipengaruhi oleh sudut perpotongan arah gerak kapal dengan arah angin β. Karena FR dan FH didapat dari FT, dan FT sendiri merupakan gabungan dari L dan D, maka besar FR dan FH dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$F_R = L \sin \beta - D \cos \beta \quad (2.48)$$

$$FH = L \cos \beta + D \cos \beta \quad (2.49)$$



Gambar 2.7 Arah gaya yang bekerja pada kapal layar(Marchaj, 1982).

2.3. Tinjauan Pustaka

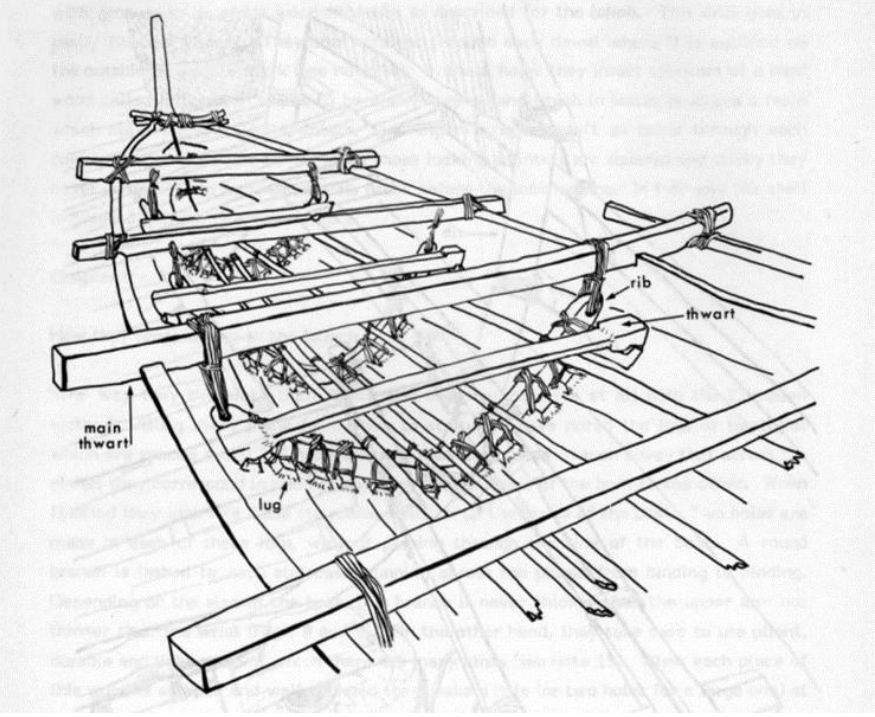
2.3.1. Konstruksi Kapal *Lashed-lug*

Kapal *lashed-lug* merupakan kapal dengan tradisi Asia Tenggara yang ditandai dengan adanya tonjolan-tonjolan (lugs) yang disebut dengan tambuku pada papan dan lunas. Kapal yang dibuat dengan teknik *lashed-lug* memiliki ciri-ciri seperti kapal dibangun dengan memasang papan pada lunas sebelum memasang gading, penggunaan pasak kayu pada tepian papan, papan yang dibentuk dengan cara dipahat, *tambuku* yang dipahat di papan membentuk baris melintang di dalam kapal, penggunaan gading yang lentur untuk menekan papan, penggunaan balok-balok melintang yang diikat pada *tambuku* dan ujung dari gading untuk merapatkan papan-papan pada kapal *(Horridge, 1982)*.

Papan pada kapal dibuat dengan cara membelah batang kayu utuh menjadi dua. Kayu kemudian dipahat menjadi papan dengan meninggalkan bagian-bagian menonjol yang terletak pada interval tertentu yang yang nantinya dipahat menjadi *tambuku*. Bentuk papan yang melengkung dan papan yang memiliki bentuk puntiran juga dibuat dengan cara dipahat *(Horridge, 1982)*.

Sebelum, papan dipasang pada lunas, lunas di bor untuk membuat lubang pasak. Lubang pasak dibuat memiliki jarak yang teratur. Pada papan, juga dibuat lubang dengan jarak yang sama dengan lubang pada lunas. Pasak kemudian dipasang pada lunas dan papan pertama dipasang untuk pengepasan. Bentuk sisi bawah dari papan harus sesuai dengan sisi atas dari

lunas supaya keduanya dapat terpasang dengan rapat tanpa membentuk celah yang bisa dimasuki air. Pada tahap ini, pembuat kapal menggunakan alat yang memiliki penggores dari besi. Bagian penggores ditempelkan pada papan sedangkan bagian bawah alat ditempelkan pada lunas. Alat tersebut kemudian digunakan untuk mengikuti bentuk alur dari lunas sekaligus menggores papan meninggalkan jejak yang memiliki bentuk yang sama dengan lunas. Setelah papan ditandai, papan dilepas dan dipahat dengan mengikuti jalur goresan alat tersebut. Kemudian papan dipasang pada lunas. Proses yang sama dilakukan untuk memasang papan-papan berikutnya. Di mana sisi bawah papan berikutnya dibentuk mengikuti sisi atas papan sebelumnya. Setelah papan terpasang, gading dan balok melintang baru dipasang dengan cara diikat pada *tambuku (Horridge, 1982).*



Gambar 2.8 Perahu yang dibangun dengan teknik *lashed-lug (Horridge, 1982)*

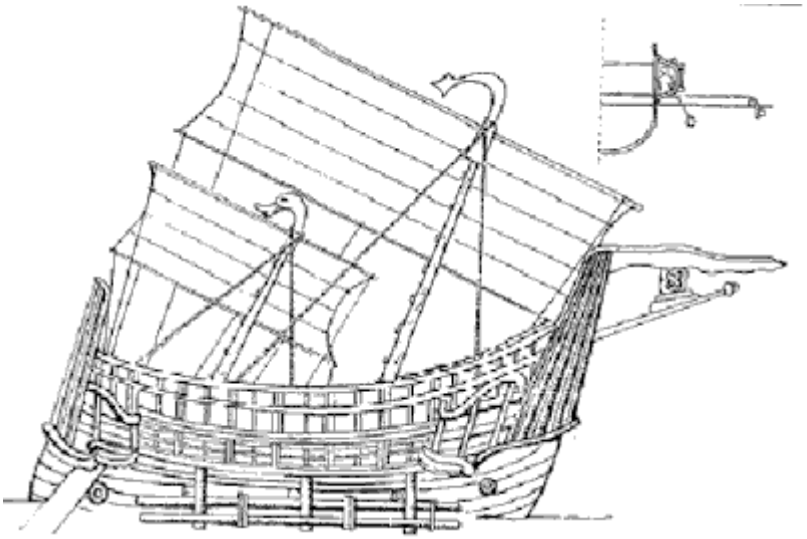
2.3.2. Metode Rekonstruksi Kapal Borobudur

Candi Borobudur merupakan candi Buddha yang dibangun oleh Kerajaan Mataram Kuno pada masa Wangsa Syailendra. Pada Candi Borobudur terdapat beberapa relief yang menggambarkan perjalanan menggunakan kapal. Terdapat lima relief dengan desain yang mirip namun berbeda secara detail dan variasi. Relief tersebut menggambarkan secara akurat bagian-bagian kapal yang memiliki kemiripan dengan kapal masa kini. Dalam relief kapal tersebut penggambaran orang di atas kapal dilebih-lebihkan ukurannya untuk mendramatisir adegan

yang digambarkan oleh pemahat. Sehingga proporsi kapal dengan orang tidak bisa digunakan sebagai acuan untuk memperkirakan ukuran kapal.

Gambar 2.9 Relief kapal pada Candi Borobudur
(Foto : Dr. Samodra)

Relief kapal menunjukkan beberapa bagian kapal yang memiliki kemiripan dengan kapal tradisional masa kini. Kapal tersebut menggunakan tiang layar *tripod* yang dapat dimiringkan. Terdapat dua tiang layar pada kapal, tiang layar depan membawa layar yang lebih besar dibandingkan dengan layar yang terpasang pada tiang layar belakang. Kapal memiliki layar berbentuk persegi panjang yang dimiringkan atau disebut juga sebagai layar *tanja* pada saat ini. Kemudi kapal yang digunakan merupakan jenis kemudi samping (*quarter rudder*) yang memiliki bentuk seperti dayung berukuran besar. Kapal tersebut mempunyai galeri pendayung di sisi atas lambung. Ciri lain dari kapal tersebut adalah memiliki cadik yang terpasang di sisi kapal.



Gambar 2.10 Sketsa kapal dalam relief Candi Borobudur oleh van Erp(Burningham, 2005).

Kapal pada relief memiliki cadik yang lebih pendek daripada panjang kapal. Berbeda dengan perahu bercadik tradisional saat ini yang memiliki cadik lebih panjang dibandingkan dengan panjang lambung. Pada perahu bercadik saat ini, stabilitas perahu bergantung pada cadik. Apabila lambung kapal Borobudur seperti kebanyakan lambung perahu bercadik saat ini, daya apung pada cadik tidak dapat mengimbangi gaya yang diakibatkan oleh layar. Rekonstruksi ukuran penuh dari kapal yang dilakukan di Jepang terbalik ketika peluncuran.

Pada rekonstruksi kapal Borobudur yang dilakukan pada tahun 2003 oleh Burningham, tidak ada patokan dari kapal yang sudah ada sebelumnya. Ukuran kapal diperkirakan berdasarkan estimasi yang dilakukan oleh Heide yaitu 15 m. Relief pada candi hanya memberikan sedikit informasi mengenai bentuk lambung. Bentuk lambung diambil berdasarkan data arkeologis dan data etnografis dari kapal masa kini. Seperti pada bentuk penampang melintang kapal yang dibuat berdasarkan sisa-sisa kapal di Butuan, Filipina. Rasio panjang dan lebar kapal diambil dari rasio panjang/lebar dari kapal kora-kora abad ke-19. Hal itu didasarkan pada anggapan kapal Borobudur memiliki kemiripan dengan kapal kora-kora. Bangunan atas kapal digambarkan dengan jelas pada relief, sehingga bentuk bangunan atas pada relief digunakan sebagai referensi untuk membuat bangunan atas(Burningham, 2005).

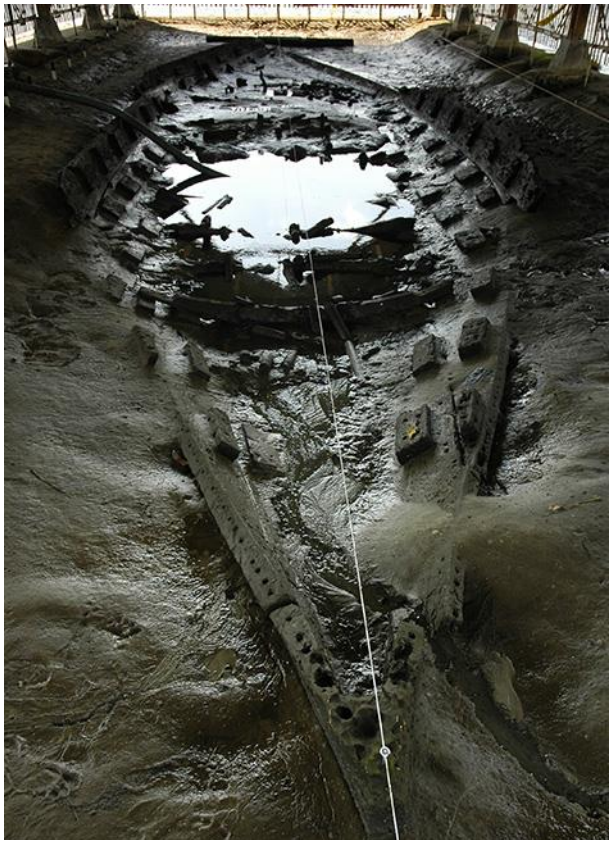
2.3.3. Rekonstruksi Virtual Kapal Karam Nanhan/Cirebon

Puing-puing kapal karam yang diperkirakan berasal dari abad ke-10 ditemukan di lepas Pantai Cirebon sejauh 90 mil laut dari garis pantai. Kapal tersebut mengangkut muatan yang bervariasi mulai dari barang pecah belah dari Timur Tengah, porselen Tiongkok, besi, dan ingot timah. Kapal tersebut diperkirakan karam dalam perjalannnya dari kepulauan Bangka Belitung

menuju Jawa. Bagian lambung kapal ditemukan dalam kondisi yang utuh. namun tidak terdapat tanda-tanda dari bagian atas kapal. kapal tersebut miring sebesar 5^0 hingga 10^0. Bentuk lambung pada kapal ini dapat diperkirakan karena masih terdapat sisa-sisa lambung kapal. Lambung kapal diukur untuk kemudian dilakukan penggambaran ulang kondisi lambung. Lambung kapal ditentukan ukuran utuhnya untuk mendapatkan ukuran utama kapal. Penggambaran ulang lambung kemudian di-*fairing* untuk mendapatkan bentuk lambung yang mendekati aslinya. Bagian kapal lainnya seperti bangunan atas, layar, dan kemudi ditentukan dengan menggunakan referensi dari ilustrasi kapal pada abad ke 16 yang dibuat oleh bangsa Eropa dan bentuk-bentuk yang masih bertahan hingga saat ini(Liebner, 2014).

2.3.4. Kapal Punjulharjo

Kapal Punjulharjo dinamai sesuai dengan tempat penemuannya yaitu Desa Punjulharjo, Rembang, Jawa Tengah. Kapal tersebut ditemukan pada tahun 2008 oleh penduduk setempat yang menggali tanah untuk dibuat tambak garam sekitar 500 meter dari garis pantai. Kapal mempunyai panjang lunas 15,6 meter. Dan memiliki lebar 4,6 meter dari papan-papan yang tersisa *(Mochtar, 2018)*.



Gambar 2.11 Kondisi kapal saat ditemukan dan mulai diangkat
(Foto : Balai Arkeologi Yogjakarta)

Papan-papan diikat dengan menggunakan tali ijuk (Arenga pinata), yang diikat ke tambuku melalui lubang-lubang pada tambuku yang sudah di bor sebelumnya. Tambuku secara melintang dipahat pada papan lambung berurutan untuk mengikat gading-gading kapal. Senta terpasang dengan cara diikat di atas gading. Susunan senta hanya bisa dilihat pada bagian buritan, karena di bagian haluan senta hilang (Mochtar, 2018).

Gambar 2.13 Gading-gading dan tambuku pada Kapal Punjulharjo
(Foto : Balai Arkeologi Yogjakarta)

Gambar 2.12 Detil Sistem konstruksi kapal Lashed-Lug pada Kapal Punjulharjo
(Foto : Balai Arkeologi Yogjakarta)

Gambar 2.15 Detil ikatan pada floor Kapal (dasar gading) dan tambuku
(Foto : Balai Arkeologi Yogjakarta)

Gambar 2.14 Lokasi Kapal Punjulharjo – Museum Perahu – in situ
(Foto : Dr. Samodra)

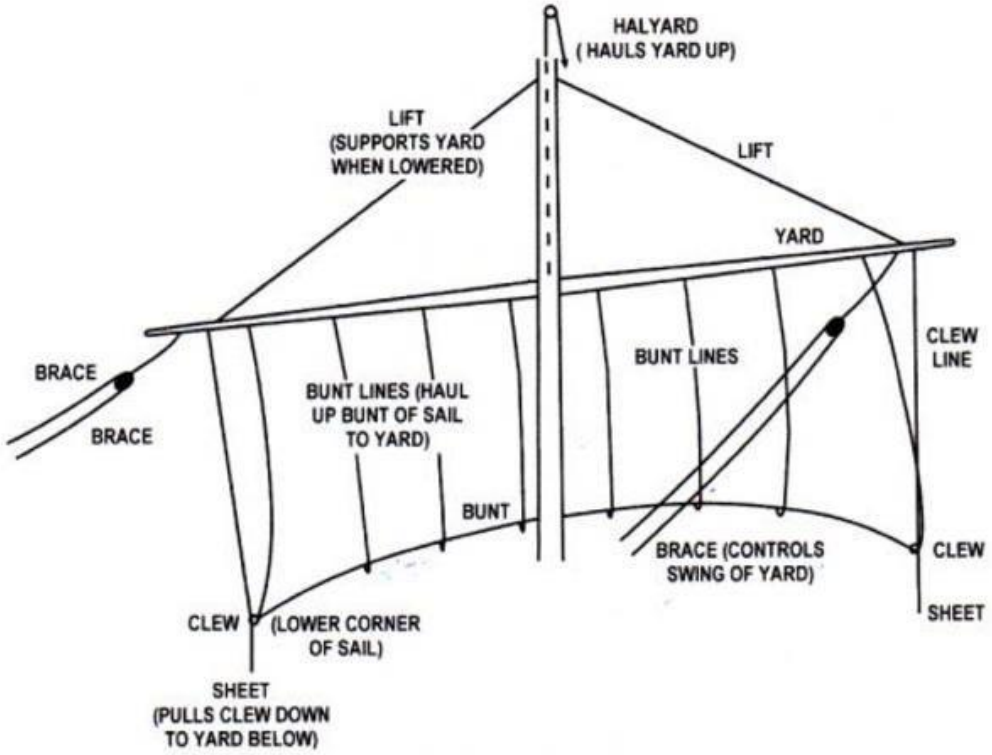
Gambar 2.16 Perahu setelah ekskavasi dan preservasi – in situ
(Foto : Dr. Samodra)

Gambar 2.17 Pengukuran Kapal oleh team dari Dept. Teknik Perkapalan FTK. ITS
(Foto : Dr. Samodra)

2.3.5. Jenis Layar

Layar kapal dapat dibagi menjadi dua kelompok yaitu layar persegi (*square rig*) dan layar *fore and aft*. *Square rig* merupakan jenis susunan layar dan tali temali dengan layar penggerak utama dipasang pada balok horisontal (*yard*) yang terpasang secara tegak lurus dengan lunas kapal. Kapal dengan layar persegi disebut dengan *square rigger*. Layar persegi

memiliki performa yang paling baik ketika angin dari belakang (*downwind*). Layar *fore and aft* merupakan jenis layar dengan layar yang dipasang mengikuti garis lunas kapal berbeda dengan *square rig* yang dipasang tegak lurus dangan lunas kapal. Layar *fore and aft* dapat bekerja lebih baik dari layar persegi ketika berlayar melawan angin (*upwind*) (Denny, 2009).



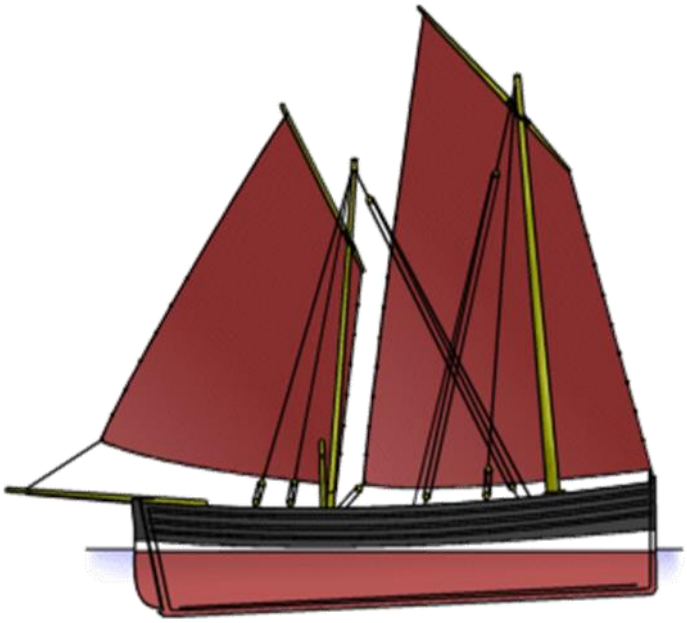
Gambar 2.18. Bagian-bagian dari *square rigging* (Wikimedia Commons)

Terdapat banyak jenis layar yang dapat dikelompokkan sebagai layar *fore and aft* :

a. *Lug sail*

Lug sail merupakan jenis layar *fore and aft* berbentuk segiempat yang digantung pada *yard*. *Yard* pada layar *lug sail* dipasang melewati tiang layar berbeda dengan layar *gaff rig*. Terdapat beberapa jenis *lug sail* yaitu *standing lug*, *balanced lug*, dan *dipping lug*. *Standing lug* merupakan jenis layar *lug sail* yang baik layar maupun *yard* dipasang pada salah satu sisi tiang layar dan tidak dipindah ke sisi sebaliknya. *Yard* pada *standing lug* dipasang melewati depan tiang layar namun bagian ujung bawah depan layar (*foot*) tidak sampai melewati depan tiang layar. Ketika angin bertiup dari arah layar dipasang, layar menekan tiang menyebabkan keadaan yang disebut dengan *bad tack*. *Balanced lug* merupakan jenis layar *lug sail* yang digantung pada *yard* dan memiliki balok di bawah layar yang disebut dengan *boom*. Pada *balanced lug*, baik *yard* dan *boom*

dipasang melewati depan tiang layar. Sama seperti *standing lug*, layar *balanced lug* dipasang pada satu sisi tiang dan tidak dipindah ke sisi sebaliknya. *Dipping lug* merupakan jenis layar *lug sail* yang didesain supaya dapat dipindah ke sisi sebelah tiang layar berbeda dengan jenis layar *balanced lug* dan *standing lug*. Layar *dipping lug* dipindah ke sisi lain tiang layar dengan cara menurunkan *yard* dan memindahkan ke sisi sebaliknya dari tiang layar. Proses tersebut dinamakan *dipping*. Keuntungan dari *dipping lug* adalah layar dapat dipindah ke sisi bawah angin (*leeward*) sehingga layar tidak mengalami *bad tack* akibat layar menekan tiang layar(Denny, 2009).



Gambar 2.19 Perahu layar fifie dengan layar *standing lug* dan *dipping lug* (Wikimedia Commons)

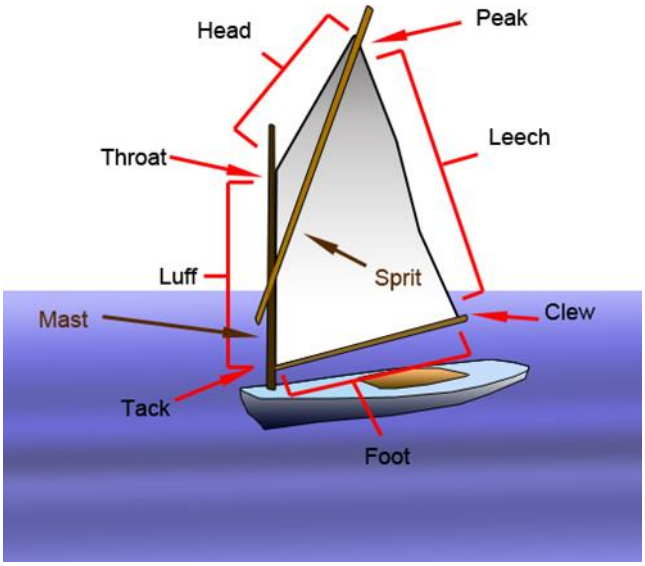
b. Lateen sail

Lateen sail merupakan jenis layar *fore and aft* berbentuk segitiga yang digantung pada *yard* yang dipasang miring. *Lateen sail* banyak ditemui di Sungai Nil, Samudera Hindia, dan Laut Mediterania. Layar *lateen* digunakan karena memungkinkan kapal untuk melakukan manuver *tacking* melawan angin lebih baik dibandingkan dengan *square sail*. Secara terpisah, suku bangsa Austronesia membuat jenis layar segitiga dengan *boom* di bagian dasar layar. Tipe layar tersebut dinamakan *crab claw sail* atau *oceanic lateen sail*(Denny, 2009).

Gambar 2.20 Kapal *Caravel* Boa Esperanca dengan layar *lateen* (Wikimedia Commons).

c. Spritsail

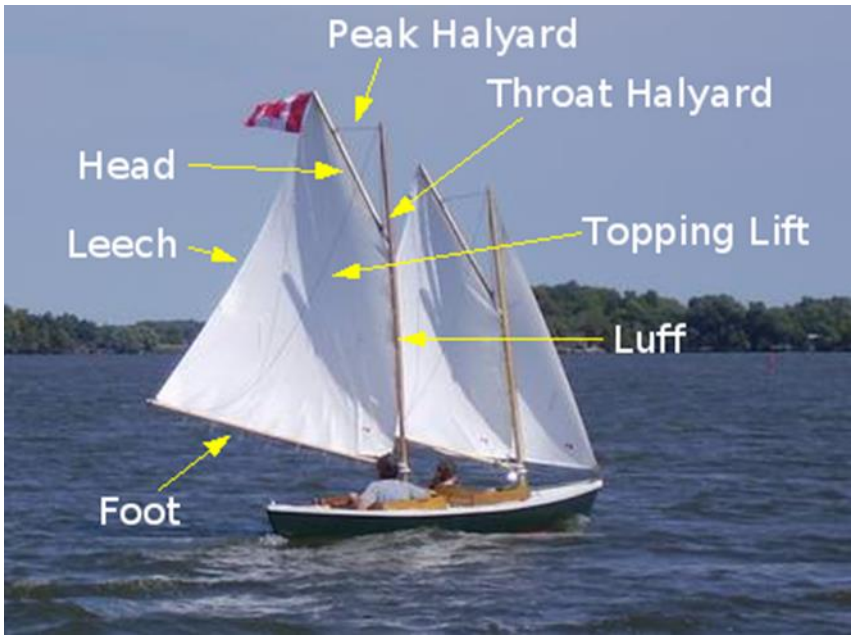
Spritsail merupakan jenis layar segiempat *fore and aft* yang ditopang di titik tertingginya dengan tiang layar dan balok diagonal yang disebut dengan *sprit*. Layar pada *spritsail* dipasang di belakang tiang layar. Berbeda dengan layar *gaff*, pada layar *spritsail* bagian atas layar tidak digantung melainkan ditopang oleh *sprit*. Bagian ujung depan *sprit* dipasang pada tiang layar. Bagian ujung belakang atas *sprit* dipasang pada ujung atas layar (*peak*). Bagian bawah layar (*foot*) dapat dipasangi *boom* atau tidak dipasangi *boom* (*loose footed*)(Denny, 2009).



Gambar 2.21 Bagian-bagian pada spritsail (Wikimedia Commons).

d. Gaff rig

Gaff rig merupakan konfigurasi layar yang termasuk ke dalam kelompok layar fore and aft berbentuk yang dipasang pada balok yang disebut gaff. Layar gaff dipasang di belakang tiang layar. Layar gaff digunakan pada kapal schooner, barquentine, dan pada kapal square rigger sebagai layar spanker.



Gambar 2.22 Bagian pada layar gaff (Wikimedia Commons).

e. Gunter rig

Gunter rig merupakan layar *fore and aft* berbentuk segitiga dengan *gaff* yang dipasang hingga posisi vertikal. *Gunter rig* memungkinkan penggunaan layar *fore and aft* segitiga di belakang tiang layar yang serupa dengan layar *bermuda* namun dengan tiang layar yang lebih pendek. Seperti pada *gaff rig*, *gunter rig* memiliki *gaff*. Pada *gaff* rig, *gaff* dipasang dengan posisi miring, sedangkan pada *gunter rig*, *gaff* dipasang hingga mendekati vertikal(Denny, 2009).

Gambar 2.23 Jenis layar *gunter rig* (Wikimedia Commons)

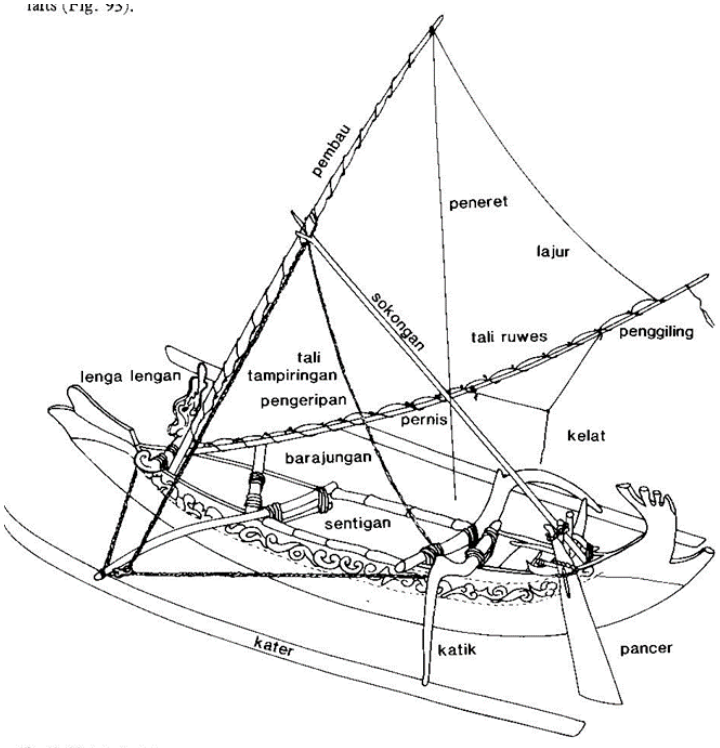
f. Bermuda rig

Bermuda rig merupakan jenis layar *fore and aft* berbentuk segitiga yang dipasang di belakang tiang layar dengan bagian atas layar (*head*) dipasang di puncak tiang, bagian depan layar (*luff*) dipasang sepanjang tiang layar, bagian ujung bawah depan layar (*tack*) dipasang pada dasar tiang dan bagian dasar layar dikendalikan dengan *boom*. *Bermuda rig* banyak digunakan oleh *yacht* modern karena *handling* layar yang mudah dan kemampuan berlayar ke atas angin yang lebih baik. *Bermuda rig* disebut juga dengan sebutan *marconi rig*, karena kabel penguat tiang yang menyerupai dengan antena radio pada masa lalu(Denny, 2009).

Gambar 2.24 Perahu *dinghy* dengan layar *bermuda* (Wikimedia Commons)

g. Crab claw sail

Crab claw sail merupakan jenis layar yang banyak ditemui di Pasifik dan Kepulauan Nusantara. *Crab claw sail* merupakan bentuk lain dari *lateen sail* namun dengan dasar layar yang memiliki boom. Terdapat beberapa variasi dari *crab claw sail* yaitu dari cara mengendalikan dan cara memasang layar. Layar *crab claw* di daerah Pasifik pada umumnya tidak memiliki tiang layar, namun memiliki penyangga yang dapat dimiringkan sehingga layar dapat dipindah ke depan dan belakang kapal. Manuver tersebut dinamakan *shunting* yaitu menukar bagian haluan menjadi buritan dan bagian buritan menjadi haluan. Manuver *shunting* dilakukan ketika berlayar melawan angin. Layar *crab claw* di Madura disebut sebagai layar *lete*. Layar *lete* Madura memiliki tiang penyangga yang menahan *yard* (*pembau*) yang disebut dengan *sokongan*. Pada perahu Jukung Madura tidak terdapat tiang layar. Sedangkan pada perahu golekan dan janggolan terdapat tiang layar yang pendek. Jukung Bali memiliki perbedaan dengan Jukung Madura yaitu pada Jukung Bali terdapat tiang layar pendek(Horridge, 2015).

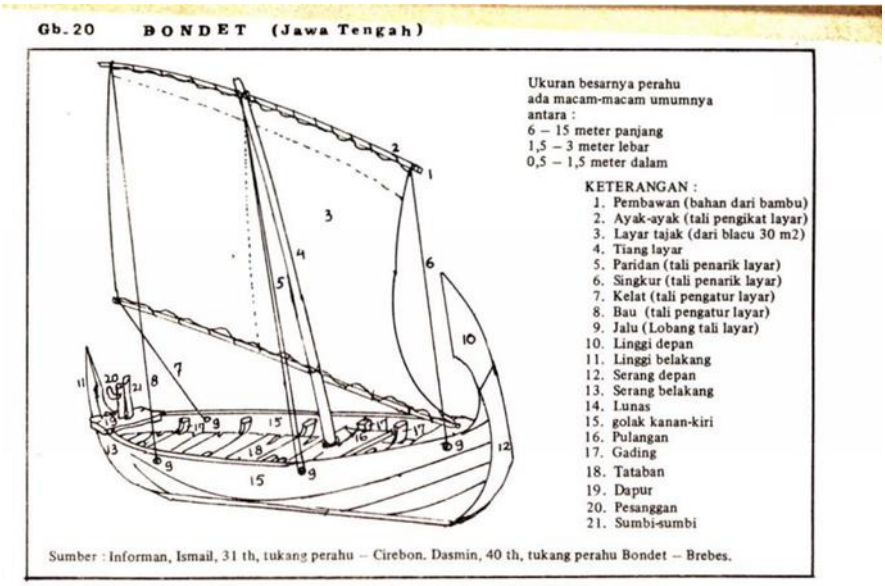


Gambar 2.25 Layar *crab claw* pada perahu jukung Madura (Horridge, 2015).

h. Layar tanja (tilted rectangular sail)

Layar tanja merupakan jenis layar yang banyak terdapat di Kepulauan Nusantara. Layar tanja memiliki bentuk persegi panjang dan dipasang hingga

melewati depan tiang layar. Bagian dasar pada layar tanja dikendalikan dengan *boom* yang dipasang ke tali pengendali layar yang disebut dengan tali *kelat* (*sheet*)(Horridge, 2015).



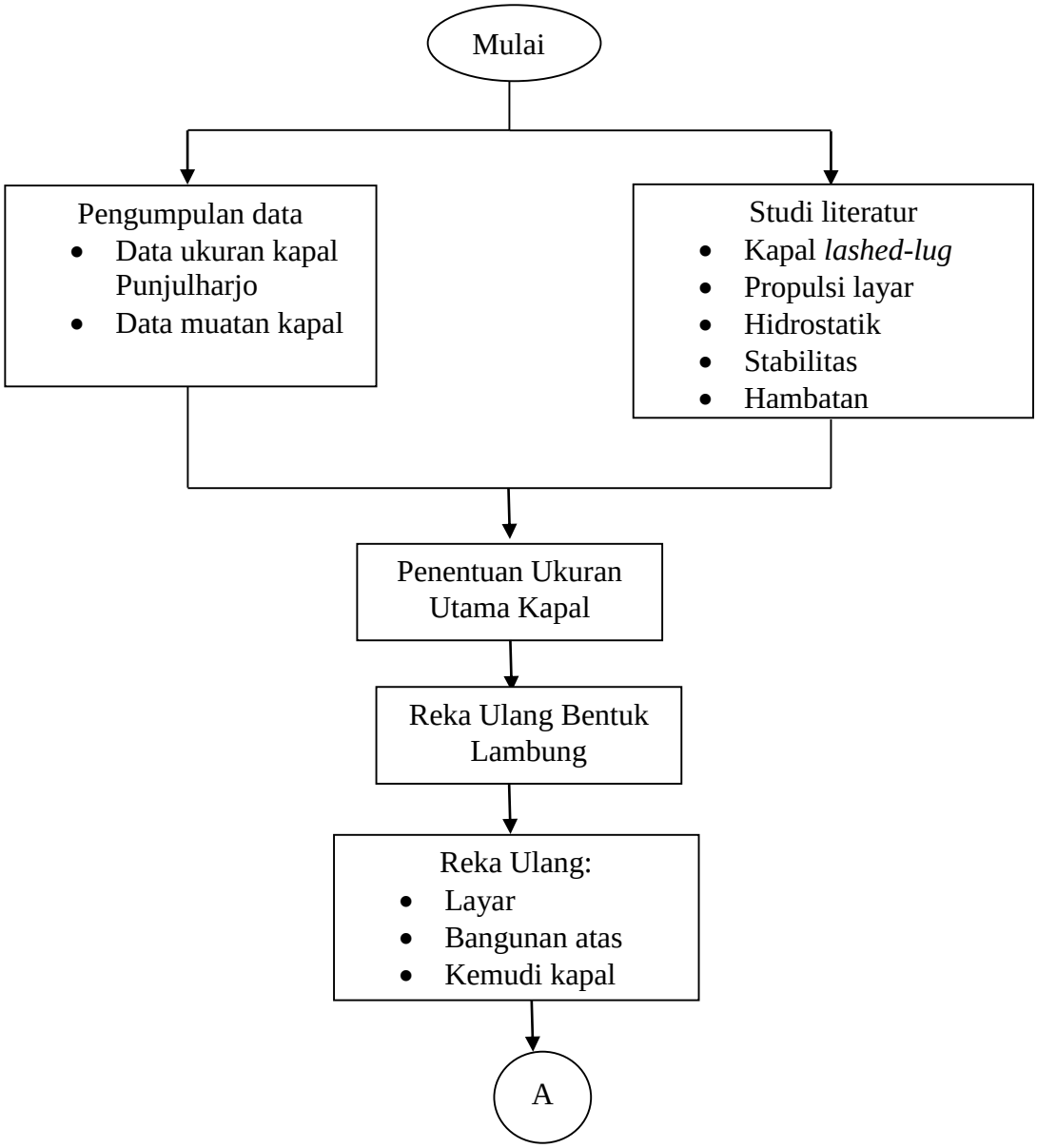
Gambar 2.26 Layar tanja pada perahu Bondet (Wangania, 1981).

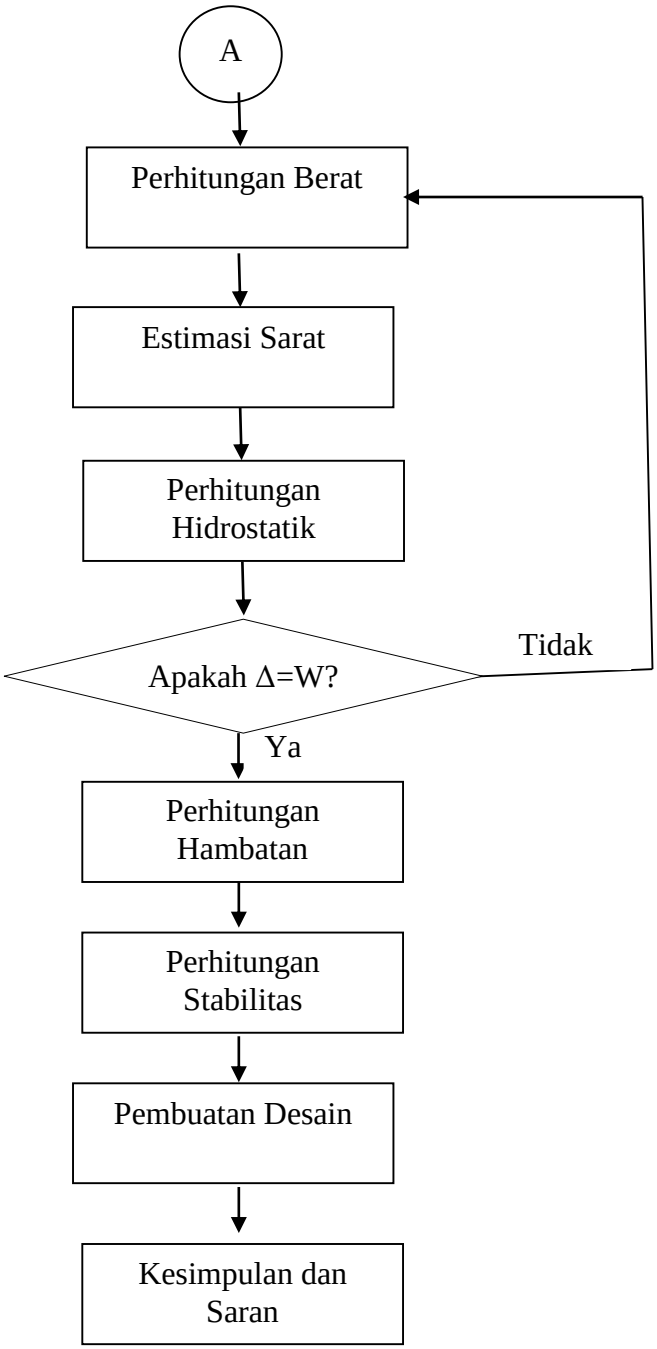
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 3
METODOLOGI

3.1. Bagan Alir

Secara umum metodologi dalam pengerjaan Tugas Akhir ini adalah membuat reka ulang dari reruntuhan Kapal Punjulharjo dengan referensi rekonstruksi Kapal Borobudur.





Gambar 3.1 Bagan Alir Pengerjaan tugas akhir

3.1. Proses Pengerjaan

Pada bab ini dijelaskan tentang langkah-langkah pengerjaan yang dilakukan pada tugas akhir ini. Langkah-langkah pengerjaan sudah dijelaskan secara umum sesuai dengan bagan alir pada Gambar 3.1.

3.1.1. Pengumpulan Data

Data yang diperlukan dalam pengerjaan tugas akhir ini diperoleh dari kunjungan ke Situs Perahu Kuno Punjulharjo. Dari kunjungan tersebut dilakukan pengukuran-pengukuran

yang meliputi pengukuran tinggi lunas, pengukuran jarak gading, dan pengukuran gading kapal.

3.1.2. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mendapatkan pengetahuan beserta teori-teori yang diperlukan dalam tugas akhir ini. Studi yang dilakukan antara lain:

1. Penelitian kapal Punjulharjo yang dilakukan oleh Agni Sesaria Mochtar untuk mengetahui kondisi kapal saat ditemukan dan komponen-komponen kapal yang masih tersisa dan latar belakang sejarah dari Kapal Punjulharjo.
2. Rekonstruksi kapal Samodraraksa yang dilakukan oleh Nick Burningham untuk mengetahui proses penafsiran relief kapal di Candi Borobudur menjadi kapal dalam ukuran 1:1.

3.1.3. Estimasi Ukuran Utama Kapal

Estimasi ukuran utama kapal diperlukan untuk memperkirakan ukuran dari kapal Punjulharjo karena kondisi kapal yang tidak utuh. Estimasi dilakukan dengan menggunakan panjang lunas kapal sebagai patokan panjang kapal karena lunas kapal berada dalam kondisi utuh. Lebar dan tinggi kapal diperkirakan dengan menggunakan proporsi lebar dan tinggi kapal terhadap panjang kapal pada kapal tradisional masa kini di daerah Pantai Utara Jawa.

3.1.4. Reka Ulang Bentuk Kapal

Reka ulang lambung dilakukan karena lambung yang ditemukan tidak utuh dan mengalami deformasi. Reka ulang diawali dengan menggambar ulang lambung kapal sesuai dengan hasil pengukuran yang dilakukan oleh Ir. Samodra. Penggambaran ulang bentuk lambung dilakukan menggunakan perangkat lunak AutoCad dan Maxsurf Modeller. AutoCad digunakan untuk menggambar *body plan* kapal hasil pengukuran. *Body plan* hasil pengukuran digunakan untuk membuat model tiga dimensi dari lambung kapal dengan menggunakan perangkat lunak Maxsurf Modeller. Model tiga dimensi dari lambung kapal tersebut kemudian disesuaikan ukurannya dengan hasil estimasi ukuran utama kapal. setelah ukuran kapal disesuaikan dengan ukuran hasil estimasi, dilakukan *fairing* terhadap model tiga dimensi lambung supaya diperoleh bentuk lambung kapal yang *fair*.

3.1.5. Reka Ulang Bentuk Layar, Bangunan Atas, dan Kemudi

Pada saat kapal ditemukan, bagian atas kapal termasuk di antaranya bagian atas lambung, bangunan atas, layar dan perlengkapan layar, dan kemudi kapal hilang. Karena bagian tersebut tidak ditemukan, perlu dilakukan reka ulang bangunan atas, layar, dan kemudi kapal. Reka ulang didasarkan pada gambaran kapal dari era yang sama dengan Kapal Punjulharjo yaitu relief kapal di Candi Borobudur. Bentuk bagian-bagian kapal yang terdapat pada relief kemudian ditafsirkan berdasarkan penafsiran relief yang digunakan pada rekonstruksi Kapal Samodraraksa.

3.1.6. Perhitungan Berat Kapal

Perhitungan berat kapal dilakukan untuk memperkirakan titik berat dan berat kosong kapal. Perhitungan berat kapal dilakukan dengan cara menghitung berat komponen-komponen kapal hasil reka ulang. Pada perhitungan tersebut dilakukan juga perhitungan titik berat kosong kapal melalui persebaran komponen-komponen hasil reka ulang.

3.1.7. Estimasi Sarat Kapal

Berat kapal kosong digunakan untuk menentukan sarat kapal dalam kondisi kosong. Sarat kapal penuh diperkirakan berdasarkan tinggi lambung timbul, yang mana lambung timbul kapal harus cukup rendah supaya pendayung dapat menggunakan dayung dan cukup tinggi sehingga kapal tidak mudah tenggelam.

3.1.8. Perhitungan Hidrostatik

Perhitungan hidrostatik dilakukan untuk mendapatkan karakter hidrostatik kapal. Perhitungan hidrostatik dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Maxsurf Stability. Proses perhitungan dilakukan mulai dari sarat kapal sama dengan nol hingga sarat penuh kapal yang didapat dari estimasi sarat kapal. Pada tahap ini berat mati kapal dapat dihitung berdasarkan sarat kapal penuh. Berat kotor kapal digunakan dalam memperkirakan berat muatan dan perbekalan.

3.1.9. Perhitungan Hambatan Kapal

Perhitungan hambatan kapal dilakukan untuk memperkirakan besar hambatan kapal pada saat kapal dalam keadaan muatan penuh. Perhitungan diawali dengan memperkirakan kecepatan dinas kapal berdasarkan asumsi kecepatan kapal layar pada umumnya. Perhitungan dilakukan untuk mendapatkan grafik hambatan kapal terhadap kecepatan yang dimulai dari kecepatan kapal sama dengan nol hingga kecepatan dinas kapal. perhitungan hambatan

dilakukan dengan menggunakan metode Holtrop-Mennen pada perangkat lunak Maxsurf Resistance.

3.1.10. Perhitungan Stabilitas Kapal

Perhitungan stabilitas kapal dilakukan untuk memperoleh kurva stabilitas statis. Perhitungan stabilitas diawali dengan perhitungan letak titik berat kapal pada kondisi penuh. Titik berat kapal diperoleh dari perhitungan titik berat gabungan dari titik berat kosong kapal, titik berat muatan kapal, titik berat perbekalan, dan titik berat kru kapal. perhitungan stabilitas dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Maxsurf Stability.

3.1.11. Pembuatan Lines Plan, General Arrangement, dan 3D Model Kapal Keseluruhan

Pada tahap pembuatan gambar, dilakukan pembuatan gambar lines plan kapal berdasarkan model 3D lambung kapal yang sudah dibuat. Gambar general arrangement dibuat berdasarkan tata letak kapal yang digunakan dalam perhitungan berat dan titik berat kapal. Model 3D kapal dibuat menggunakan model 3D lambung kapal yang sudah dibuat sebelumnya dengan tambahan bangunan atas, layar, dan perlengkapan lainnya. Pembuatan lines plan dan general arrangement menggunakan perangkat lunak AutoCad.

3.1.12. Kesimpulan dan Saran

Penarikan kesimpulan berdasarkan hasil reka ulang dan hasil perhitunga teknis. Bagian-bagian yang tidak dilakukan dalam tugas akhir ini akan menjadi saran untuk penelitian berikutnya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4
REKA ULANG KAPAL

4.1. Estimasi Ukuran Utama Kapal

Kapal ditemukan dalam kondisi papan bagian atas yang tidak utuh, sehingga lebar dan tinggi kapal tidak dapat ditentukan secara pasti. Sedangkan lunas kapal ditemukan dalam keadaan utuh sehingga panjang lunas dapat dijadikan patokan panjang kapal. Lunas kapal memiliki panjang 15,55 meter. Tinggi bagian kapal yang tersisa sebesar 0,7 meter dan lebar 4,6 meter. Berdasarkan estimasi oleh Balai Arkeologi Yogyakarta kapal Punjulharjo memiliki kapasitas 60 ton dan tinggi kapal 1,8 meter.

Estimasi lebar dan tinggi kapal dilakukan dengan menggunakan proporsi ukuran kapal tradisional yang masih ada saat ini. Referensi yang digunakan yaitu penelitian yang dilakukan oleh Gozalie Gunawan dan Keishi Shibata. Dalam penelitian tersebut terdapat rata-rata proporsi ukuran kapal yang terdapat di Pulau Jawa. Terdapat variasi dari proporsi ukuran yang dijelaskan dalam Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Rata-rata proporsi ukuran utama perahu Jawa (Gunawan and Shibata, 1986)

Mean vector							
Loa	7.74	6.66	9.80	7.13	11.03	11.24	6.05
B	1.60	1.69	2.19	2.33	2.90	2.88	1.54
D	0.57	0.65	0.94	0.91	0.73	1.00	0.38
LBD	7.85	7.79	20.46	15.07	23.42	32.93	3.67
L/B	4.87	3.93	4.51	3.06	3.80	3.93	4.32
L/D	13.63	10.21	10.40	7.89	15.18	11.32	16.15
B/D	2.81	2.61	2.32	2.59	3.99	2.88	4.07

Diasumsikan bahwa proporsi ukuran utama kapal dari masa lalu maupun masa kini memiliki ukuran yang hampir sama, sehingga ukuran dari kapal masa kini dapat digunakan sebagai patokan. Estimasi ukuran yang dilakukan oleh Balai Arkeologi kemudian dibandingkan dengan proporsi ukuran kapal masa kini.

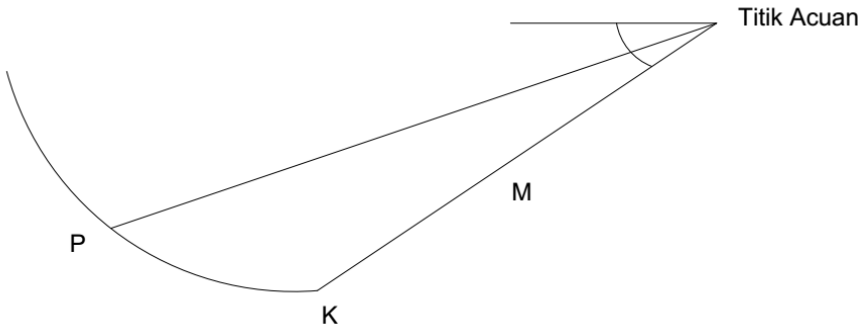
Berdasarkan Tabel 4.1., dapat dilihat variasi proporsi ukuran utama kapal. Untuk mencari tinggi kapal digunakan perbandingan L/D. Panjang kapal yang digunakan berdasarkan panjang lunas yaitu 15,55 meter.

4.2. Reka Ulang Lambung Kapal

Reka ulang lambung kapal bertujuan untuk memperkirakan bentuk dan ukuran lambung kapal dalam kondisi utuh. Reka ulang lambung kapal dilakukan untuk memperoleh model 3D dari lambung kapal yang akan digunakan dalam tahap selanjutnya.

4.2.1. Penggambaran Ulang Lambung Kapal

Penggambaran ulang lambung kapal dilakukan berdasarkan hasil pengukuran. Pengukuran dilakukan pada papan di setiap gading, jarak gading kapal, lebar lunas dan tinggi lunas di setiap gading. Pengukuran lambung dipisah antara hasil pengukuran lambung di sisi utara dan sisi selatan berdasarkan posisi lambung saat ditemukan. Untuk salah satu sisi lambung, pengukuran dilakukan di salah satu posisi gading. Pengukuran dilakukan di bagian dalam lambung, dengan menggunakan titik acuan di luar lambung. Dari titik acuan tersebut diukur letak-letak papan lambung dalam koordinat polar.



Gambar 4.1. Pengukuran pada bagian dalam lambung kapal. Jarak M merupakan jarak titik pada lunas yang diukur dari titik acuan ke titik P pada papan dan titik K pada lunas. Untuk menentukan letak titik P dan K, diukur sudut dari garis yang dibentuk antara jarak M dengan garis horisontal.

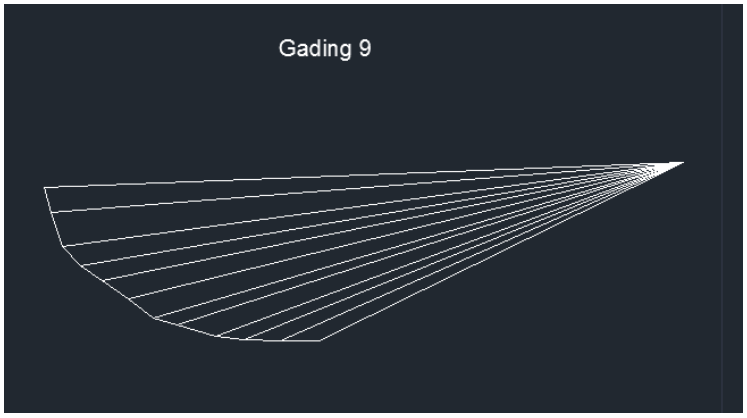
Pada sisi utara lambung, pengukuran dilakukan dengan titik acuan pada sisi selatan lambung. Sebaliknya pada pengukuran sisi selatan, titik acuan terletak pada sisi utara lambung. Titik-titik yang diukur adalah bagian tengah papan lunas, bagian tepian papan lunas, dan bagian tepi papan lambung. Untuk papan lunas bagian tengah diberi kode K2, bagian tepi papan lunas dengan kode K1. Tepian papan berikutnya menggunakan kode P1, P2, dst sesuai dengan jumlah papan. Dari titik-titik tersebut diukur jarak ke titik acuan, jarak tersebut diberi kode jarak M. Dari titik-titik tersebut diukur sudut antara garis M dengan garis horisontal. Hasil pengukuran dimasukkan ke dalam tabel sesuai dengan nomor gadingnya. Pengukuran yang sama dilakukan pada gading.

Gambar 4.2 Perahu setelah ekskavasi dan preservasi – in situ
(Foto : Dr. Samodra)

Tabel 4.2 Pengukuran lambung pada gading 9 sisi utara

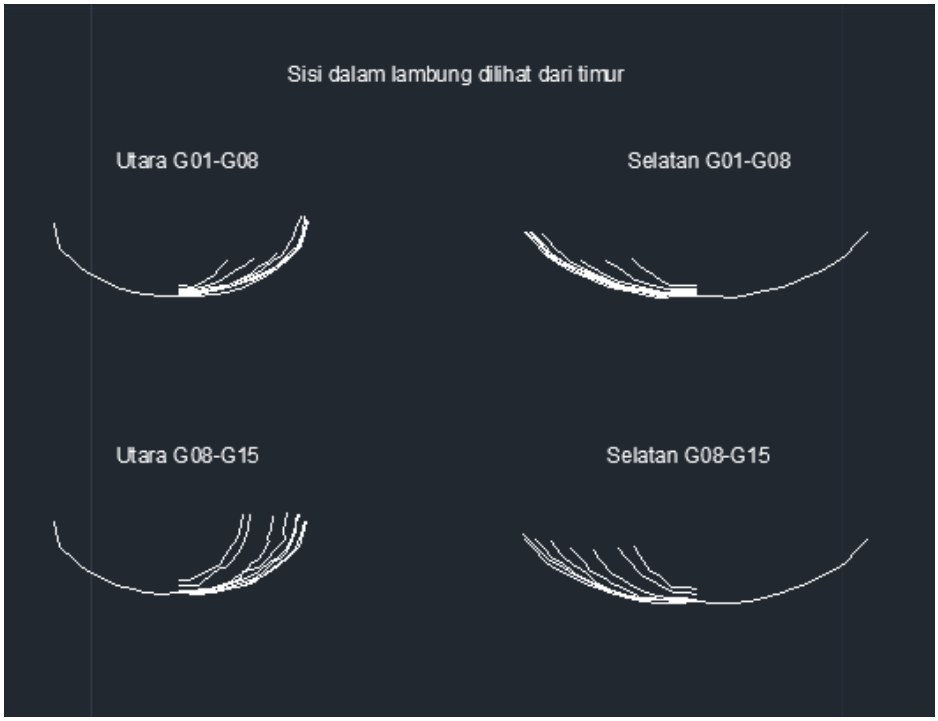
No.	Letak	Sudut	Jarak M
1	K2	26,0	2,45
2	K1	23,8	2,66
3	P1	21,9	2,86
4	P1	20,3	3,01
5	P2	17,8	3,21
6	P2	16,3	3,33
7	P3	13,8	3,45
8	P3	11,4	3,58
9	P4	9,7	3,69
10	P4	7,7	3,78
11	P5	4,5	3,83
12	P5	2,2	3,86

Data hasil pengukuran kemudian digambar dengan menggunakan perangkat lunak CAD untuk menghasilkan gambar gading. Gambar gading dibuat dengan cara menentukan ulang letak-letak papan dan lunas pada perangkat lunak CAD. Pada penentuan letak papan di perangkat lunak CAD, digunakan satu titik yang dijadikan titik acuan. Dari titik acuan tersebut digambar garis sesuai dengan jarak dan sudut yang terdapat pada Tabel IV.1. Dilanjutkan dengan pembuatan garis yang menghubungkan titik-titik dari posisi papan yang lain.



Gambar 4.3. Pembuatan gambar gading nomor 9 sisi utara.

Gambar gading yang sudah dibuat digunakan untuk membuat gambar *body plan* kapal. Pada pembuatan gambar *body plan*, digunakan data pengukuran tinggi lunas. Tinggi lunas digunakan untuk menentukan letak gading yang dibuat *body plan*. Karena lambung kapal ketika ditemukan dalam keadaan tidak simetris, *body plan* kapal dipisah antara *body plan* sisi utara dan sisi selatan. Dari kedua *body plan*, diambil sisi yang dianggap mengalami deformasi paling sedikit.



Gambar 4.4. *Body plan* kapal sisi utara dan sisi selatan dilihat dari arah timur.

Diasumsikan bahwa deformasi yang terjadi pada lambung mengakibatkan bagian sisi lambung turun dan melebar. Dari gambar *body plan* yang dibuat, dapat dilihat bahwa sisi selatan lambung melebar lebih banyak dibandingkan sisi utara. Untuk pengerjaan berikutnya digunakan sisi utara yang diasumsikan mengalami deformasi lebih sedikit.

4.3. Pembuatan 3D Model Lambung Kapal

3D Model dari lambung kapal digunakan untuk perhitungan stabilitas dan hambatan kapal menggunakan perangkat lunak Maxsurf. 3D Model lambung dibuat berdasarkan gambar *body plan* yang dibuat sebelumnya. Gambar *body plan* yang sebelumnya dibuat dengan menggunakan perangkat lunak CAD digunakan sebagai gambar latar belakang untuk pembuatan 3D model lambung. Menggunakan perintah *export* untuk mengubah format gambar *body plan* yang sebelumnya menggunakan ekstensi dwg menjadi *file* bitmap. Gambar bitmap *body plan* kemudian diimpor ke perangkat lunak Maxsurf Modeler.

Pada Maxsurf Modeler tampilan yang awalnya ada di tampilan Perspective, diubah ke tampilan Body Plan. Pilih File kemudian Import dan pilih Image Background. Setelah itu akan terbuka dialog Open untuk memilih gambar yang akan digunakan sebagai latar belakang. Setelah dipilih gambar yang digunakan klik pada tombol Open. Untuk menampilkan gambar latar belakang pada perangkat lunak Maxsurf, klik *menubar* Display, pilih Background, klik Show Image. Supaya gambar lebih akurat, gambar perlu dikalibrasi. Kalibrasi gambar

dilakukan dengan cara menentukan Image Zero Point dan Image Reference Point. Untuk menentukan Image Zero Point, pilih Background dari *menubar* display kemudian klik Image Zero Point. Klik pada bagian yang dijadikan sebagai patokan, dalam hal ini bagian tengah lunas kapal yang paling rendah. Zero Point pada Maxsurf akan berpindah ke lokasi tersebut. Kemudian klik Image Reference Point yang terdapat pada menu Background. Klik pada titik paling atas garis Centerline yang telah disesuaikan tingginya dengan tinggi kapal. kemudian akan muncul dialog Background Image Reference Point. Pilih vertical untuk menentukan titik tersebut berada di atas zero point. Kemudian masukkan tinggi kapal, klik OK.

Untuk membuat lambung kapal pada Maxsurf, klik *menubar* Surface, Add Surface, kemudian pilih Default. Pada Maxsurf akan muncul Surface dengan *control point* 3 baris dan 3 kolom. Klik Surface, Size Surface untuk mengubah ukuran *surface* Default sesuai dengan ukuran kapal yang ditemukan. Pada dialog Size Surface masukkan angka panjang lebar dan tinggi kapal. Karena gambar *body plan* kapal dibuat dari gambar gading, letak *station* pada Maxsurf disesuaikan dengan letak gading sesuai dengan pengukuran. Untuk membuat *station* dilakukan dengan cara mengisi Design Grid. Klik pada *menubar* Data, kemudian klik Design Grid, pilih Sections. Klik tombol Add untuk menambahkan *sections* sesuai dengan jumlah gading ditambah dengan linggi haluan dan buritan yaitu 17. Untuk menyesuaikan letak *sections* dengan letak gading, kolom stations diisi sesuai dengan jarak gading hasil pengukuran. Untuk mengatur bentuk lambung supaya sesuai dengan bentuk gading diperlukan *control points*. Letak kolom *control point* disesuaikan dengan letak gading. *Control point* digunakan untuk mengatur bentuk *surface* Default supaya sesuai dengan bentuk lambung dari *body plan.*Setelah bentuk *surface* sesuai dengan bentuk *body plan* kapal, *surface* tersebut digandakan dengan perintah offset untuk membuat bentuk lambung bagian luar papan.

4.3.1. Penyesuaian 3D Model Lambung dengan Estimasi Lebar dan Tinggi Kapal

3D model lambung yang sudah dibuat sebelumnya merupakan 3D model dari lambung kapal yang tersisa. Untuk mendapatkan lambung kapal ukuran penuh perlu dilakukan reka ulang. Dari tahap sebelumnya yaitu estimasi ukuran utama dapat diperkirakan bahwa kapal memiliki ukuran panjang 15 m lebar 4 m tinggi 1,8 m. Penyesuaian ukuran dilakukan pada perangkat lunak Maxsurf Modeler. *Surface* lambung kapal dimodifikasi dengan menggeser *control point* baris atas. *Control point* baris atas digeser ke atas dengan cara mengatur *height* dari *control point* menjadi 1,8 m. *Body plan* kapal bagian bawah dibuat tidak berubah dari bentuk *body plan* awal.

4.3.2. Fairing 3D Model Lambung Kapal

Bentuk lambung kapal hasil pengukuran banyak mengalami deformasi. Sehingga bentuk lambung kapal perlu dilakukan *fairing*. Proses *fairing* dilakukan pada Maxsurf Modeler dengan view Plan dan view Perspective. View Plan pada Maxsurf merupakan tampak atas lambung kapal sehingga dapat memperlihatkan bentuk *waterline* kapal. Pada view Perspective dapat dilakukan render supaya bentuk 3D dari lambung lebih terlihat.

Untuk membuat *waterline* kapal, klik menubar Data, kemudian klik Design Grid. Pada dialog Design Grid pilih *waterlines* kemudian klik tombol Add.

Untuk melihat *fairness* pada *waterlines*, klik salah satu *waterline* kemudian klik Display, klik Curvature kemudian klik Show Curvature. Akan muncul garis-garis curvature pada *waterline* yang dipilih. Garis-garis curvature dapat beragam tingginya dan dapat berada pada kedua sisi dari garis *waterline*. Untuk membuat garis *waterline* yang *fair*, garis-garis curvature dibuat memiliki tinggi yang hampir sama dan berada pada satu sisi dari garis *waterline*.

Pada view Perspective, render dapat dilkukan untuk mengecek *fairness* lambung. Untuk melihat *fairness* lambung dapat dilakukan dengan mengubah setting render menjadi Gaussian Curvature. Klik pada menubar Display kemudian klik Render. Pada dialog Rendering Selection pilih Gaussian Curvature.

4.4. Reka Ulang Bangunan Atas

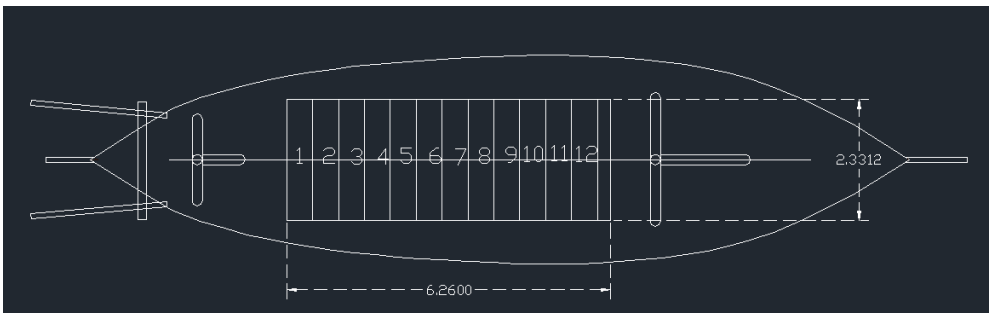
Pada sisa-sisa kapal yang ditemukan, tidak ditemukan adanya sisa-sisa dari bangunan atas kapal. Sehingga, bentuk bangunan atas kapal perlu direka ulang. Reka ulang bentuk bangunan atas didasarkan pada bentuk bangunan atas yang terdapat pada relief kapal di Candi Borobudur. Namun penafsiran terhadap relief candi perlu dilakukan dengan hati-hati karena relief tersebut merupakan gambar seni yang dapat digambarkan secara berlebihan. Penafsiran terhadap relief Candi Borobudur sudah dilakukan sebelumnya ketika rekonstruksi kapal Samodraraksa. Rekonstruksi dari kapal Samodraraksa dapat digunakan sebagai referensi dari bentuk kapal di masa itu.

Bangunan atas pada beberapa jenis kapal tradisional masa kini memiliki kemiripan dengan bentuk bangunan atas yang terdapat pada relief candi. Bangunan atas tersebut berupa rumah geladak memiliki bentuk seperti atap yang digunakan sebagai tempat istirahat bagi awak kapal. Dalam Bahasa Melayu disebut sebagai atap kurung. Bagian tersebut umum digunakan pada kapal tradisional Madura saat ini. Rumah geladak tersebut juga muncul dalam ilustrasi-

ilustrasi kapal yang dibuat oleh Bangsa Eropa ketika masa kolonial. Terdapat beberapa variasi material yang digunakan untuk bangunan atas tersebut. Pada kapal Madura dan Jawa atap dibuat dari papan kayu. Pada rekonstruksi kapal Padewakang bagian atap terbuat dari daun rumbia.

4.5. Penentuan Jumlah Awak Kapal

Jumlah awak kapal ditentukan dengan fungsi luas pada geladak. Diasumsikan bahwa awak kapal berada di di dalam rumah geladak. Rumah geladak tersebut dibagi ke dalam daerah-daerah kecil dengan lebar 0,5 m. Dimana satu orang akan menempati satu daerah yang dibagi tersebut dan tidak ada orang yang tidak mendapat tempat.

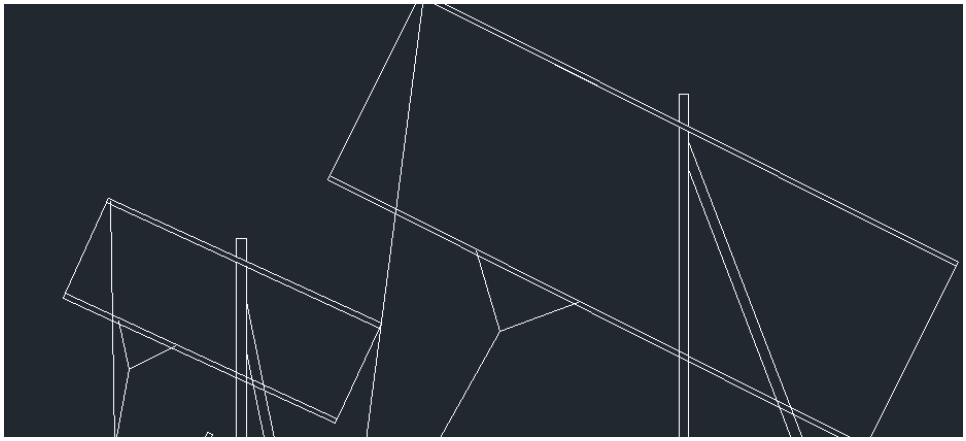


Gambar 4.5 Layout penempatan awak kapal di rumah geladak.

4.6. Rekonstruksi Jenis Layar

Jenis layar yang digunakan pada reka ulang kapal menggunakan jenis layar yang umum digunakan di Kepulauan Nusantara pada masa itu. Pada umumnya jenis layar tradisional yang digunakan di Nusantara terdiri dari dua jenis layar yaitu layar segitiga dan layar persegi panjang. Layar segitiga umum digunakan di Nusantara hingga ke kepulauan di Samudera Pasifik. Layar segitiga masih digunakan hingga saat ini di Madura. Jenis layar persegi panjang atau yang disebut sebagai layar tanja banyak digunakan di Nusantara dan Samudera Hindia.

Pada reka ulang Kapal Punjulharjo, digunakan layar tanja. Material pembuatan layar tanja mengikuti material layar yang digunakan pada masa lalu yaitu anyaman daun pandan duri (*Pandanus tectorius).* Pada layar tanja terdapat beberapa konfigurasi layar yang dikenal yaitu penggunaan tiang tunggal dan banyak tiang. Tiang tunggal banyak digunakan pada kapal berukuran kecil yang memiliki layar yang ukurannya kecil. Untuk kapal besar digunakan dua tiang dengan satu layar pada masing-masing tiang. Pertimbangan dari penggunaan satu layar atau dua layar adalah kemudahan dalam mengendalikan layar. Satu layar berukuran besar akan lebih sulit dikendalikan dibandingkan dengan dua layar yang ukurannya lebih kecil.



Gambar 4.6 Rekonstruksi layar dan tiang layar pada kapal Punjulharjo.

4.7. Rekonstruksi Jenis Kemudi

Jenis kemudi yang digunakan pada reka ulang kapal menggunakan jenis kemudi yang umum digunakan di Kepulauan Nusantara. Kapal tradisional di Kepulauan Nusantara hingga saat ini menggunakan kemudi samping (*quarter rudder*). Pada perahu yang berukuran kecil seperti perahu mayang, digunakan kemudi samping yang jumlahnya satu. Untuk kapal yang lebih besar seperti pinisi menggunakan kemudi samping berjumlah dua di masing-masing sisi kiri dan kanan kapal. Pada rekonstruksi kapal Borobudur digunakan dua buah kemudi. Pada reka ulang kapal Punjulharjo ini digunakan dua buah kemudi. Ukuran kemudi mengikuti proporsi ukuran kemudi yang masih digunakan saat ini pada perahu janggolan Madura yaitu panjang kemudi 1/3 dari panjang kapal. Panjang lunas kapal pada kapal Punjulharjo sepanjang 15,5m. Sehingga kemudi kapal ini diperkirakan masing-masing memiliki panjang 5,1meter.

Gambar 4.7 Rekonstruksi jenis kemudi pada kapal Punjulharjo

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5
ANALISIS TEKNIS

5.1. Perhitungan Berat Kapal

Perhitungan berat kapal dibagi menjadi dua bagian yaitu perhitungan berat kosong kapal (*lightweight*) dan perhitungan berat mati kapal (*deadweight*). Berat kosong kapal terdiri dari berat lambung kapal dan konstruksi ditambah dengan berat perlengkapan kapal. Berat mati kapal terdiri dari berat muatan dan perbekalan.

5.1.1. Perhitungan Berat Kosong

.Perhitungan berat kosong kapal dibagi menjadi perhitungan berat kulit, perhitungan berat konstruksi, perhitungan berat geladak, dan perhitungan berat perlengkapan kapal. Berat kulit kapal didapat dari luas permukaan kulit kapal. Luas permukaan kulit kapal diperoleh dengan menggunakan perangkat lunak Maxsurf Modeler. Pada Maxsurf Modeler, besar sarat kapal diganti menjadi tinggi kapal yaitu 1,8 meter. Kemudian luas permukaan kulit didapat dari WSA (*wetted surface area*) pada pada jendela Calculate Hydrostatics.

Tabel 5.1 Perhitungan berat kulit lambung kapal.

No	Item	Value	Unit
1	**Berat Lambung (hull) Kapal**		
	Dari software Maxsurf & Autocad, didapatkan luasan permukaan		
	Luas lambung		mm^2
		95.611	m^2
	Total luasan lambung kapal	95.611	m^2
	Tebal papan lambung	70	mm
		0.07	m
	Volume shell = luas x tebal	6.693	m^3
	r kayu nyatoh (0.61-0.91)	0.91	gr/cm^3
		910	kg/m^3
	Berat Total	6090.421	kg
		6.090	**ton**

Pada Tabel 5.1. di atas adalah perhitungan dari berat kulit lambung kapal. Luas lambung diperoleh dari WSA di Maxsurf untuk sarat setinggi kapal. Untuk mendapatkan volume kulit, luas lambung dikalikan dengan tebal papan yaitu 7 cm. Volume kulit kemudian dikalikan dengan berat jenis kayu nyatoh untuk mendapatkan berat kulit. Berat jenis kayu nyatoh memiliki besar dari 0,61 gr/cm^3 hingga 0,91 gr/cm^3. Diasumsikan kayu berada pada kondisi paling berat karena menyerap air sehingga untuk perhitungan ini digunakan berat jenis kayu 0,91 gr/cm^3.

Perhitungan berat konstruksi dilakukan pada bagian konstruksi seperti gading dan senta. Pada gading, luas penampang gading dikalikan dengan panjang gading untuk mendapatkan volume gading. Volume gading kemudian dikalikan dengan berat jenis kayu kulim untuk mendapatkan berat satu gading. Cara yang sama dilakukan pada perhitungan berat senta.

Tabel 5.2 Perhitungan berat gading 1 hingga gading 5

Item	Jumlah	Panjang (mm) / Luas (mm^2)	Profil /tebal (mm)			Volume (m3)	W (ton)
Gading 1	2	1468	80 X 100	80	100	0.023	0.018
Gading 2	2	1796	80 X 100	80	100	0.029	0.022
Gading 3	2	1958	80 X 100	80	100	0.031	0.024
Gading 4	2	2078	80 X 100	80	100	0.033	0.026
Gading 5	2	2200	80 X 100	80	100	0.035	0.027

Tabel 5.2. di atas menunjukkan perhitungan berat masing-masing gading dari gading 1 hingga gading 5. Tiap gading memiliki penampang yang sama yaitu 80 mm X 100 mm. Luas penampang dikalikan dengan panjang gading kemudian dikalikan dengan berat jenis kayu kulim sebesar 0,77 ton/m^3.

5.1.2. Perhitungan Berat Mati

Berat mati pada reka ulang Kapal Punjulharjo terdiri dari berat muatan, berat perbekalan makanan dan air, berat kayu bakar, awak kapal dan barang bawaan awak kapal. Sebelum menghitung msing-masing komponen berat mati kapal, ditentukan terlebih dahulu besar displasemen kapal pada sarat yang ditentukan dengan menggunakan fitur Calculate Hydrostatics. Besar displasemen kemudian dikurangi dengan berat kosong kapal untuk mendapatkan berat mati.

Berat perbekalan dihitung sesuai dengan banyaknya orang di kapal dikalikan dengan waktu tempuh pelayaran di setiap pelabuhan yang dilewati. Berat kayu bakar diperoleh dari

perkiraan penggunaan kayu bakar selama berlayar. Berat mati kapal kemudian dikurangi dengan berat perbekalan, berat orang dan berat kayu bakar untuk mendapatkan berat kargo.

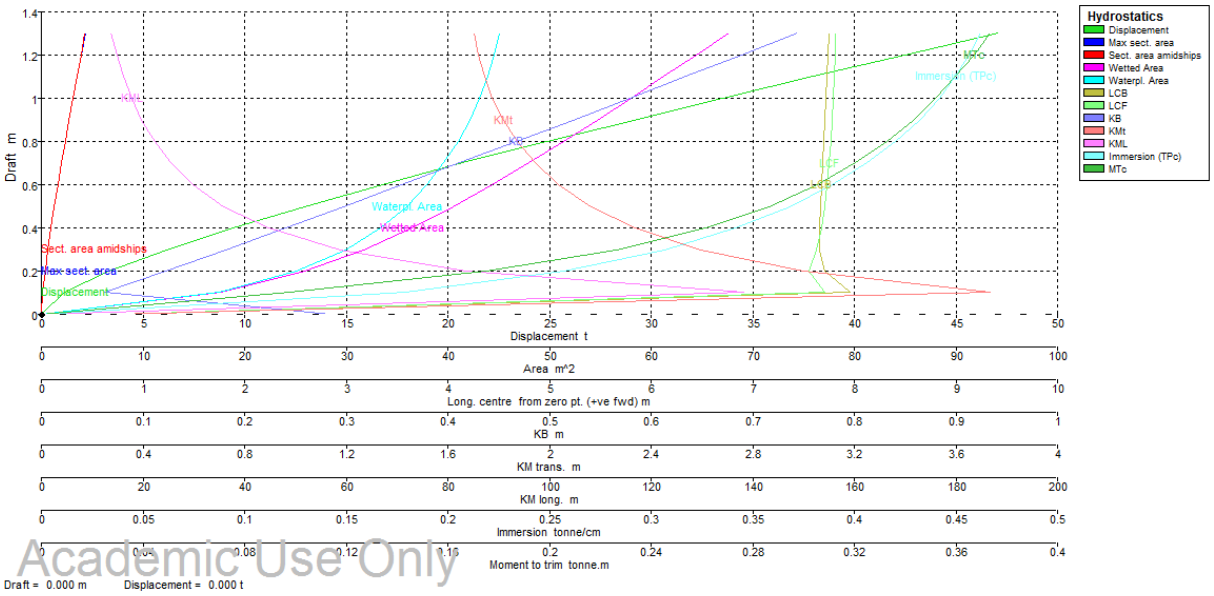
Tabel 5.3 Perhitungan DWT.

Perhitungan Berat DWT		
Displasemen Kapal =	47.1	ton
LWT kapal =	10.31	ton
DWT =	36.79	ton

Perhitungan Berat Awak Kapal		
Jumlah awak kapal =	12	orang
Berat awak kapal =	75	kg/orang
Total berat awak kapal =	0.9	ton
Berrat bawaan	10	kg/orang
Total berat bawaan	0.12	ton
Berat awak dan bawaan	1.02	ton

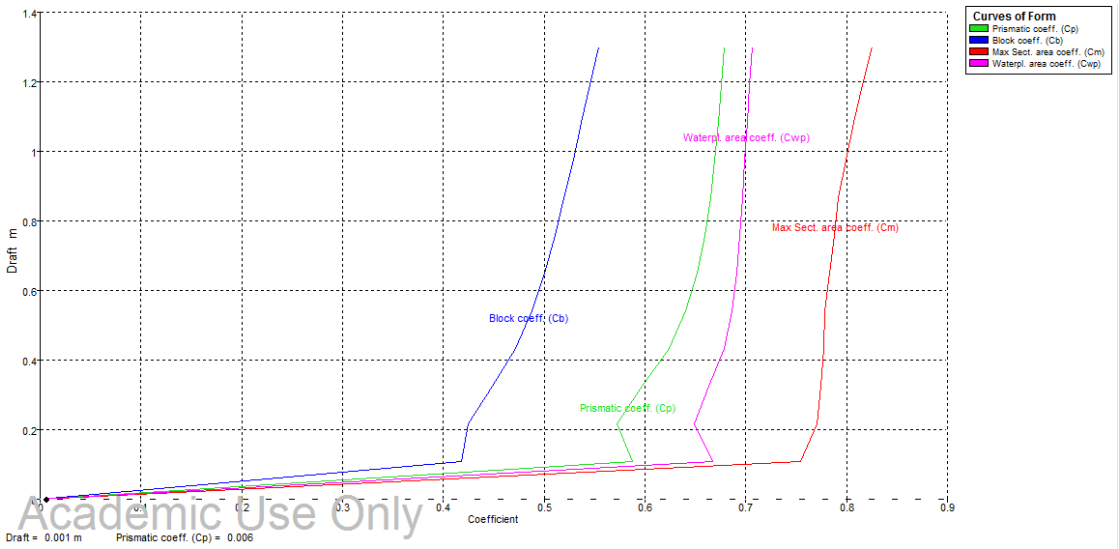
5.2. Perhitungan Hidrostatik

Perhitungan hidrostatik dilakukan dengan menggunakan Maxsurf Stability. Pada perhitungan ini diperlukan sarat kapal. Besar sarat diatur dengan dialog Draft Range. Untuk initial draft amidship diisi 0, dan final draft diisi dengan sarat kapal yaitu 1,3 m, draft increment diisi 0,1.



Gambar 5.1. Kurva Hidrostatik Kapal Punjulharjo

Gambar 5.1. menunjukkan grafik kurva hidrostatik dari Kapal Punjulharjo dari sarat 0 m hingga sarat 1,3 m. Pada kurva LCB dan LCF terlihat bahwa letak titik LCB dan LCF kapal tidak terletak pada midship, tetapi letaknya agak ke depan. Hal ini disebabkan oleh bentuk lambung kapal yang lebih runcing di bagian buritan.

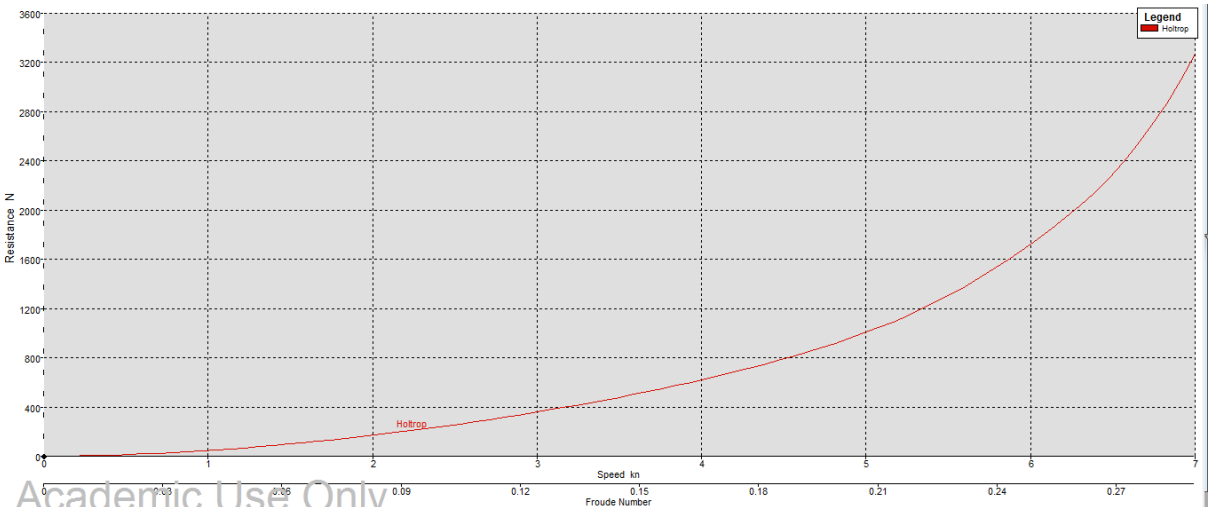


Gambar 5.2. Kurva koefisien bentuk kapal.

Gambar 5.2. menunjukkan grafik koefisien bentuk kapal yang meliputi koefisien blok (C_B), koefisien prismatik (C_P), koefisien luas bidang air (C_{WP}), dan koefisien midship (C_M). Koefisien prismatik (C_P) untuk sarat 1,3 meter memiliki nilai 0,678. Besar koefisien blok (C_B) untuk sarat 1,3 meter adalah 0,554. Koefisien midship (C_M) untuk sarat 1,3 meter memiliki nilai 0,825. Koefisien luas bidang air pada sarat 1,3 meter memiliki nilai 0,707.

5.3. Perhitungan Hambatan

Perhitungan hambatan dilakukan dengan menggunakan Maxsurf Resistance. Metode yang digunakan dalam perhitungan hambatan dengan metode Holtrop. Kecepatan kapal diisi pada minimum 0 dan maksimum 7 knot.



Gambar 5.3. Grafik hambatan Kapal Punjulharjo.

Gambar 5.3 diatas menunjukkan grafik besar hambatan kapal. pada kecepatan di atas 6 knot, besar hambatan mengalami kenaikan yang tajam. Pada kecepatan 6 knot hambatan kapal sebesar 1675,81 Newton, sedangkan pada kecepatan 7 knot hambatan kapal sebesar 3269,33 Newton.

5.4. Perhitungan Gaya Dorong Layar

Perhitungan gaya dorong layar dilakukan dengan menggunakan prinsip Bernoulli. Perhitungan ini dilakukan dengan angin yang buritan.

Untuk angin dari belakang digunakan koefisien gaya dorong sebesar:

$$C_D = \frac{4}{3} \quad (5.1)$$

Layar depan memiliki ukuran panjang 12 m dan lebar 4 m. Luas permukaan layar depan sebesar 48m^2. Sedangkan pada layar belakang, ukuran panjang 6m dan lebar 2m. Luas permukaan layar belakang sebesar 12m^2. Dengan kecepatan angin sebesar 12 knot atau 6,172 m/s dan massa jenis udara sebesar 1,225 kg/m^3.

Besar gaya dorong layar depan yaitu:

$$F = \frac{C_D}{2} \rho A v^2 \quad (5.2)$$

$$F = \frac{1{,}333}{2} \times 1{,}225 \times 48 \times 6{,}172^2 \quad (5.3)$$

$$F = 1493{,}675\ N \quad (5.4)$$

Perhitungan yang sama dilakukan layar belakang dan menghasilkan gaya dorong layar belakang sebesar 373,4187 N. Besar gaya dorong layar depan kemudian dijumlahkan dengan layar belakang sehingga mendapatkan gaya dorong total sebesar 1867,093 N. Berdasarkan hasil perhitungan hambatan, kapal akan bergerak dengan kecepatan sekitar 6 knot pada angin kecepatan 12 knot dari buritan.

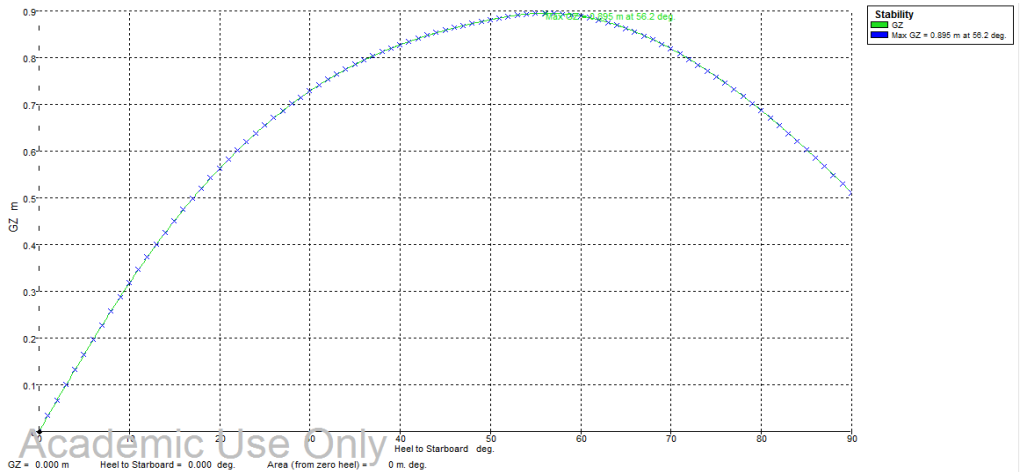
5.5. Perhitungan Stabilitas

Perhitungan stabilitas dari Kapal Punjulharjo dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Maxsurf Stability. Perhitungan ini dilakukan pada tiga kondisi Loadcase. Loadcase pertama kapal dalam keadaan kosong. Pada Loadcase kedua kapal dalam keadaan muatan setengah penuh. Pada Loadcase ketiga, kapal dalam keadaan penuh.

Tabel 5.4 Pengisian Loadcase kapal kosong

	Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m^3	Total Volume m^3	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
1	Lightship	1	6.000	6.000			8.000	0.000	0.700	0.000	User Specifi
2	Total Loadca			6.000	0.000	0.000	8.000	0.000	0.700	0.000	
3	FS correction								0.000		
4	VCG fluid								0.700		

Gambar 5.4 di atas menunjukkan pengisian Loadcase 1 yaitu kondisi kapal kosong tanpa muatan. Berat yang digunakan adalah berat Lightship yang telah dihitung di perhitungan LWT. Pada kolom longitudinal arm diisi letak titik berat secara memanjang kapal. Pada kolom transversal arm diisi titik berat secara melintang kapal. Tinggi titik berat diisi pada kolom vertical arm. Dalam keadaan kosong displasemen kapal sebesar 10,31 ton dan tinggi titik berat 1,127 meter.Untuk perhitungan stabilitas perlu diisi heel angle, untuk menentukan rentang dari sudut oleng kapal. Pada kapal ini, heel angle diisi mulai dari 0 deg hingga 90 deg. Pada bagian analysis diganti ke Large Angle Stability.



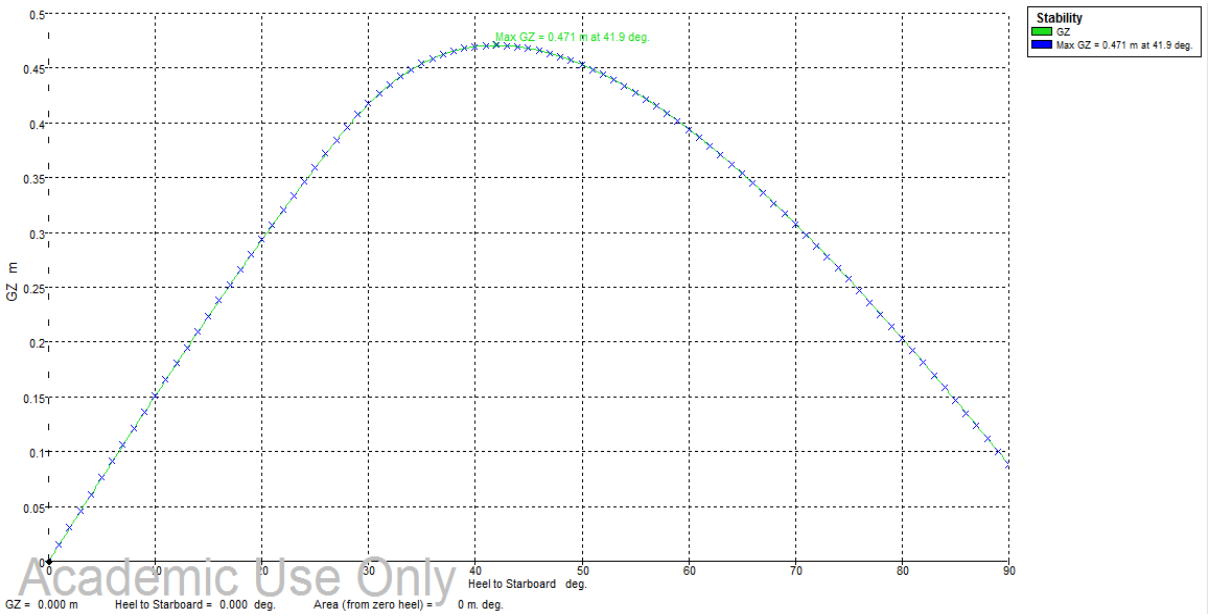
Gambar 5.4. Kurva GZ untuk kapal dalam keadaan kosong.

Gambar 5.4 di atas menunjukkan kurva GZ untuk kapal dalam keadaan kosong. Lengan GZ untuk kapal dlam kondisi kosong sebesar 0,895 meter pada sudut oleng $56,2^0$.

Pada Loadcase kedua kapal dalam kondisi muatan setengah penuh. Pada kondisi ini muatan kargo kapal diisi 16,295 ton. Awak kapal 1,02 ton, air 0,672 ton, kayu bakar 0,1 ton dan makanan 0,084 ton. Pada kondisi ini kapal memiliki berat total 28,481 ton.

Tabel 5.5 Loadcase pada kapal dengan muatan setengah penuh

	Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m^3	Total Volume m^3	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
1	Lightship	1	10.310	10.310			7.600	0.000	1.127	0.000	User Specifi
2	Muatan	1	16.295	16.295			8.000	0.000	0.900	0.000	User Specifi
3	Crew	1	1.020	1.020			8.000	0.000	0.500	0.000	User Specifi
4	Air	1	0.672	0.672			11.377	0.000	0.500	0.000	User Specifi
5	Kayu Bakar	1	0.100	0.100			10.513	0.000	0.500	0.000	User Specifi
6	Makanan	1	0.084	0.084			9.608	0.000	0.500	0.000	User Specifi
7	**Total Loadca**			**28.481**	**0.000**	**0.000**	**7.948**	**0.000**	**0.956**	**0.000**	
8	**FS correction**								**0.000**		
9	**VCG fluid**								**0.956**		



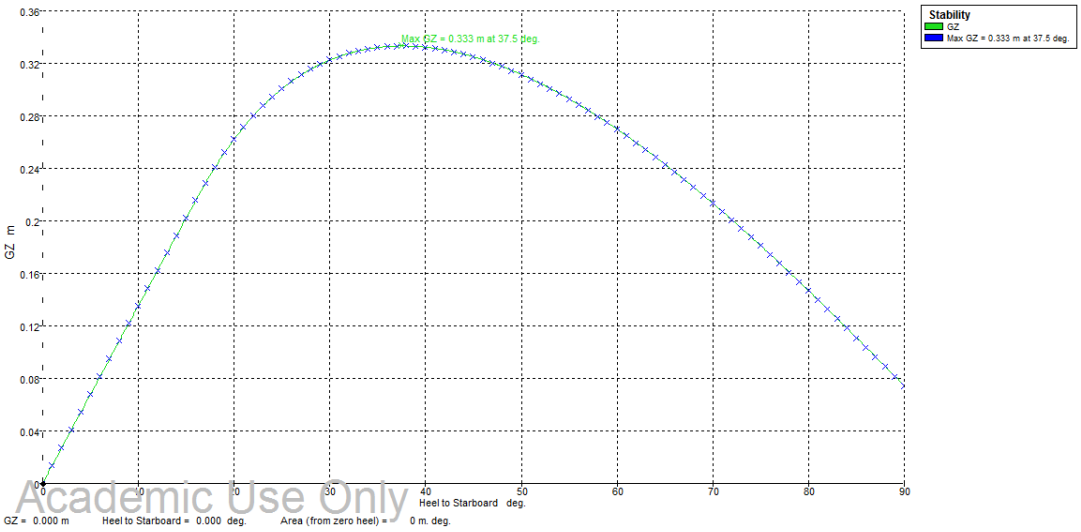
Gambar 5.5 Kurva GZ untuk kapal dengan muatan setengah penuh.

Pada muatan setengah penuh, kapal memiliki lengan GZ maksimum sebesar 0,471 m pada sudut oleng $41,9^0$. Sarat kapal di haluan sebesar 0,981 m dan sarat di buritan 0,789 m.

Tabel 5.6 Pengisian Loadcase untuk kapal muatan penuh

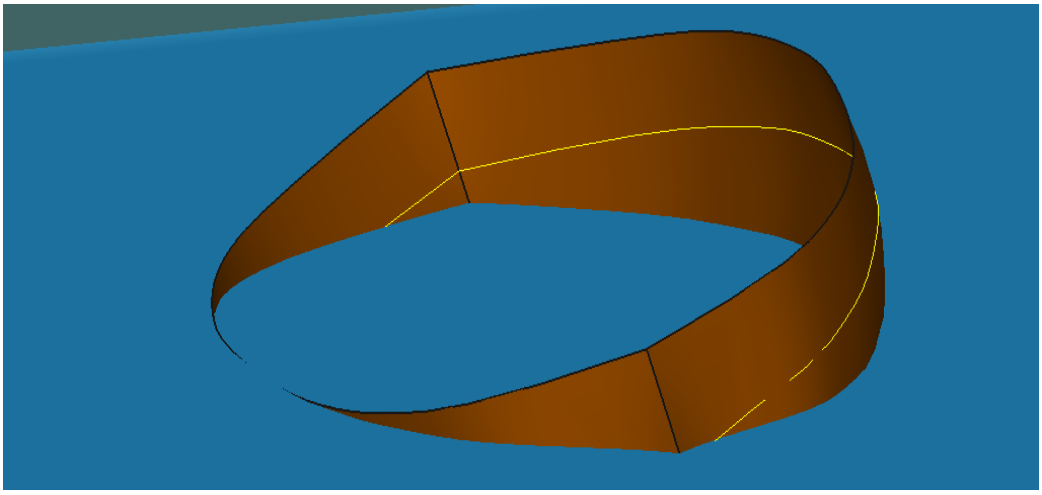
	Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m^3	Total Volume m^3	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
1	Lightship	1	10.310	10.310			7.600	0.000	1.127	0.000	User Specifi
2	Muatan	1	32.590	32.590			8.000	0.000	0.900	0.000	User Specifi
3	Crew	1	1.020	1.020			8.000	0.000	0.500	0.000	User Specifi
4	Air	1	0.672	0.672			11.377	0.000	0.500	0.000	User Specifi
5	Kayu Bakar	1	0.100	0.100			10.513	0.000	0.500	0.000	User Specifi
6	Makanan	1	0.084	0.084			9.608	0.000	0.500	0.000	User Specifi
7	**Total Loadca**			**44.776**	**0.000**	**0.000**	**7.967**	**0.000**	**0.936**	**0.000**	
8	**FS correction**								**0.000**		
9	**VCG fluid**								**0.936**		

Pada Loadcase ketiga kapal dalam kondisi muatan penuh. Pada kondisi tersebut kapal memiliki sarat sebesar 1,3 meter, displasemen kapal sebesar 47,10 ton dengan tinggi titik berat 0,934 meter.



Gambar 5.6. Kurva GZ untuk kapal dalam kondisi muatan penuh.

Gambar 5.6 menunjukkan kurva GZ untuk kapal dengan muatan penuh. Besar lengan GZ maksimum sebesar 0,333 meter pada sudut oleng $37,5^0$. Pada sudut oleng 14^0 terjadi *deck immersion* yaitu ketika salah satu sisi kapal terendam dan air naik di geladak ketika oleng. Pada kurva GZ *deck immersion* ditandai dengan bentuk kurva yang cekung di sudut oleng 14^0. Reka ulang Kapal Punjulharjo tidak memiliki geladak kedap, apabila kapal oleng sampai salah satu sisi kapal terendam air dapat masuk ke dalam kapal.



Gambar 5.7 Sisi kapal yang terendam pada sudut 14^0.

BAB 6
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Setelah dilakukan penelitian maka kesimpulan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Hasil reka ulang Kapal Punjulharjo memiliki ukuran utama:

   LOA: 17,74 meter

   B: 4,04 meter

   H: 1,8 meter

   T: 1,3 meter

   Reka ulang kapal Punjulharjo menghasilkan kapal dengan dua tiang layar dengan layar tanja. Kapal memiliki dua buah kemudi samping di sisi kiri dan kanan kapal. Bangunan atas kapal berupa rumah geladak berbentuk atap.

2. Reka ulang Kapal Punjulharjo memiliki berat kosong 10,31 ton. Kapal membawa 12 orang awak dan muatan seberat 34,92 ton. Pada sarat 1,3 meter kapal memiliki displasemen sebesar 47,1 ton. Kapal memiliki kecepatan 6 knot pada angin 12 knot dari buritan. Dalam kondisi muatan kosong, kapal memiliki lengan GZ maksimum 0,895 meter pada sudut oleng $56,2^0$. Pada kondisi muatan setengah penuh lengan GZ maksimum sebesar 0,471 m pada sudut oleng $41,9^0$. Pada kondisi muatan penuh, besar lengan GZ maksimum sebesar 0,333 pada sudut oleng $37,5^0$.

6.2. Saran

Berikut ini adalah beberapa saran yang dapat digunakan untuk penelitian berikutnya:

1. Perhitungan yang dilakukan pada tugas akhir ini tidak memperhitungkan kekuatan kapal, untuk penelitian berikutnya dapat dilakukan perhitungan kekuatan kapal.
2. Layar hasil reka ulang perlu dilakukan analisis layar yang lebih mendalam untuk mengetahui karakteristik layar yang digunakan.

`

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

Beale, P., 2006. From Indonesia to Africa: Borobudur Ship Expedition. ZIFF Journal Sails of History Citizens of the Sea.

Biran, A., 2013. Ships Hydrostatics and Stability (Second Edition). Butterworth-Heinemann.

Burningham, N., 2005. Borobudur ship - Design Outline [WWW Document]. URL https://web.archive.org/web/20030417185021/http://www.borobudurshipexpedition.com/design-outline.htm (accessed 2.12.20).

Denny, M., 2009. Float Your Boat The Evolution and Science of Sailing. The Johns Hopkins University Press, Baltimore.

Gunawan, G.A., Shibata, K., 1986. Comparative Studies on Indigenous Fishing Crafts in Various Fishing Villages Around Java. Bulletin of the Faculty of Fisheries Nagasaki 59.

Horridge, A., 2015. Perahu Layar Tradisional Nusantara. Penerbit Ombak Dua, Yogyakarta.

Horridge, G.A., 1982. The Lashed-Lug Boat of the Eastern Archipelagoes (No. 54–1982), Maritime Monographs and Reports. National Maritime Museum, Greenwich, London.

Husein, S., 2016. Fieldtrip Geologi Cekungan Jawa Timur Utara. Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik UGM, Yogyakarta.

Liebner, H.H., 2016. Beberapa Catatan akan Sejarah Pembuatan Perahu dan Pelayaran Nusantara.

Liebner, H.H., 2014. The Siren of Cirebon A Tenth-Century Trading Vessel Lost in the Java Sea. University of Leeds.

Manguin, P.Y., 2016. Austronesian Shipping in the Indian Ocean: From Outrigger Boats to Trading Ships. Early Exchange between Africa and the Wider Indian Ocean World 61.

Manguin, P.Y., 1993. Trading Ships of the South China Sea. Shipbuilding Techniques and Their Role in the History of the Development of Asian Trade Networks. Journal of the Economic and Social History of the Orient 36, 253–280.

Marchaj, C.A., 1982. Sailing Theory and Practice. New York, United States.

Mochtar, A.S., 2018. The Seventh-Century Punjulharjo Boat from Indonesia: A study of the early Southeast Asian lashed-lug boatbuilding tradition. Flinders University, South Australia.

Molland, A.F., Hudson, D.A., Stephen R. Turnock, 2017. Ship Resistance and Propulsion Practical Estimation of Ship Propulsive Power. Cambridge University Press.

Rawson, K.J., Tupper, E.C., 2001. Basic Ship Theory. Butterworth-Heinemann, Oxford.

Sungkowo, A., Wirasanti, N., 2019. Semiotics Analysis of the Landscape Reconstruction of Medang Kamulan Ancient Sites Grobogan - Central Java. Advances in Social Science, Education and Humanities Research 338.

Wangania, J., 1981. Jenis-Jenis Perahu di Pantai Utara Jawa-Madura. Proyek Media Kebudayaan Direktorat Jenderal Kebudayaan Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.

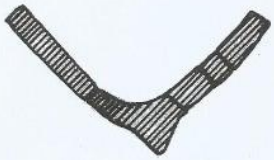
LAMPIRAN

Lampiran A Penggambaran Kapal oleh Balai Arkeologi Yogyakarta
Lampiran B Pengukuran Jarak Gading dan Lunas
Lampiran C Pengukuran Gading
Lampiran D Perhitungan Berat
Lampiran E Perhitungan Hidrostatik
Lampiran F Perhitungan Stabilitas
Lampiran G Gambar *Lines Plan*
Lampiran H Gambar *General Arrangement*
Lampiran I Gambar 3D Kapal

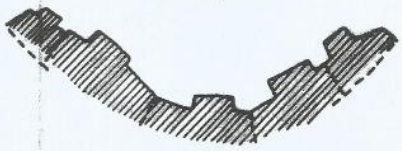
LAMPIRAN A

PENGGAMBARAN KAPAL OLEH BALAI ARKEOLOGI YOGYAKARTA

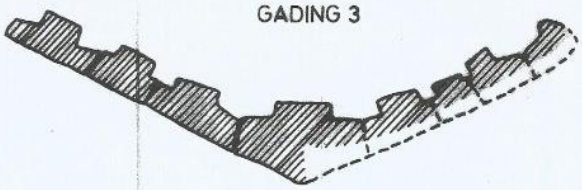
GADING 1



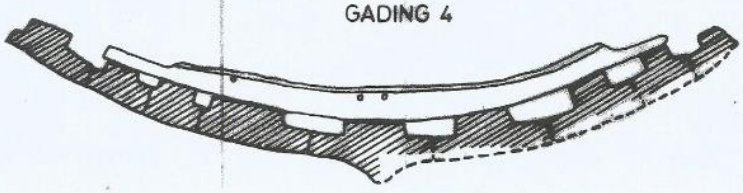
GADING 2

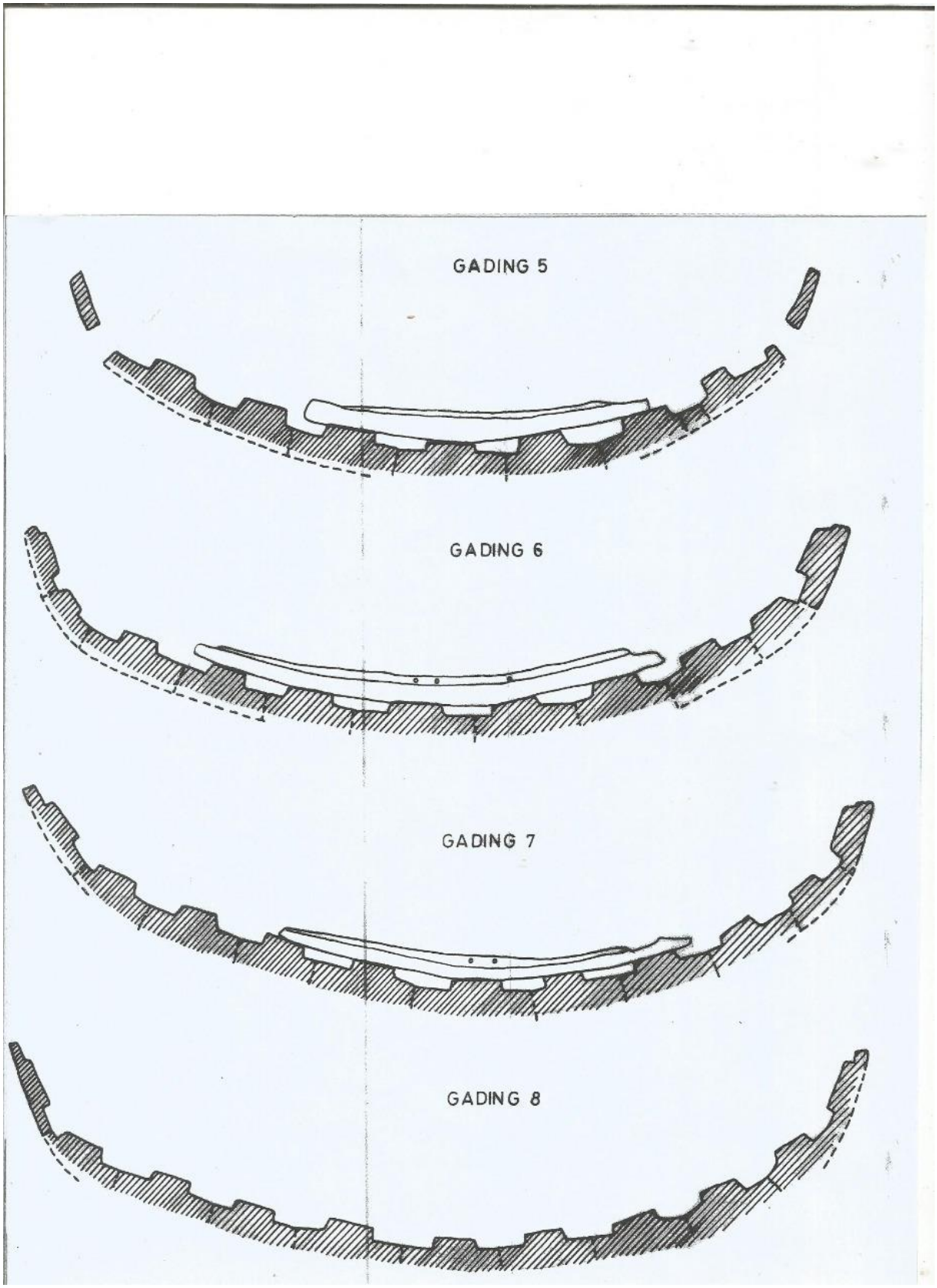


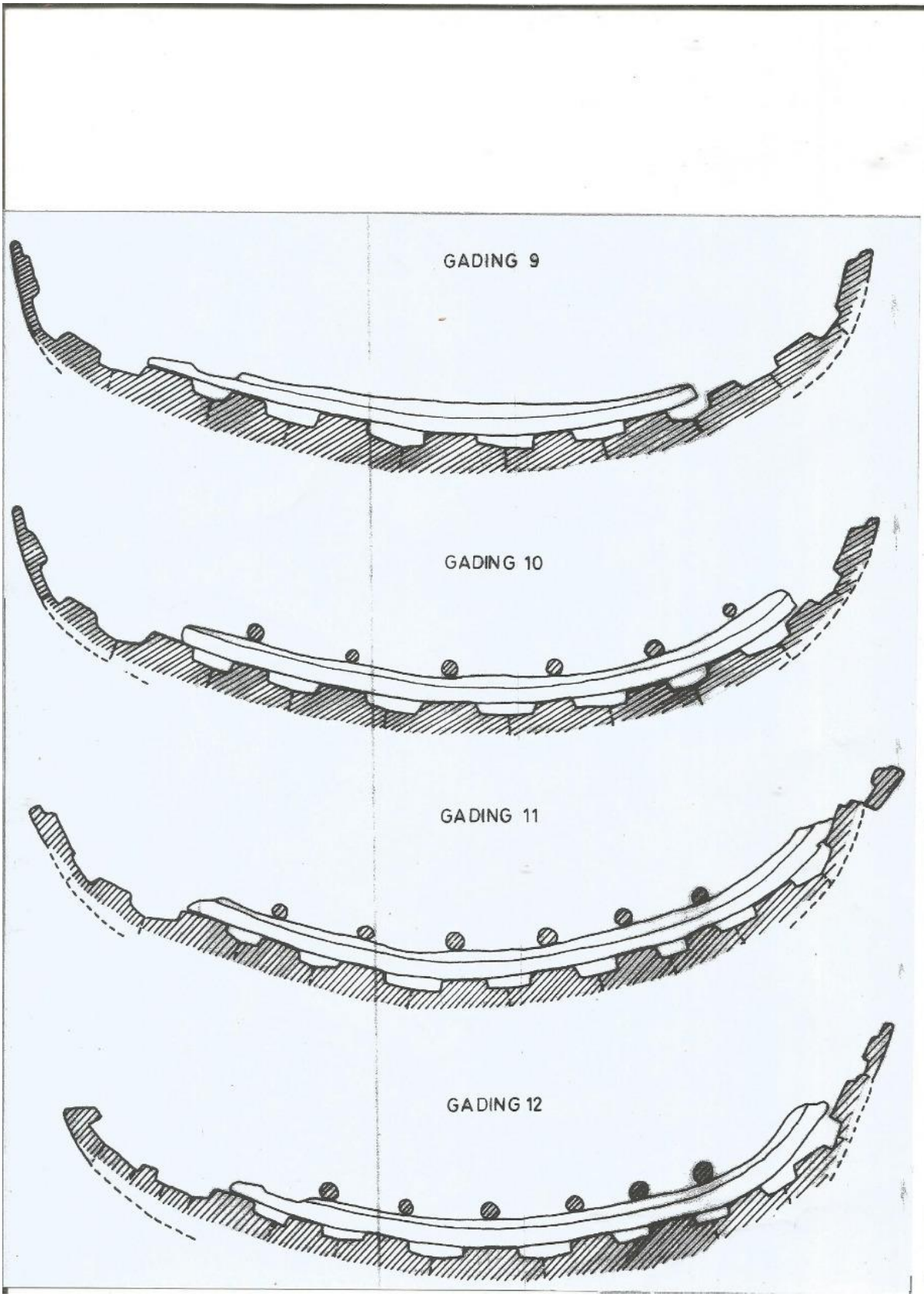
GADING 3



GADING 4

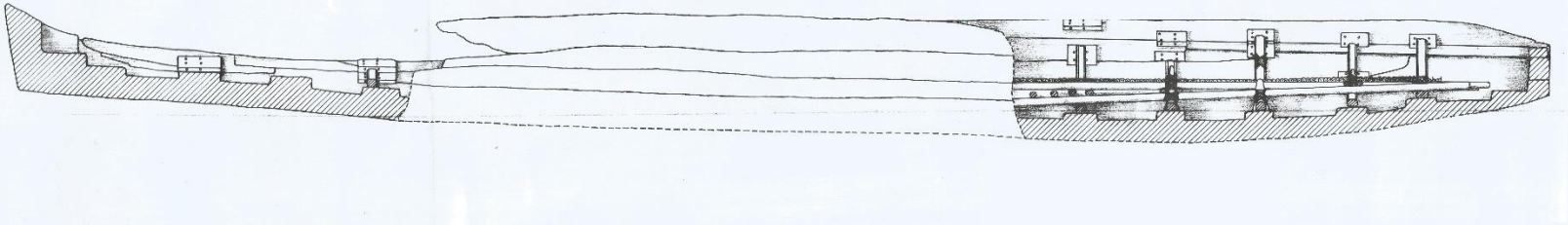



GADING 5
GADING 6
GADING 7
GADING 8


GADING 9
GADING 10
GADING 11
GADING 12

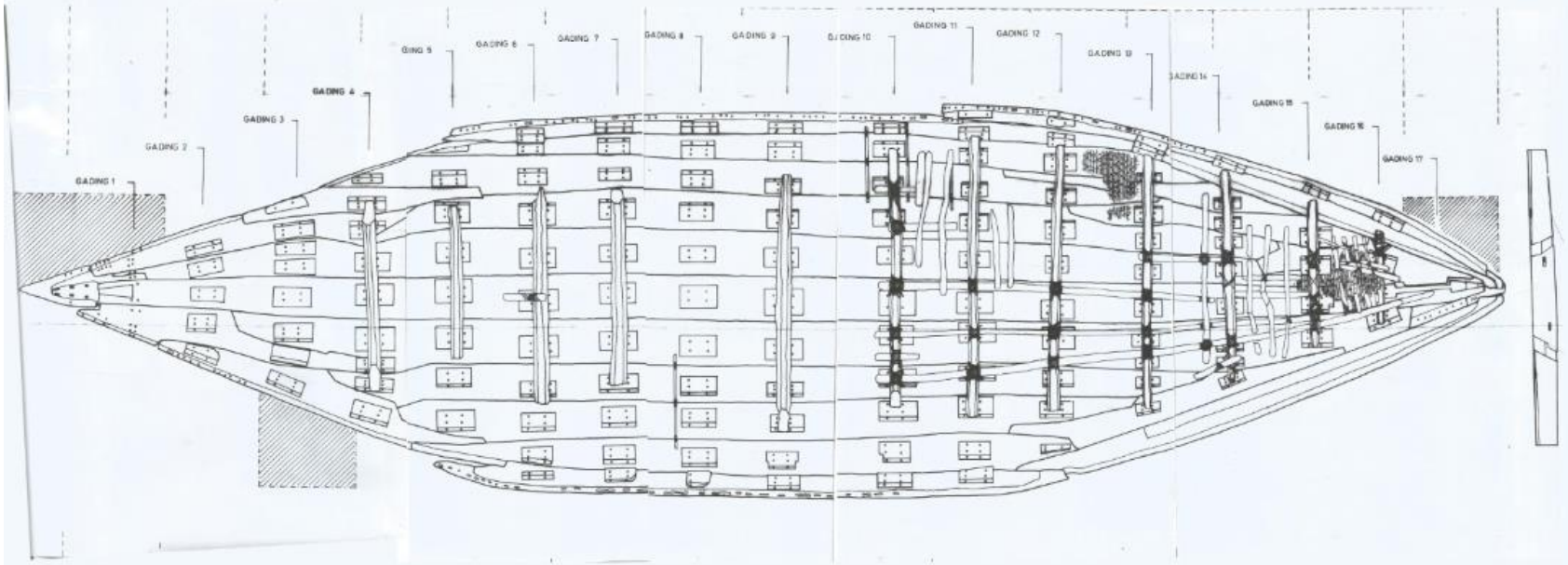
KAPAL REMBANG 2009

0 1m



KAPAL REMBANG 2009

0 1m



LAMPIRAN B

PENGUKURAN JARAK GADING DAN LUNAS

Pengukuran Jarak Gading

No	Letak	Jarak (cm)	Akumulasi Jarak (cm)
1	Linggi Barat-G01	197	
2	G01-G02	87	284
3	G02-G03	86	370
4	G03-G04	86	456
5	G04-G05	86	542
6	G05-G06	86	628
7	G06-G07	86	714
8	G07-G08	86	800
9	G08-G09	110	910
10	G09-G10	86	996
11	G10-G11	86	1082
12	G11-G12	89	1171
13	G12-G13	86	1257
14	G13-G14	89	1346
15	G14-G15	86	1432
16	G15 - Linggi Timur	136	1568

Pengukuran Lebar Lunas

No	Letak	Lebar (cm)
1	Linggi Barat	7
2	G01	39
3	G02	45
4	G03	49
5	G04	51
6	G05	54
7	G06	55
8	G07	55
9	G08	54
10	G09	53
11	G10	52
12	G11	50
13	G12	46
14	G13	42
15	G14	36
16	G15	25
17	Linggi Timur	6

Pengukuran Tinggi Lunas

No	Letak	Sisi Atas (cm)	Sisi Bawah (cm)
1	Linggi Barat		
2	G01	37	19
3	G02	33	16
4	G03	29	16
5	G04	28	16
6	G05	27	16
7	G06	26	14
8	G07	26	15
9	G08	24	15
10	G09	26	14
11	G10	26	14
12	G11	26	14
13	G12	27	14
14	G13	28	15
15	G14	35	20
16	G15	42	26
17	Linggi Timur		

LAMPIRAN C

PENGUKURAN GADING

Pengukuran Gading 1 Sisi Utara

NO.	Letak	Sudut	Jarak
1	K2	49.5	1.27
2	K1	44.5	1.40
3	P1	37.5	1.47
4	P1	32.7	1.52
5	P2	29.0	1.54
6	P2	24.0	1.59

Pengukuran Gading 2 Sisi Utara

NO.	Letak	Sudut	Jarak
1	K2	39.9	1.57
2	K1	35.8	1.73
3	P1	31.6	1.84
4	P1	28.4	1.95
5	P2	26.3	2.60
6	P2	22.0	2.08
7	P3	19.7	2.16
8	P3	18.3	2.20
9	P4	15.5	2.28

Pengukuran Gading 3 Sisi Utara

NO.	Letak	Sudut	Jarak
1	K2	36.3	1.76
2	K1	32.1	1.95
3	P1	28.2	2.11
4	P1	24.9	2.27
5	P2	21,8	2.39
6	P2	18.5	2.50
7	P3	17.4	2.55
8	P3	15.2	2.61
9	P4	14.3	2.66
10	P4	11.5	2.76

Pengukuran Gading 4 Sisi Utara

NO.	Letak	Sudut	Jarak
1	K2	30.4	2.11
2	K1	27.4	2.31
3	P1	24.4	2.50
4	P1	21.9	2.65
5	P2	18.1	2.83
6	P2	15.8	2.97
7	P3	14.5	3.02
8	P3	12.0	3.14
9	P4	10.5	3,23
10	P4	9.0	2.29
11	P5	5.6	3.36
12	P5	3.7	3.38
13	P6	1.1	3.44

Pengukuran Gading 5 Sisi Utara

NO.	Letak	Sudut	Jarak
1	K2	29.0	2.23
2	K1	26.0	2.45
3	P1	23.4	2.62
4	P1	21.2	2.79
5	P2	17.7	2.98
6	P2	15.6	3.11
7	P3	13.6	3.28
8	P3	10.8	3.39
9	P4	8.6	3.48
10	P4	7.4	3.54
11	P5	4.5	3.60
12	P5	1.2	3.61

Pengukuran Gading 6 Sisi Utara

NO.	Letak	Sudut	Jarak
1	K2	28.5	2.26
2	K1	25.4	2.50
3	P1	22.9	2.66
4	P1	20.5	2.82
5	P2	18.1	3.00
6	P2	15.8	3.14
7	P3	13.4	3.29
8	P3	11.1	3.44
9	P4	9.0	3.52
10	P4	7.0	3.62
11	P5	4.2	3.67
12	P5	1.8	3.69

Pengukuran Gading 7 Sisi Utara

NO.	Letak	Sudut	Jarak
1	K2	26.7	2.40
2	K1	24.2	2.63
3	P1	21.8	2.79
4	P1	19.7	2.97
5	P2	17.2	3.14
6	P2	15.4	3.28
7	P3	13.0	3.45
8	P3	10.8	3.57
9	P4	8.7	3.68
10	P4	6.9	3.76
11	P5	4.2	3.81
12	P5	1.6	3.84

Pengukuran Gading 8 Sisi Utara

NO.	Letak	Sudut	Jarak (m)
1	K2	25.3	2.49
2	K1	23.3	2.71
3	P1	21.0	2.91
4	P1	19.5	3.05
5	P2	17.0	3.25
6	P2	15.4	3,37
7	P3	13.0	3.51
8	P3	11.0	3.64
9	P4	9.0	3,74
10	P4	7.7	3.81
11	P5	6.5	3.88
12	P5	1.6	3.93

Pengukuran Gading 9 Sisi Utara

NO.	Letak	Sudut	Jarak M
1	K2	26.0	2.45
2	K1	23.8	2.66
3	P1	21.9	2.86
4	P1	20.3	3.01
5	P2	17.8	3.21
6	P2	16.3	3.33
7	P3	13.8	3.45
8	P3	11.4	3.58
9	P4	9.7	3.69
10	P4	7.7	3.78
11	P5	4.5	3.83
12	P5	2.2	3.86

Pengukuran Gading 10 Sisi Utara

NO.	Letak	Sudut	Jarak
1	K2	26.7	2.46
2	K1	24.8	2.58
3	P1	22.5	2.79
4	P1	21.0	2.92
5	P2	18.4	3.1
6	P2	16.5	3.23
7	P3	14.5	3.35
8	P3	12.1	3.47
9	P4	10.3	3.56
10	P4	8.4	3.66
11	P5	5.5	3.71
12	P5	3.4	3.74
13	P6	2.8	3.75
14	P6	1.4	3.77

Pengukuran Gading 11 Sisi Utara

NO.	Letak	Sudut	Jarak
1	K2	29.0	2.22
2	K1	26.9	2.42
3	P1	24.5	2.59
4	P1	22.3	2.73
5	P2	19.5	2.91
6	P2	17.0	3.08
7	P3	15.2	3.14
8	P3	12.0	3.25
9	P4	10.9	3.33
10	P4	9.4	3.41
11	P5	6.3	3.47
12	P5	4.3	3.50
13	P6	2.8	3.50
14	P6	1.0	3.54

Pengukuran Gading 12 Sisi Utara

NO.	Letak	Sudut	Jarak
1	K2	33.3	1.93
2	K1	30.6	2.10
3	P1	27.2	2.28
4	P1	24.8	2.40
5	P2	22.0	2.53
6	P2	20.3	2.59
7	P3	18.1	2.57
8	P3	15.6	2.76
9	P4	13.5	2.83
10	P4	9.7	2.94
11	P5	7.1	3.03
12	P5	4.6	3.00
13	P6	2.9	3.01
14	P6	0.6	3.03

Pengukuran Gading 13 Sisi Utara

NO.	Letak	Sudut	Jarak
1	K2	39.4	1.60
2	K1	35.3	1.77
3	P1	31.4	1.91
4	P1	28.3	2.01
5	P2	25.2	2.11
6	P2	23.7	2.15
7	P3	20.6	2.21
8	P3	18.1	2.27
9	P4	16.6	2.30
10	P4	15.2	2.34
11	P5	12.1	2.42
12	P5	8.7	2.46
13	P6	7.4	2.43
14	P6	4.6	2.45
15	P7	0.8	2.48

Pengukuran Gading 14 Sisi Utara

NO.	Letak	Sudut	Jarak
1	K2	43.7	1.39
2	K1	40.0	1.50
3	P1	37.2	1.58
4	P1	35.2	1.60
5	P2	31.5	1.64
6	P2	25.2	1.71
7	P3	24.5	1.76
8	P3	21.6	1.82
9	P4	16.0	1.87
10	P4	10.8	1.91
11	P5	6.5	1.92
12	P5	0.9	1.95

Pengukuran Gading 15 Sisi Utara

NO.	Letak	Sudut	Jarak
1	K2	51.6	1.16
2	K1	46.6	1.26
3	P1	38.5	1.33
4	P1	32.2	1.40
5	P2	29.3	1.45
6	P2	20.8	1.48
7	P3	13.0	1.52
8	P3	6.8	1.55
9	P4	1.3	1.57

LAMPIRAN D

PERHITUNGAN BERAT

Perhitungan Berat Kulit

Berat Lambung (hull) Kapal		
Dari software Maxsurf & Autocad, didapatkan luasan permukaan		
Luas lambung		mm^2
	95.611	m^2
Total luasan lambung kapal	95.611	m^2
Tebal papan lambung	70	mm
	0.07	m
Volume shell = luas x tebal	6.693	m^3
r kayu nyatoh (0.61-0.91)	0.91	gr/cm^3
	910	kg/m^3
Berat Total	6090.421	kg
	6.090	**ton**

Perhitungan Berat Geladak

Berat Geladak (deck) Kapal		
Dari software Maxsurf, didapatkan luasan permukaan geladak kapal		
Total luasan geladak kapal		mm^2
Total luasan geladak kapal	45.820	m^2
Tebal papan geladak	40	mm
	0.04	m
Volume shell plate = luas x tebal	1.833	m^3
r	0.61	gr/cm^3
	910	kg/m^3
Berat Total		
	1.118	**ton**

Perhitungan Titik Berat

									ρ kayu kulim =	0.77	Ton/m³
									ρ kayu nyatoh =	0.91	Ton/m³
Item	Jumlah	Panjang (mm) / Luas	Profil /tebal (mm)			Volume (m3)	W (ton)	Lengan sumbu x	Fx = W x l (ton.meter)	Lengan sumbu z (m)	Fx = W x l (ton.meter)
Kulit											
Papan lambung						6.69277	6.0904207	7.75	47.20076043	0.6	3.65425242
Geladak						1.8328	1.118008	7.827	8.750648616	1.7	1.9006136
Gading											
Gading 1	2	1468	80 X 100	80	100	0.023	0.018	1.970	0.036	1.02	0.01844748
Gading 2	2	1796	80 X 100	80	100	0.029	0.022	2.840	0.063	0.79	0.01748011
Gading 3	2	1958	80 X 100	80	100	0.031	0.024	3.700	0.089	0.77	0.01857437
Gading 4	2	2078	80 X 100	80	100	0.033	0.026	4.560	0.117	0.73	0.0186887
Gading 5	2	2200	80 X 100	80	100	0.035	0.027	5.420	0.147	0.67	0.01815968
Gading 6	2	2335	80 X 100	80	100	0.037	0.029	6.280	0.181	0.62	0.01783566
Gading 7	2	2423	80 X 100	80	100	0.039	0.030	7.140	0.213	0.45	0.01343311
Gading 8	2	2486	80 X 100	80	100	0.040	0.031	8.000	0.245	0.42	0.01286356
Gading 9	2	2509	80 X 100	80	100	0.040	0.031	9.100	0.281	0.4	0.01236435
Gading 10	2	2458	80 X 100	80	100	0.039	0.030	9.960	0.302	0.48	0.01453563
Gading 11	2	2398	80 X 100	80	100	0.038	0.030	10.820	0.320	0.51	0.01506711
Gading 12	2	2294	80 X 100	80	100	0.037	0.028	11.710	0.331	0.63	0.01780511
Gading 13	2	2134	80 X 100	80	100	0.034	0.026	12.570	0.330	0.68	0.0178778
Gading 14	2	1891	80 X 100	80	100	0.030	0.023	13.460	0.314	0.86	0.02003552
Gading 15	2	1637	80 X 100	80	100	0.026	0.020	14.32	0.289	0.99	0.01996616
Stringer											
Stringer 0	1	15500	80 X 100	80	100	0.124	0.095	7.750	0.740	0.1884	0.01798843
Stringer 1	2	15500	80 X 100	80	100	0.248	0.191	7.750	1.480	0.1942	0.03708443
Stringer 2	2	15500	80 X 100	80	100	0.248	0.191	7.750	1.480	0.2328	0.04445549
Stringer 3	2	15500	80 X 100	80	100	0.248	0.191	7.750	1.480	0.3392	0.06477363
Stringer 4	2	15500	80 X 100	80	100	0.248	0.191	7.750	1.480	0.504	0.09624384
Stringer 5	2	15500	80 X 100	80	100	0.248	0.191	7.750	1.480	0.7325	0.1398782
Stringer 6	2	15500	80 X 100	80	100	0.248	0.191	7.750	1.480	0.9897	0.18899311
Stringer 7	2	15500	80 X 100	80	100	0.248	0.191	7.750	1.480	1.2816	0.24473434
Stringer 8	2	15500	80 X 100	80	100	0.248	0.191	7.750	1.480	1.5464	0.29530054
Bangunan Atas											
Atap rumbia	1	6260	2420	20		0.303	0.020			2.19	0.04312977
Konstruksi bangunan atas											
Pelintang 1	2	1410	40 X 40	40	40	0.005	0.003	3.700	0.013	2.19	0.00760859
Pelintang 2	2	1410	40 X 40	40	40	0.005	0.003	4.560	0.016	2.19	0.00760859
Pelintang 3	2	1410	40 X 40	40	40	0.005	0.003	5.420	0.019	2.19	0.00760859
Pelintang 4	2	1410	40 X 40	40	40	0.005	0.003	6.280	0.022	2.19	0.00760859
Pelintang 5	2	1410	40 X 40	40	40	0.005	0.003	7.140	0.025	2.19	0.00760859
Pelintang 6	2	1410	40 X 40	40	40	0.005	0.003	8.000	0.028	2.19	0.00760859
Pelintang 7	2	1410	40 X 40	40	40	0.005	0.003	9.100	0.032	2.19	0.00760859
Pelintang 8	2	1410	40 X 40	40	40	0.005	0.003	9.960	0.035	2.19	0.00760859
Pembujur1	2	6260	40 X 40	40	40	0.020	0.015	6.830	0.105	2.17	0.03347147
Pembujur2	2	6260	40 X 40	40	40	0.020	0.015	6.830	0.105	2.64	0.04072105
Layar											
Layar depan	1						0.035	10.460	0.366	7.3	0.2555
Yard	2						0.084	10.460	0.879	7.3	0.6132
Layar belakang	1						0.025	1.970	0.049	5.7	0.1425
Tiang Layar											
Tiang depan											
	2						0.262	10.82	2.83484	6.2	1.6244
	1						0.114	12.2	1.3908	5.6	0.6384
Tiang Belakang											
	2						0.218	1.97	0.42946	4.2	0.9156
	1						0.063	2.54	0.16002	3.4	0.2142
Perlengkapan											
Kemudi	2						0.2	0.100	0.020	0.1	0.02
Jangkar	1						0.05	14.320	0.716	1.7	0.085
						Σ1 =	**10.31**	**Σ2 =**	**78.315**	**Σ3 =**	11.6244434

keterangan:

Σ1 = Jumlah total berat — ton

Σ2 = Jumlah total momen Fx — ton.meter

Σ3 = Jumlah total momen Fz — ton.meter

itudinal Center of Gravity) = Σ2 / Σ1 — m — (terhadap linggi buritan)

LCG = 7.60 m (terhadap Linggi Buritan)

LCG = 0.099 m (terhadap midship)

rticalal Center of Gravity) = Σ3 / Σ1

VCG = 1.1279333 m

Perhitungan DWT

Perhitungan Berat DWT		
Displasemen Kapal =	45.955	ton
LWT kapal =	10.31	ton
DWT =	35.65	ton

Perhitungan Berat Awak Kapal

Jumlah awak kapal =	12	orang
Berat awak kapal =	75	kg/orang
Total berat awak kapal =	900	kg
	0.9	ton
Berrat bawaan	10	kg/orang
Total berat bawaan	120	kg
	0.12	ton
Berat awak dan bawaan	1.02	ton

Perhitungan Provision

Durasi Pelayaran =	14	hari
Berat air		
Kebutuhan air perorang per hari	4	liter/hari
Kebutuhan air per orang	56	liter
Kebutuhan air	672	liter
	0.672	m^3
Berat air	0.672	ton
Makanan		
kebutuhan makanan per orang per hari	0.5	kg
Kebutuhan makanan per orang	7	kg
Kebutuhan makanan	84	kg
	0.084	ton
Bahan bakar		
Kayu bakar	100	kg
	0.1	ton
Total berat provision	0.856	ton

Berat Kargo

Berat kargo didapa dari berat DWT dikurangi dengan berat awak kapal dan provision

Berat kargo = DWT-(Provision+Kayu bakar+orang

34.92 ton

LAMPIRAN E

PERHITUNGAN HIDROSTATIK

Draft Amidships	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.1	1.2	1.3
Displacement t	0	1.12	3.339	6.173	9.42	13	16.8	21	24.9	29.2	33.5	38	43	47
Heel deg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Draft at FP m	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.1	1.2	1.3
Draft at AP m	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.1	1.2	1.3
Draft at LCF m	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.1	1.2	1.3
Trim (+ve by ster	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
WL Length m	0	12.71	15.11	15.7	15.7	15.7	15.7	16	15.7	15.7	15.7	16	16	16
Beam max exten	0	2.066	2.559	2.895	3.15	3.35	3.52	3.7	3.76	3.85	3.93	4	4	4.1
Wetted Area m^	0	17.69	25.87	31.71	36.4	40.6	44.4	48	51.4	54.7	58	61	64	68
Waterpl. Area m	0	17.5	25.1	29.91	33.3	35.9	38	40	41	42.1	43.1	44	45	45
Prismatic coeff. (	0	0.589	0.57	0.59	0.62	0.64	0.65	0.7	0.66	0.67	0.67	0.7	0.7	0.7
Block coeff. (Cb)	0	0.416	0.421	0.442	0.47	0.48	0.5	0.5	0.51	0.52	0.53	0.5	0.5	0.6
Max Sect. area coeff. (Cn	0.754	0.771	0.774	0.78	0.78	0.78	0.8	0.79	0.79	0.8	0.8	0.8	0.8
Waterpl. area co	0	0.666	0.649	0.658	0.68	0.68	0.69	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
LCB from zero pt	0.788	7.96	7.713	7.656	7.66	7.67	7.68	7.7	7.7	7.71	7.72	7.7	7.7	7.7
LCF from zero pt.	0.788	7.711	7.555	7.626	7.68	7.71	7.73	7.8	7.77	7.78	7.79	7.8	7.8	7.8
KB m	0.285	0.062	0.123	0.182	0.24	0.3	0.36	0.4	0.47	0.52	0.58	0.6	0.7	0.7
KG m	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
BMt m	0	3.671	2.879	2.415	2.1	1.87	1.68	1.5	1.41	1.29	1.2	1.1	1	1
BML m	0	138.1	83.33	58.65	44.6	35.7	29.5	25	21.8	19.3	17.2	16	14	13
GMt m	-1.015	2.434	1.702	1.296	1.04	0.86	0.74	0.6	0.57	0.52	0.48	0.4	0.4	0.4
GML m	-1.015	136.8	82.15	57.53	43.6	34.7	28.6	24	21	18.5	16.5	15	14	12
KMt m	0.285	3.734	3.002	2.596	2.34	2.16	2.04	1.9	1.87	1.82	1.78	1.7	1.7	1.7
KML m	0.285	138.1	83.45	58.83	44.9	36	29.9	26	22.3	19.8	17.8	16	15	14
Immersion (TPc)	0	0.179	0.257	0.307	0.34	0.37	0.39	0.4	0.42	0.43	0.44	0.5	0.5	0.5
MTc tonne.m	0	0.098	0.175	0.226	0.26	0.29	0.31	0.3	0.33	0.34	0.35	0.4	0.4	0.4
RM at 1deg = GM	0	0.048	0.099	0.14	0.17	0.2	0.22	0.2	0.25	0.26	0.28	0.3	0.3	0.3
Max deck inclina	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Trim angle (+ve b	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

LAMPIRAN F

PERHITUNGAN STABILITAS

Kondisi Kapal Kosong

Heel to starboard	0	1	2	3	4	5
GZ m	0	0.02	0.04	0.061	0.081	0.1
Area under GZ curve from zero heel m.deg	0	0.0101	0.0405	0.091	0.1616	0.2521
Displacement t	10.31	10.31	10.31	10.31	10.31	10.31
Draft at FP m	0.414	0.414	0.413	0.412	0.411	0.409
Draft at AP m	0.437	0.437	0.436	0.435	0.434	0.432
WL Length m	15.681	15.681	15.682	15.682	15.683	15.683
Beam max extents on WL m	3.205	3.206	3.202	3.199	3.193	3.186
Wetted Area m^2	37.528	37.523	37.504	37.476	37.434	37.383
Waterpl. Area m^2	34.042	34.036	34.015	33.982	33.933	33.873
Prismatic coeff. (Cp)	0.623	0.623	0.623	0.622	0.621	0.62
Block coeff. (Cb)	0.474	0.472	0.47	0.464	0.457	0.449
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	7.598	7.598	7.598	7.598	7.598	7.598
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	7.671	7.671	7.672	7.672	7.673	7.674
Max deck inclination deg	0.0828	1.0034	2.0017	3.0011	4.0009	5.0007
Trim angle (+ve by stern) deg	0.0828	0.0828	0.0828	0.0829	0.083	0.0831

Heel to starboard	6	7	8	9	10
GZ m	0.12	0.139	0.158	0.177	0.195
Area under GZ curve from zero heel m.deg	0.3624	0.492	0.6409	0.8086	0.9949
Displacement t	10.31	10.31	10.31	10.31	10.31
Draft at FP m	0.407	0.404	0.401	0.398	0.394
Draft at AP m	0.43	0.427	0.424	0.42	0.416
WL Length m	15.684	15.685	15.686	15.687	15.689
Beam max extents on WL m	3.178	3.17	3.16	3.148	3.136
Wetted Area m^2	37.318	37.242	37.153	37.054	36.943
Waterpl. Area m^2	33.798	33.71	33.609	33.496	33.368
Prismatic coeff. (Cp)	0.619	0.618	0.616	0.614	0.612
Block coeff. (Cb)	0.442	0.435	0.428	0.421	0.415
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	7.598	7.598	7.597	7.599	7.598
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	7.675	7.677	7.678	7.681	7.683
Max deck inclination deg	6.0006	7.0005	8.0004	9.0004	10.0003
Trim angle (+ve by stern) deg	0.0832	0.0834	0.0836	0.0813	0.0816

Heel to starboard	11	12	13	14	15
GZ m	0.213	0.231	0.248	0.264	0.28
Area under GZ curve from zero heel m.deg	1.1992	1.4212	1.6605	1.9165	2.1887
Displacement t	10.31	10.31	10.31	10.31	10.31
Draft at FP m	0.39	0.385	0.38	0.374	0.368
Draft at AP m	0.412	0.407	0.402	0.396	0.389
WL Length m	15.691	15.692	15.694	15.696	15.698
Beam max extents on WL m	3.122	3.105	3.09	3.071	3.052
Wetted Area m^2	36.82	36.685	36.54	36.385	36.22
Waterpl. Area m^2	33.23	33.078	32.916	32.744	32.561
Prismatic coeff. (Cp)	0.61	0.608	0.605	0.603	0.6
Block coeff. (Cb)	0.41	0.404	0.399	0.395	0.391
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	7.598	7.599	7.598	7.597	7.599
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	7.685	7.688	7.69	7.692	7.695
Max deck inclination deg	11.0003	12.0002	13.0002	14.0002	15.0002
Trim angle (+ve by stern) deg	0.0818	0.0798	0.0801	0.0804	0.0771

Heel to starboard	16	17	18	19	20
GZ m	0.296	0.311	0.325	0.339	0.352
Area under GZ curve from zero heel m.deg	2.4766	2.7797	3.0975	3.4292	3.7745
Displacement t	10.31	10.31	10.31	10.31	10.31
Draft at FP m	0.361	0.355	0.347	0.339	0.33
Draft at AP m	0.383	0.375	0.367	0.359	0.35
WL Length m	15.7	15.702	15.703	15.703	15.703
Beam max extents on WL m	3.033	3.011	2.989	2.967	2.944
Wetted Area m^2	36.047	35.864	35.675	35.48	35.278
Waterpl. Area m^2	32.372	32.173	31.968	31.76	31.545
Prismatic coeff. (Cp)	0.597	0.594	0.591	0.587	0.583
Block coeff. (Cb)	0.387	0.383	0.38	0.378	0.375
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	7.598	7.599	7.598	7.599	7.598
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	7.697	7.7	7.701	7.703	7.704
Max deck inclination deg	16.0002	17.0001	18.0001	19.0001	20.0001
Trim angle (+ve by stern) deg	0.0775	0.0747	0.0751	0.072	0.0724

Heel to starboard	21	22	23	24	25
GZ m	0.364	0.377	0.388	0.399	0.41
Area under GZ curve from zero heel m.deg	4.1327	4.5032	4.8856	5.2792	5.6835
Displacement t	10.31	10.31	10.31	10.31	10.31
Draft at FP m	0.321	0.311	0.301	0.289	0.278
Draft at AP m	0.34	0.33	0.319	0.307	0.295
WL Length m	15.703	15.703	15.703	15.703	15.703
Beam max extents on WL m	2.922	2.9	2.877	2.855	2.835
Wetted Area m^2	35.071	34.86	34.646	34.428	34.212
Waterpl. Area m^2	31.329	31.11	30.893	30.672	30.459
Prismatic coeff. (Cp)	0.58	0.576	0.572	0.568	0.564
Block coeff. (Cb)	0.372	0.37	0.368	0.366	0.364
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	7.599	7.598	7.599	7.598	7.599
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	7.705	7.705	7.707	7.707	7.709
Max deck inclination deg	21.0001	22.0001	23.0001	24.0001	25.0001
Trim angle (+ve by stern) deg	0.069	0.0694	0.0659	0.0665	0.0629

Heel to starboard	26	27	28	29	30
GZ m	0.419	0.429	0.438	0.447	0.455
Area under GZ curve from zero heel m.deg	6.0981	6.5223	6.9559	7.3983	7.849
Displacement t	10.31	10.31	10.31	10.31	10.31
Draft at FP m	0.265	0.252	0.238	0.224	0.209
Draft at AP m	0.283	0.269	0.255	0.24	0.225
WL Length m	15.703	15.659	15.54	15.422	15.298
Beam max extents on WL m	2.813	2.794	2.776	2.759	2.745
Wetted Area m^2	33.999	33.792	33.585	33.385	33.193
Waterpl. Area m^2	30.255	30.059	29.866	29.678	29.499
Prismatic coeff. (Cp)	0.56	0.557	0.557	0.557	0.557
Block coeff. (Cb)	0.362	0.362	0.363	0.364	0.365
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	7.598	7.599	7.598	7.599	7.598
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	7.709	7.709	7.707	7.707	7.706
Max deck inclination deg	26.0001	27	28	29	30
Trim angle (+ve by stern) deg	0.0634	0.0599	0.0604	0.0575	0.058

Heel to starboard	31	32	33	34	35
GZ m	0.463	0.47	0.477	0.484	0.49
Area under GZ curve from zero heel m.deg	8.3079	8.7743	9.2481	9.7287	10.2158
Displacement t	10.31	10.31	10.31	10.31	10.31
Draft at FP m	0.193	0.176	0.158	0.14	0.12
Draft at AP m	0.208	0.191	0.173	0.154	0.134
WL Length m	15.174	15.045	14.81	14.48	14.152
Beam max extents on WL m	2.736	2.725	2.714	2.703	2.694
Wetted Area m^2	33.008	32.825	32.622	32.391	32.157
Waterpl. Area m^2	29.324	29.144	28.937	28.698	28.453
Prismatic coeff. (Cp)	0.558	0.558	0.563	0.571	0.58
Block coeff. (Cb)	0.365	0.366	0.37	0.376	0.383
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	7.599	7.598	7.599	7.598	7.599
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	7.706	7.708	7.712	7.709	7.706
Max deck inclination deg	31	32	33	34	35
Trim angle (+ve by stern) deg	0.0554	0.056	0.0529	0.0535	0.0501

Heel to starboard	36	37	38	39	40
GZ m	0.496	0.501	0.506	0.511	0.515
Area under GZ curve from zero heel m.deg	10.7088	11.2074	11.7111	12.2196	12.7323
Displacement t	10.31	10.31	10.31	10.31	10.31
Draft at FP m	0.1	0.079	0.056	0.032	0.007
Draft at AP m	0.114	0.091	0.068	0.043	0.018
WL Length m	13.844	13.649	13.498	13.364	13.246
Beam max extents on WL m	2.684	2.675	2.667	2.661	2.654
Wetted Area m^2	32.004	31.78	31.573	31.387	31.229
Waterpl. Area m^2	28.289	28.052	27.83	27.633	27.463
Prismatic coeff. (Cp)	0.589	0.593	0.596	0.598	0.599
Block coeff. (Cb)	0.39	0.393	0.396	0.398	0.4
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	7.598	7.599	7.598	7.599	7.598
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	7.72	7.718	7.714	7.719	7.713
Max deck inclination deg	36	37	38	39	40
Trim angle (+ve by stern) deg	0.0508	0.0457	0.0464	0.0409	0.0415

Heel to starboard	41	42	43	44	45
GZ m	0.518	0.522	0.525	0.528	0.53
Area under GZ curve from zero heel m.deg	13.2489	13.7691	14.2925	14.8188	15.3475
Displacement t	10.31	10.31	10.31	10.31	10.31
Draft at FP m	-0.019	-0.047	-0.076	-0.106	-0.138
Draft at AP m	-0.009	-0.037	-0.067	-0.099	-0.131
WL Length m	13.148	13.058	12.974	12.893	12.806
Beam max extents on WL m	2.648	2.644	2.64	2.616	2.57
Wetted Area m^2	31.067	30.89	30.785	30.688	30.576
Waterpl. Area m^2	27.291	27.105	26.996	26.855	26.605
Prismatic coeff. (Cp)	0.6	0.6	0.601	0.601	0.602
Block coeff. (Cb)	0.401	0.402	0.403	0.406	0.414
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	7.599	7.598	7.6	7.6	7.598
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	7.716	7.713	7.729	7.725	7.726
Max deck inclination deg	41	42	43	44	45
Trim angle (+ve by stern) deg	0.0363	0.0368	0.0297	0.0253	0.0257

Heel to starboard	46	47	48	49	50
GZ m	0.531	0.532	0.532	0.53	0.528
Area under GZ curve from zero heel m.deg	15.8781	16.4097	16.9414	17.4724	18.0019
Displacement t	10.31	10.31	10.31	10.31	10.31
Draft at FP m	-0.171	-0.207	-0.243	-0.282	-0.321
Draft at AP m	-0.167	-0.202	-0.241	-0.28	-0.322
WL Length m	12.727	12.648	12.574	12.504	12.435
Beam max extents on WL m	2.526	2.484	2.444	2.406	2.37
Wetted Area m^2	30.491	30.413	30.333	30.259	30.23
Waterpl. Area m^2	26.343	26.057	25.756	25.45	25.18
Prismatic coeff. (Cp)	0.603	0.605	0.606	0.608	0.61
Block coeff. (Cb)	0.422	0.429	0.436	0.443	0.45
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	7.6	7.598	7.6	7.598	7.6
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	7.733	7.737	7.745	7.752	7.748
Max deck inclination deg	46	47	48	49	50
Trim angle (+ve by stern) deg	0.0164	0.0167	0.0067	0.0068	-0.004

Heel to starboard	51	52	53	54	55
GZ m	0.526	0.522	0.518	0.512	0.506
Area under GZ curve from zero heel m.deg	18.529	19.0529	19.5727	20.0877	20.5972
Displacement t	10.31	10.31	10.31	10.31	10.31
Draft at FP m	-0.364	-0.408	-0.455	-0.503	-0.555
Draft at AP m	-0.365	-0.411	-0.458	-0.509	-0.561
WL Length m	12.371	12.309	12.251	12.194	12.142
Beam max extents on WL m	2.335	2.301	2.268	2.236	2.206
Wetted Area m^2	30.162	30.086	30.078	30.026	29.978
Waterpl. Area m^2	24.868	24.546	24.296	24.004	23.721
Prismatic coeff. (Cp)	0.612	0.614	0.616	0.618	0.62
Block coeff. (Cb)	0.457	0.464	0.47	0.477	0.483
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	7.599	7.6	7.599	7.6	7.599
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	7.753	7.756	7.773	7.778	7.779
Max deck inclination deg	51	52	53	54	55
Trim angle (+ve by stern) deg	-0.004	-0.0121	-0.0124	-0.0223	-0.0229

Heel to starboard	56	57	58	59	60
GZ m	0.5	0.493	0.485	0.476	0.467
Area under GZ curve from zero heel m.deg	21.1003	21.5966	22.0853	22.5657	23.0374
Displacement t	10.31	10.31	10.31	10.31	10.31
Draft at FP m	-0.609	-0.667	-0.727	-0.793	-0.862
Draft at AP m	-0.618	-0.677	-0.74	-0.805	-0.875
WL Length m	12.09	12.043	11.998	11.954	11.915
Beam max extents on WL m	2.177	2.149	2.122	2.097	2.072
Wetted Area m^2	29.937	29.892	29.843	29.798	29.754
Waterpl. Area m^2	23.458	23.19	22.915	22.655	22.407
Prismatic coeff. (Cp)	0.622	0.624	0.626	0.628	0.63
Block coeff. (Cb)	0.489	0.495	0.5	0.505	0.51
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	7.6	7.599	7.601	7.6	7.599
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	7.783	7.785	7.789	7.791	7.794
Max deck inclination deg	56	57	58	59	60
Trim angle (+ve by stern) deg	-0.0337	-0.0346	-0.0452	-0.0465	-0.0479

Heel to starboard	61	62	63	64	65
GZ m	0.457	0.447	0.437	0.425	0.414
Area under GZ curve from zero heel m.deg	23.4996	23.952	24.3939	24.8249	25.2445
Displacement t	10.31	10.31	10.31	10.31	10.31
Draft at FP m	-0.934	-1.013	-1.098	-1.188	-1.286
Draft at AP m	-0.951	-1.031	-1.116	-1.207	-1.305
WL Length m	11.876	11.841	11.807	11.778	11.749
Beam max extents on WL m	2.05	2.029	2.009	1.99	1.972
Wetted Area m^2	29.764	29.731	29.688	29.65	29.62
Waterpl. Area m^2	22.221	21.993	21.751	21.524	21.315
Prismatic coeff. (Cp)	0.632	0.633	0.635	0.637	0.639
Block coeff. (Cb)	0.515	0.518	0.522	0.526	0.529
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	7.601	7.6	7.6	7.6	7.6
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	7.783	7.779	7.783	7.785	7.788
Max deck inclination deg	61	62	63	64	65
Trim angle (+ve by stern) deg	-0.0616	-0.0636	-0.0658	-0.0681	-0.0707

Heel to starboard	66	67	68	69	70
GZ m	0.402	0.389	0.376	0.363	0.349
Area under GZ curve from zero heel m.deg	25.6522	26.0477	26.4304	26.8	27.1562
Displacement t	10.31	10.31	10.31	10.31	10.31
Draft at FP m	-1.391	-1.505	-1.629	-1.765	-1.913
Draft at AP m	-1.411	-1.526	-1.651	-1.787	-1.937
WL Length m	11.724	11.7	11.674	11.649	11.628
Beam max extents on WL m	1.955	1.938	1.922	1.906	1.892
Wetted Area m^2	29.587	29.556	29.53	29.511	29.488
Waterpl. Area m^2	21.107	20.904	20.715	20.542	20.368
Prismatic coeff. (Cp)	0.64	0.642	0.643	0.645	0.647
Block coeff. (Cb)	0.532	0.534	0.537	0.539	0.541
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	7.6	7.6	7.601	7.601	7.601
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	7.788	7.786	7.783	7.78	7.781
Max deck inclination deg	66	67	68	69	70
Trim angle (+ve by stern) deg	-0.0734	-0.0765	-0.0797	-0.0834	-0.0873

Heel to starboard	71	72	73	74	75
GZ m	0.335	0.321	0.306	0.291	0.276
Area under GZ curve from zero heel m.deg	27.4986	27.8268	28.1406	28.4395	28.7233
Displacement t	10.31	10.31	10.31	10.31	10.31
Draft at FP m	-2.077	-2.259	-2.464	-2.691	-2.948
Draft at AP m	-2.102	-2.285	-2.487	-2.715	-2.974
WL Length m	11.611	11.598	11.588	11.582	11.582
Beam max extents on WL m	1.878	1.864	1.851	1.839	1.827
Wetted Area m^2	29.468	29.446	29.42	29.4	29.388
Waterpl. Area m^2	20.202	20.037	19.869	19.715	19.575
Prismatic coeff. (Cp)	0.648	0.649	0.65	0.651	0.651
Block coeff. (Cb)	0.543	0.544	0.544	0.545	0.545
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	7.601	7.602	7.601	7.601	7.602
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	7.784	7.785	7.781	7.779	7.777
Max deck inclination deg	71	72	73	74	75
Trim angle (+ve by stern) deg	-0.0918	-0.0967	-0.0826	-0.0876	-0.0933

Heel to starboard	76	77	78	79	80
GZ m	0.261	0.245	0.229	0.213	0.196
Area under GZ curve from zero heel m.deg	28.9918	29.2445	29.4814	29.7022	29.9067
Displacement t	10.31	10.31	10.31	10.31	10.31
Draft at FP m	-3.246	-3.584	-3.981	-4.446	-5.007
Draft at AP m	-3.265	-3.605	-3.997	-4.464	-5.018
WL Length m	11.584	11.593	11.604	11.617	11.636
Beam max extents on WL m	1.816	1.804	1.794	1.784	1.775
Wetted Area m^2	29.387	29.398	29.425	29.443	29.423
Waterpl. Area m^2	19.451	19.346	19.262	19.173	19.043
Prismatic coeff. (Cp)	0.651	0.651	0.651	0.651	0.651
Block coeff. (Cb)	0.545	0.544	0.543	0.542	0.54
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	7.6	7.601	7.6	7.601	7.6
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	7.773	7.772	7.767	7.769	7.768
Max deck inclination deg	76	77	78	79	80
Trim angle (+ve by stern) deg	-0.072	-0.0775	-0.06	-0.0653	-0.0411

Heel to starboard	81	82	83	84	85
GZ m	0.18	0.163	0.146	0.129	0.112
Area under GZ curve from zero heel m.deg	30.0947	30.266	30.4204	30.5578	30.6781
Displacement t	10.31	10.31	10.31	10.31	10.31
Draft at FP m	-5.688	-6.543	-7.636	-9.099	-11.136
Draft at AP m	-5.7	-6.545	-7.638	-9.085	-11.12
WL Length m	11.661	11.692	11.732	11.782	11.846
Beam max extents on WL m	1.765	1.757	1.749	1.741	1.734
Wetted Area m^2	29.409	29.401	29.399	29.407	29.423
Waterpl. Area m^2	18.925	18.815	18.718	18.635	18.563
Prismatic coeff. (Cp)	0.65	0.649	0.648	0.646	0.643
Block coeff. (Cb)	0.538	0.535	0.532	0.528	0.523
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	7.601	7.6	7.601	7.6	7.601
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	7.769	7.767	7.767	7.764	7.763
Max deck inclination deg	81	82	83	84	85
Trim angle (+ve by stern) deg	-0.0457	-0.0075	-0.0085	0.0496	0.0595

Heel to starboard	86	87	88	89	90
GZ m	0.094	0.077	0.059	0.041	0.024
Area under GZ curve from zero heel m.deg	30.7811	30.8666	30.9346	30.985	31.0175
Displacement t	10.31	10.31	10.31	10.31	10.31
Draft at FP m	-14.203	-19.294	-29.498	-60.048	n/a
Draft at AP m	-14.158	-19.236	-29.361	-59.775	n/a
WL Length m	11.912	11.976	12.039	12.103	12.165
Beam max extents on WL m	1.727	1.72	1.714	1.709	1.703
Wetted Area m^2	29.438	29.452	29.373	29.305	29.331
Waterpl. Area m^2	18.495	18.429	18.275	18.128	18.082
Prismatic coeff. (Cp)	0.64	0.638	0.635	0.633	0.63
Block coeff. (Cb)	0.519	0.514	0.509	0.504	0.499
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	7.6	7.601	7.6	7.6	7.599
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	7.76	7.76	7.729	7.763	7.76
Max deck inclination deg	86	87	88	89	90
Trim angle (+ve by stern) deg	0.1612	0.2149	0.4981	0.996	-1.#IND

Kondisi muatan setengah penuh

Heel to starboard	0	1	2	3	4
GZ m	0	0.015	0.03	0.046	0.061
Area under GZ curve from zero heel m.deg	0	0.0076	0.0304	0.0685	0.1217
Displacement t	28.48	28.48	28.48	28.48	28.48
Draft at FP m	0.981	0.981	0.981	0.981	0.98
Draft at AP m	0.789	0.789	0.788	0.788	0.787
WL Length m	15.695	15.695	15.695	15.695	15.695
Beam max extents on WL m	3.834	3.835	3.833	3.832	3.83
Wetted Area m^2	54.251	54.253	54.248	54.244	54.24
Waterpl. Area m^2	42.028	42.03	42.027	42.024	42.023
Prismatic coeff. (Cp)	0.664	0.664	0.664	0.664	0.664
Block coeff. (Cb)	0.496	0.496	0.495	0.495	0.494
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	7.954	7.954	7.954	7.954	7.954
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	7.829	7.829	7.829	7.829	7.829
Max deck inclination deg	0.7036	1.2227	2.1201	3.0813	4.0613
Trim angle (+ve by stern) deg	-0.7036	-0.7037	-0.704	-0.7046	-0.7053

Heel to starboard	5	6	7	8	9
GZ m	0.076	0.091	0.106	0.121	0.136
Area under GZ curve from zero heel m.deg	0.19	0.2735	0.3721	0.4856	0.6142
Displacement t	28.48	28.48	28.48	28.48	28.48
Draft at FP m	0.979	0.979	0.978	0.976	0.974
Draft at AP m	0.786	0.785	0.783	0.782	0.781
WL Length m	15.695	15.695	15.695	15.695	15.694
Beam max extents on WL m	3.827	3.823	3.819	3.814	3.809
Wetted Area m^2	54.232	54.224	54.214	54.202	54.188
Waterpl. Area m^2	42.018	42.014	42.008	42.001	41.993
Prismatic coeff. (Cp)	0.663	0.663	0.663	0.662	0.662
Block coeff. (Cb)	0.493	0.493	0.493	0.491	0.487
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	7.955	7.955	7.955	7.954	7.954
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	7.829	7.83	7.83	7.83	7.831
Max deck inclination deg	5.0491	6.041	7.0351	8.0302	9.0268
Trim angle (+ve by stern) deg	-0.7063	-0.7075	-0.7089	-0.7048	-0.7067

Heel to starboard	10	11	12	13	14
GZ m	0.151	0.166	0.18	0.195	0.209
Area under GZ curve from zero heel m.deg	0.7575	0.9157	1.0886	1.2761	1.4782
Displacement t	28.48	28.48	28.48	28.48	28.48
Draft at FP m	0.973	0.97	0.968	0.966	0.963
Draft at AP m	0.778	0.777	0.774	0.771	0.769
WL Length m	15.694	15.694	15.694	15.693	15.693
Beam max extents on WL m	3.804	3.796	3.789	3.781	3.773
Wetted Area m^2	54.174	54.156	54.137	54.118	54.095
Waterpl. Area m^2	41.986	41.975	41.963	41.953	41.938
Prismatic coeff. (Cp)	0.661	0.661	0.66	0.66	0.659
Block coeff. (Cb)	0.483	0.479	0.476	0.472	0.469
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	7.955	7.954	7.955	7.955	7.954
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	7.831	7.832	7.832	7.833	7.834
Max deck inclination deg	10.0241	11.0215	12.0197	13.0181	14.0165
Trim angle (+ve by stern) deg	-0.7087	-0.706	-0.7085	-0.7113	-0.7082

Heel to starboard	15	16	17	18	19
GZ m	0.224	0.238	0.252	0.266	0.28
Area under GZ curve from zero heel m.deg	1.6946	1.9253	2.1701	2.429	2.7018
Displacement t	28.48	28.48	28.48	28.48	28.48
Draft at FP m	0.96	0.958	0.954	0.951	0.947
Draft at AP m	0.766	0.762	0.759	0.754	0.75
WL Length m	15.693	15.692	15.692	15.691	15.691
Beam max extents on WL m	3.763	3.755	3.745	3.734	3.725
Wetted Area m^2	54.071	54.044	54.016	53.984	53.953
Waterpl. Area m^2	41.924	41.908	41.891	41.87	41.852
Prismatic coeff. (Cp)	0.659	0.658	0.657	0.656	0.656
Block coeff. (Cb)	0.466	0.462	0.46	0.457	0.454
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	7.955	7.956	7.954	7.955	7.956
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	7.835	7.836	7.837	7.839	7.84
Max deck inclination deg	15.0154	16.0144	17.0132	18.0124	19.0117
Trim angle (+ve by stern) deg	-0.7114	-0.7148	-0.7117	-0.7157	-0.7199

Heel to starboard	20	21	22	23	24
GZ m	0.293	0.307	0.32	0.333	0.346
Area under GZ curve from zero heel m.deg	2.9883	3.2883	3.6018	3.9285	4.2683
Displacement t	28.48	28.48	28.48	28.48	28.48
Draft at FP m	0.942	0.938	0.934	0.929	0.924
Draft at AP m	0.746	0.741	0.735	0.73	0.724
WL Length m	15.69	15.69	15.689	15.688	15.688
Beam max extents on WL m	3.713	3.702	3.69	3.678	3.665
Wetted Area m^2	53.917	53.88	53.84	53.8	53.755
Waterpl. Area m^2	41.83	41.806	41.781	41.759	41.73
Prismatic coeff. (Cp)	0.655	0.654	0.653	0.652	0.651
Block coeff. (Cb)	0.451	0.448	0.446	0.443	0.441
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	7.954	7.955	7.956	7.954	7.955
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	7.841	7.843	7.845	7.847	7.849
Max deck inclination deg	20.0109	21.0103	22.0098	23.0092	24.0087
Trim angle (+ve by stern) deg	-0.7173	-0.722	-0.727	-0.7257	-0.7312

Heel to starboard	25	26	27	28	29
GZ m	0.359	0.372	0.384	0.396	0.407
Area under GZ curve from zero heel m.deg	4.621	4.9863	5.3643	5.7545	6.1562
Displacement t	28.48	28.48	28.48	28.48	28.48
Draft at FP m	0.919	0.913	0.907	0.901	0.894
Draft at AP m	0.717	0.711	0.703	0.695	0.687
WL Length m	15.687	15.686	15.686	15.685	15.684
Beam max extents on WL m	3.651	3.638	3.614	3.525	3.443
Wetted Area m^2	53.709	53.66	53.621	53.692	53.809
Waterpl. Area m^2	41.702	41.673	41.628	41.35	40.964
Prismatic coeff. (Cp)	0.651	0.65	0.648	0.648	0.647
Block coeff. (Cb)	0.439	0.437	0.437	0.445	0.452
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	7.956	7.955	7.955	7.956	7.956
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	7.852	7.854	7.856	7.857	7.858
Max deck inclination deg	25.0083	26.0079	27.0075	28.0072	29.0069
Trim angle (+ve by stern) deg	-0.7371	-0.7376	-0.7441	-0.7509	-0.758

Heel to starboard	30	31	32	33	34
GZ m	0.417	0.427	0.435	0.442	0.449
Area under GZ curve from zero heel m.deg	6.5687	6.9908	7.4218	7.8605	8.306
Displacement t	28.48	28.48	28.48	28.48	28.48
Draft at FP m	0.888	0.882	0.876	0.869	0.863
Draft at AP m	0.678	0.67	0.661	0.653	0.644
WL Length m	15.683	15.682	15.681	15.681	15.68
Beam max extents on WL m	3.366	3.291	3.22	3.151	3.086
Wetted Area m^2	53.942	54.083	54.222	54.355	54.483
Waterpl. Area m^2	40.517	40.041	39.543	39.047	38.542
Prismatic coeff. (Cp)	0.647	0.647	0.647	0.647	0.647
Block coeff. (Cb)	0.459	0.466	0.472	0.479	0.485
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	7.956	7.956	7.956	7.956	7.955
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	7.857	7.858	7.857	7.857	7.858
Max deck inclination deg	30.0066	31.0064	32.0061	33.0059	34.0057
Trim angle (+ve by stern) deg	-0.7655	-0.7734	-0.7818	-0.7905	-0.7997

Heel to starboard	35	36	37	38	39
GZ m	0.454	0.459	0.463	0.466	0.468
Area under GZ curve from zero heel m.deg	8.7575	9.2141	9.6749	10.1391	10.6059
Displacement t	28.48	28.48	28.48	28.48	28.48
Draft at FP m	0.857	0.85	0.845	0.838	0.833
Draft at AP m	0.635	0.626	0.615	0.606	0.595
WL Length m	15.679	15.678	15.678	15.677	15.676
Beam max extents on WL m	3.024	2.964	2.907	2.852	2.8
Wetted Area m^2	54.601	54.713	54.816	54.911	54.999
Waterpl. Area m^2	38.05	37.553	37.075	36.607	36.139
Prismatic coeff. (Cp)	0.647	0.647	0.648	0.648	0.648
Block coeff. (Cb)	0.491	0.497	0.503	0.508	0.513
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	7.955	7.954	7.956	7.955	7.956
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	7.857	7.859	7.86	7.859	7.861
Max deck inclination deg	35.0055	36.0053	37.0052	38.005	39.0049
Trim angle (+ve by stern) deg	-0.8093	-0.8195	-0.8376	-0.8489	-0.8671

Heel to starboard	40	41	42	43	44
GZ m	0.47	0.47	0.471	0.47	0.469
Area under GZ curve from zero heel m.deg	11.0747	11.5448	12.0154	12.4861	12.9561
Displacement t	28.48	28.48	28.48	28.48	28.48
Draft at FP m	0.826	0.82	0.814	0.808	0.801
Draft at AP m	0.585	0.574	0.563	0.551	0.54
WL Length m	15.675	15.675	15.674	15.673	15.672
Beam max extents on WL m	2.749	2.7	2.654	2.609	2.566
Wetted Area m^2	55.08	55.154	55.222	55.284	55.34
Waterpl. Area m^2	35.693	35.254	34.833	34.418	34.021
Prismatic coeff. (Cp)	0.648	0.649	0.649	0.649	0.649
Block coeff. (Cb)	0.519	0.523	0.528	0.533	0.537
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	7.955	7.956	7.955	7.956	7.955
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	7.862	7.862	7.862	7.864	7.865
Max deck inclination deg	40.0047	41.0046	42.0045	43.0044	44.0042
Trim angle (+ve by stern) deg	-0.8797	-0.8999	-0.9139	-0.9368	-0.9524

Heel to starboard	45	46	47	48	49
GZ m	0.468	0.466	0.463	0.461	0.457
Area under GZ curve from zero heel m.deg	13.4248	13.8919	14.3567	14.8187	15.2775
Displacement t	28.48	28.48	28.48	28.48	28.48
Draft at FP m	0.795	0.787	0.781	0.774	0.767
Draft at AP m	0.527	0.515	0.501	0.488	0.473
WL Length m	15.672	15.671	15.67	15.669	15.669
Beam max extents on WL m	2.526	2.489	2.452	2.417	2.384
Wetted Area m^2	55.391	55.438	55.48	55.518	55.553
Waterpl. Area m^2	33.632	33.264	32.904	32.558	32.222
Prismatic coeff. (Cp)	0.649	0.649	0.65	0.65	0.65
Block coeff. (Cb)	0.541	0.545	0.549	0.552	0.555
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	7.957	7.956	7.957	7.956	7.957
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	7.865	7.864	7.865	7.867	7.867
Max deck inclination deg	45.0042	46.004	47.004	48.0038	49.0038
Trim angle (+ve by stern) deg	-0.9772	-0.9947	-1.0224	-1.0421	-1.0721

Heel to starboard	50	51	52	53	54
GZ m	0.453	0.449	0.444	0.439	0.434
Area under GZ curve from zero heel m.deg	15.7327	16.1837	16.6303	17.072	17.5084
Displacement t	28.48	28.48	28.48	28.48	28.48
Draft at FP m	0.759	0.752	0.743	0.736	0.727
Draft at AP m	0.459	0.443	0.428	0.41	0.393
WL Length m	15.668	15.667	15.667	15.666	15.665
Beam max extents on WL m	2.352	2.322	2.292	2.264	2.238
Wetted Area m^2	55.585	55.614	55.641	55.661	55.68
Waterpl. Area m^2	31.903	31.601	31.318	31.035	30.768
Prismatic coeff. (Cp)	0.65	0.65	0.65	0.65	0.651
Block coeff. (Cb)	0.558	0.561	0.564	0.567	0.569
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	7.956	7.957	7.957	7.958	7.957
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	7.865	7.863	7.86	7.861	7.861
Max deck inclination deg	50.0036	51.0036	52.0034	53.0034	54.0032
Trim angle (+ve by stern) deg	-1.0942	-1.127	-1.152	-1.1879	-1.2162

Heel to starboard	55	56	57	58	59
GZ m	0.428	0.422	0.415	0.409	0.402
Area under GZ curve from zero heel m.deg	17.9392	18.364	18.7826	19.1945	19.5996
Displacement t	28.48	28.48	28.48	28.48	28.48
Draft at FP m	0.717	0.709	0.698	0.688	0.678
Draft at AP m	0.376	0.355	0.336	0.315	0.291
WL Length m	15.664	15.664	15.663	15.662	15.661
Beam max extents on WL m	2.212	2.188	2.163	2.14	2.118
Wetted Area m^2	55.697	55.712	55.724	55.736	55.747
Waterpl. Area m^2	30.514	30.262	30.022	29.795	29.577
Prismatic coeff. (Cp)	0.651	0.651	0.651	0.651	0.651
Block coeff. (Cb)	0.571	0.573	0.575	0.577	0.578
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	7.956	7.958	7.958	7.957	7.958
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	7.862	7.863	7.862	7.861	7.863
Max deck inclination deg	55.0031	56.0031	57.0029	58.0028	59.0028
Trim angle (+ve by stern) deg	-1.2463	-1.29	-1.3245	-1.3613	-1.4115

Heel to starboard	60	61	62	63	64
GZ m	0.394	0.387	0.379	0.371	0.362
Area under GZ curve from zero heel m.deg	19.9975	20.388	20.7708	21.1455	21.5121
Displacement t	28.48	28.48	28.48	28.48	28.48
Draft at FP m	0.666	0.653	0.64	0.628	0.613
Draft at AP m	0.267	0.242	0.216	0.185	0.154
WL Length m	15.661	15.66	15.659	15.659	15.627
Beam max extents on WL m	2.097	2.077	2.058	2.039	2.022
Wetted Area m^2	55.752	55.757	55.761	55.763	55.753
Waterpl. Area m^2	29.358	29.15	28.95	28.755	28.557
Prismatic coeff. (Cp)	0.651	0.651	0.651	0.651	0.653
Block coeff. (Cb)	0.58	0.581	0.582	0.584	0.586
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	7.958	7.958	7.957	7.959	7.958
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	7.866	7.871	7.877	7.885	7.891
Max deck inclination deg	60.0027	61.0026	62.0025	63.0024	64.0023
Trim angle (+ve by stern) deg	-1.4539	-1.4995	-1.5484	-1.6153	-1.6729

Heel to starboard	65	66	67	68	69
GZ m	0.354	0.345	0.336	0.327	0.317
Area under GZ curve from zero heel m.deg	21.8702	22.2197	22.5602	22.8916	23.2138
Displacement t	28.48	28.48	28.48	28.48	28.48
Draft at FP m	0.597	0.581	0.563	0.545	0.523
Draft at AP m	0.121	0.083	0.044	-0.001	-0.047
WL Length m	15.508	15.404	15.324	15.253	15.198
Beam max extents on WL m	2.005	1.99	1.975	1.96	1.947
Wetted Area m^2	55.741	55.724	55.708	55.701	55.686
Waterpl. Area m^2	28.37	28.188	28.021	27.874	27.733
Prismatic coeff. (Cp)	0.658	0.662	0.666	0.669	0.671
Block coeff. (Cb)	0.591	0.595	0.599	0.602	0.604
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	7.958	7.959	7.958	7.959	7.958
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	7.9	7.913	7.927	7.94	7.957
Max deck inclination deg	65.0022	66.0021	67.002	68.002	69.0019
Trim angle (+ve by stern) deg	-1.7352	-1.8182	-1.8927	-1.9907	-2.0808

Heel to starboard	70	71	72	73	74
GZ m	0.308	0.298	0.288	0.278	0.268
Area under GZ curve from zero heel m.deg	23.5264	23.8294	24.1226	24.4057	24.6787
Displacement t	28.48	28.48	28.48	28.48	28.48
Draft at FP m	0.503	0.477	0.452	0.421	0.391
Draft at AP m	-0.101	-0.157	-0.224	-0.294	-0.377
WL Length m	15.145	15.128	15.115	15.12	15.101
Beam max extents on WL m	1.934	1.923	1.911	1.901	1.891
Wetted Area m^2	55.672	55.641	55.618	55.608	55.603
Waterpl. Area m^2	27.598	27.458	27.318	27.208	27.088
Prismatic coeff. (Cp)	0.674	0.675	0.675	0.675	0.676
Block coeff. (Cb)	0.606	0.606	0.606	0.605	0.606
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	7.96	7.958	7.96	7.959	7.96
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	7.976	7.993	8.008	8.015	8.024
Max deck inclination deg	70.0018	71.0017	72.0016	73.0016	74.0015
Trim angle (+ve by stern) deg	-2.2015	-2.3127	-2.4657	-2.6059	-2.8016

Heel to starboard	75	76	77	78	79
GZ m	0.258	0.247	0.236	0.226	0.215
Area under GZ curve from zero heel m.deg	24.9415	25.1937	25.4354	25.6663	25.8864
Displacement t	28.48	28.48	28.48	28.48	28.48
Draft at FP m	0.351	0.313	0.261	0.209	0.139
Draft at AP m	-0.467	-0.575	-0.693	-0.837	-1
WL Length m	15.087	15.071	15.06	15.048	14.996
Beam max extents on WL m	1.882	1.873	1.866	1.858	1.852
Wetted Area m^2	55.595	55.597	55.602	55.607	55.586
Waterpl. Area m^2	26.97	26.858	26.758	26.658	26.538
Prismatic coeff. (Cp)	0.677	0.678	0.678	0.679	0.681
Block coeff. (Cb)	0.605	0.605	0.604	0.603	0.604
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	7.959	7.96	7.959	7.961	7.96
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	8.031	8.039	8.046	8.053	8.048
Max deck inclination deg	75.0014	76.0013	77.0012	78.0012	79.0011
Trim angle (+ve by stern) deg	-2.9833	-3.2362	-3.4797	-3.8118	-4.1523

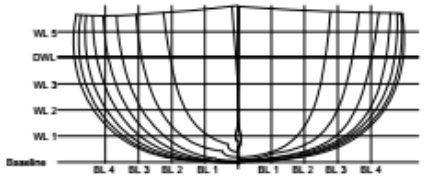
Heel to starboard	80	81	82	83	84
GZ m	0.204	0.192	0.181	0.17	0.158
Area under GZ curve from zero heel m.deg	26.0956	26.2936	26.4805	26.656	26.8202
Displacement t	28.48	28.48	28.48	28.48	28.48
Draft at FP m	0.063	-0.037	-0.154	-0.314	-0.516
Draft at AP m	-1.203	-1.443	-1.751	-2.138	-2.663
WL Length m	14.831	14.773	14.743	14.72	14.715
Beam max extents on WL m	1.846	1.84	1.835	1.831	1.827
Wetted Area m^2	55.564	55.543	55.535	55.493	55.578
Waterpl. Area m^2	26.419	26.307	26.213	26.09	26.099
Prismatic coeff. (Cp)	0.689	0.692	0.694	0.695	0.695
Block coeff. (Cb)	0.609	0.61	0.609	0.608	0.606
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	7.961	7.96	7.961	7.96	7.961
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	8.042	8.028	8.015	8.001	8.031
Max deck inclination deg	80.001	81.0009	82.0008	83.0007	84.0006
Trim angle (+ve by stern) deg	-4.6132	-5.1183	-5.811	-6.6292	-7.7911

Heel to starboard	85	86	87	88	89	90
GZ m	0.147	0.135	0.124	0.112	0.1	0.088
Area under GZ curve from zero heel m.deg	26.9729	27.1141	27.2436	27.3614	27.4676	27.5619
Displacement t	28.48	28.48	28.48	28.48	28.48	28.48
Draft at FP m	-0.812	-1.255	-1.975	-3.443	-7.844	n/a
Draft at AP m	-3.387	-4.473	-6.3	-9.928	-20.812	n/a
WL Length m	14.747	14.785	14.835	14.887	14.938	14.99
Beam max extents on WL m	1.824	1.821	1.819	1.817	1.816	1.815
Wetted Area m^2	55.521	55.527	55.54	55.558	55.568	55.564
Waterpl. Area m^2	25.969	25.908	25.861	25.825	25.787	25.741
Prismatic coeff. (Cp)	0.694	0.692	0.69	0.688	0.686	0.684
Block coeff. (Cb)	0.602	0.599	0.594	0.589	0.585	0.58
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	7.961	7.96	7.962	7.961	7.961	7.961
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	8.016	8.015	8.014	8.01	8.005	7.997
Max deck inclination deg	85.0005	86.0004	87.0003	88.0002	89.0001	90
Trim angle (+ve by stern) deg	-9.3191	-11.5867	-15.4045	-22.45	-39.5654	-90

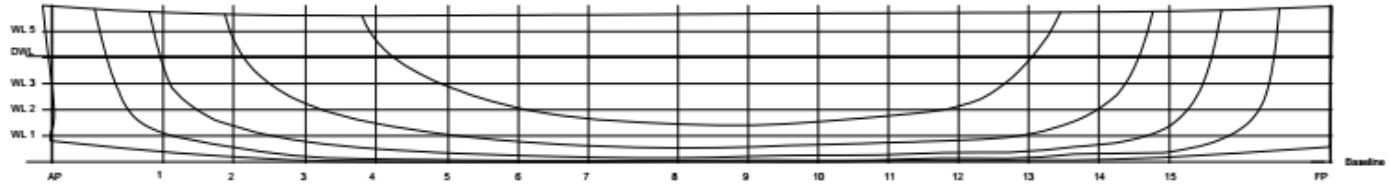
LAMPIRAN G

GAMBAR *LINES PLAN*

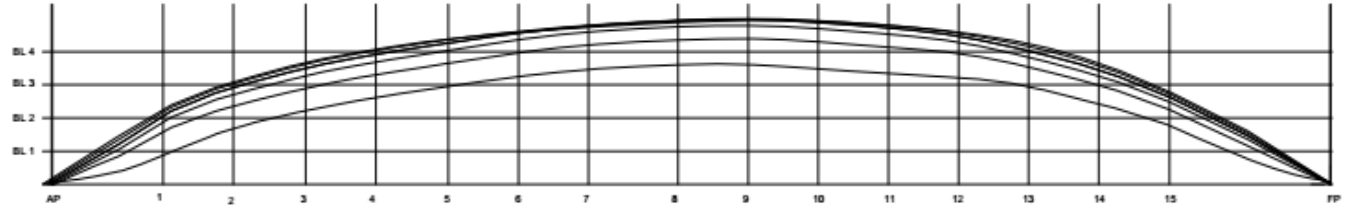
BODYPLAN



SHEER PLAN



HALF BREADTH PLAN



PRINCIPAL DIMENSIONS	
SHIP TYPE	<TRADER
LENGTH OF WATER LINE (LWL)	= 47.2100 m
BREADTH (B)	=13.7 m
HEIGHT (H)	= 1.5 m
DRAFT (T)	= 1.3 m

DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY SURABAYA

PUNJULHARJO WRECK RECONSTRUCTION

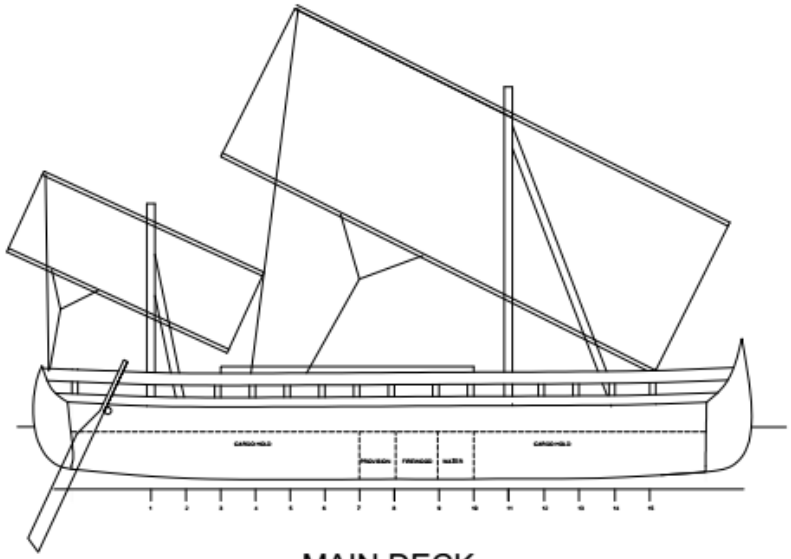
LINES PLAN

			A1

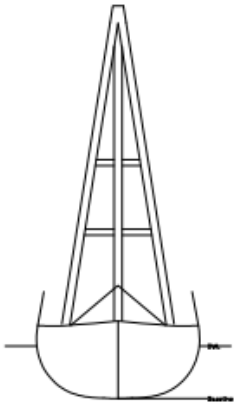
LAMPIRAN H

GAMBAR *GENERAL ARRANGEMENT*

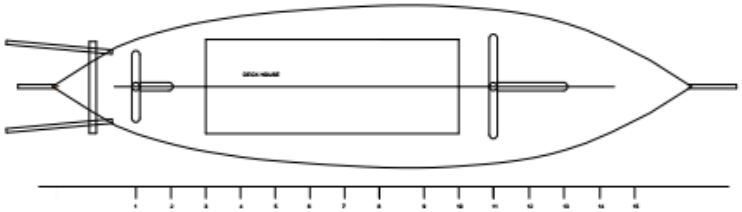
SIDE ELEVATION



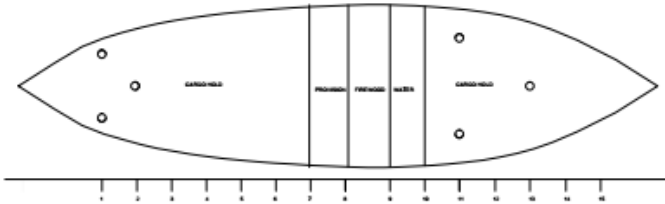
FRONT ELEVATION



MAIN DECK



TWEEN DECK



PRINCIPAL DIMENSIONS	
SHIP TYPE	= TRADER
LENGTH OF WATERLINE (LWL)	= 17,7000 m
BREADTH (B)	= 23,7 m
HEIGHT (H)	= 5,6 m
DRAFT (T)	= 3,2 m

DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY SURABAYA

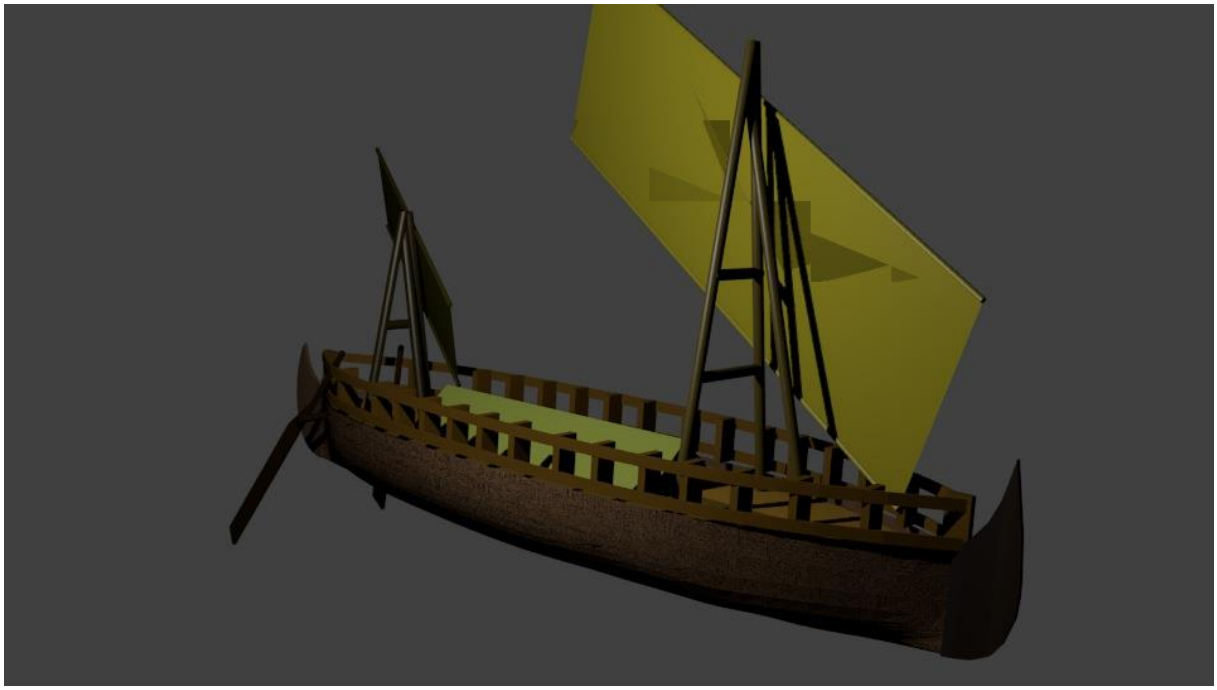
PUNJULHARJO WRECK RECONSTRUCTION

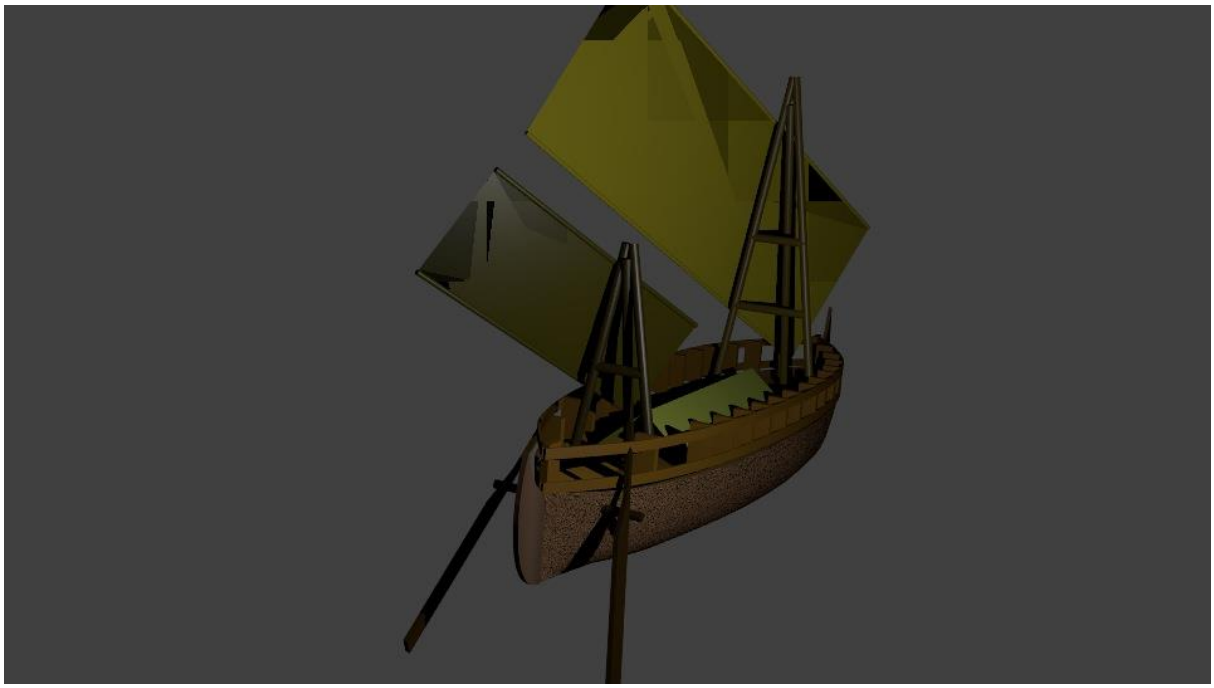
GENERAL ARRANGEMENT

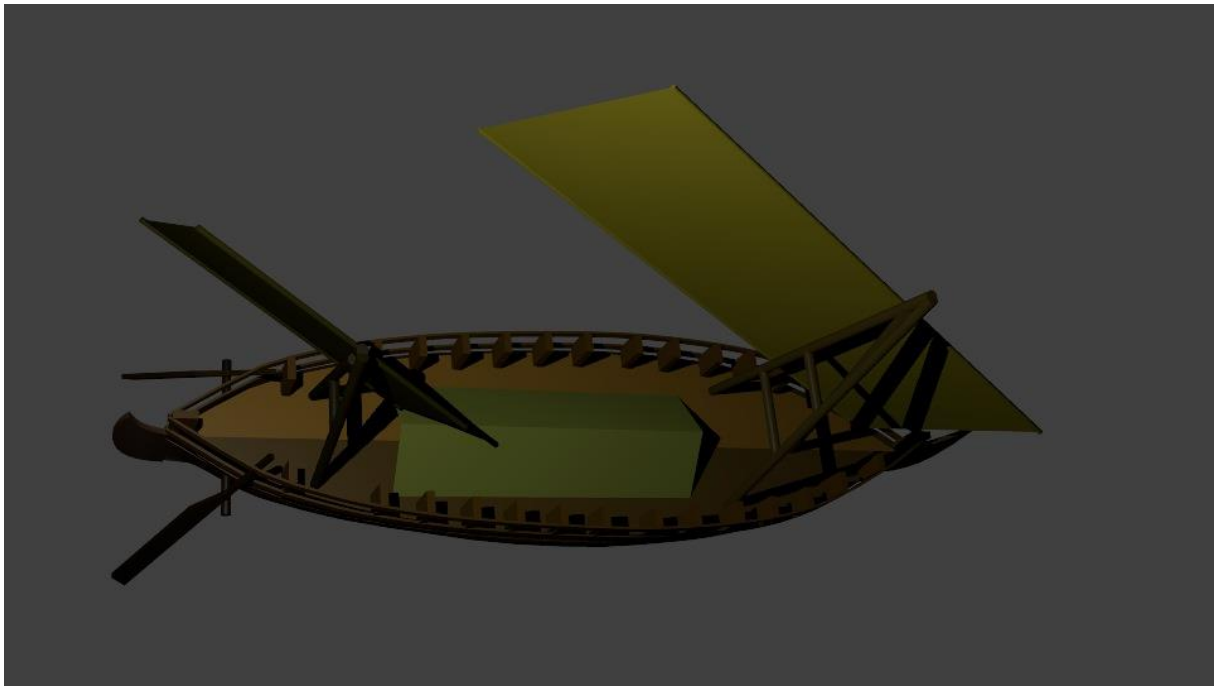
SCALE	= NONE	SIGNATURE	DATE	NAME
Drawn BY	= Rudiya Nilam Wibowo			
APPROVED BY	=			A1

LAMPIRAN I

GAMBAR 3D KAPAL







BIODATA PENULIS

Radityo Wisnu Wibowo adalah nama penulis. Dilahirkan di Salatiga pada 17 Desember 19995 silam. Penulis menempuh pendidikan formal tingkat dasar pada SD Kristen 03 Salatiga, SMPN 1 Salatiga dan SMAN 1 Salatiga. Setelah lulus SMA, Penulis diterima di Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS pada tahun 2014 melalui jalur SNMPTN.

Di Departemen Teknik Perkapalan Penulis mengambil Bidang Studi Rekayasa Perkapalan – Desain kapal. Selama masa studi di ITS, selain kuliah Penulis juga pernah terlibat dalam *event* SAMPAN 9 sebagai staff pada tahun 2015. Selain itu penulis juga pernah menjadi anggota Unit Kegiatan Mahasiswa Merpati Putih ITS, selama itu penulis pernah menjadi Kepala Divisi Pendidikan dan Kepelatihan periode 2016/2017.

Email: rwisnuwibowo@gmail.com