

STUDI PERANCANGAN *HULLFORM* KAPAL *SUPER CONTAINER* *MALACCA-MAX 18.000 TEUS*

Astra H Napitupulu, Ahmad Fauzan Zakki, Good Rindo
Program Studi S1 Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Email : Astra.napitupulu@gmail.com

Abstrak

Kapal *container* adalah kapal yang berfungsi untuk mengangkut peti kemas. Seiring perkembangan teknologi dan ilmu pengetahuan, dalam beberapa dekade terakhir kapal kontainer berkembang dalam ukuran yang besar. Hal ini merupakan jawaban atas kebutuhan akan pengangkutan barang sekaligus untuk menunjang perdagangan dan perekonomian dunia, khususnya untuk daerah kepulauan seperti Indonesia yang selama ini kekurangan sarana pengangkutan barang melalui jalur laut untuk mendistribusikan kebutuhan kebutuhan di daerah lainnya *Malacca-Max* adalah sebuah gagasan yang dibuat oleh Marco Scholtens tentang kapal pengangkut 18.000 TEU *container* yang dirancang melalui selat malaka dengan kedalaman sarat maksimal 21 m. Pada tahun 1999, ketika konsep *malacca-max* dipublikasikan, pandangan publik terhadap konsep 18.000 teus bisa menjadi kenyataan . Dalam melaksanakan penelitian ini dilakukan beberapa tahapan perancangan yaitu , membuat rencana garis, analisa stabilitas, hambatan, dan olah gerak kapal. Secara khusus penelitian ini menghasilkan 2 model rencana garis, dengan ukuran Loa: 400 m, Lpp: 380 m, Lwl: 390 m, B: 60 m, T: 21m, H:35 m, dan Cb: 0.62. Pada tinjauan stabilitas, hasil menunjukkan kapal stabil, karena titik M berada diatas titik G. Pada tinjauan olah gerak kapal , hasil menunjukkan hasil olah gerak seperti *Rolling*, *Pitching* dan *Heaving* yang baik sesuai kriteria Nordfosk.

Kata kunci : Kapal *container*, *Malacca-Max*, 18.000 TEU, perancangan, stabilitas, olah gerak kapal.

Container ship is a ship which serves to transport containers. Along with the development of technology and science , in recent decades container ships grew in size large. This is an answer to the need for the transport of goods as well as to support trade and the world economy, particularly for the islands as Indonesia which have shortage of means of transport of goods by sea to redistribute the needs of the needs in other areas. Malacca - Max is an idea created by Marco Scholtens about 18,000 TEU container carrier ship designed through the Malacca Strait with full depth of up to 21 m . In 1999 , when the concept of malacca - max published, the public's view of the concept of 18,000 teus could become a reality.

*In carrying out this research, performed some of the design stage , namely , a lines plan , stability analysis , resistance analysis , and motion of the ship analysis. In particular , this research produced two models of the lines plan , with size Loa: 400 m, Lpp: 380 m, Lwl: 390 m, B: 60 m, T: 21m, H:35 m, and Cb: 0.62. In the review of stability , the results showed a steady ship , since the point M is above point G, the results show the result of a motion such as *Rolling* , *Pitching* and *Heaving* a good fit criteria of Nordfosk.*

Keywords : container ship , Malacca - Max , 18,000 TEU , ship design , stability , motion of the ship.

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Untuk menunjang kegiatan pengangkutan barang khususnya melalui jalur laut, maka dikembangkan suatu sarana pengangkutan barang yang efektif yaitu menggunakan kapal kontainer. Kapal kontainer adalah kapal yang berfungsi untuk mengangkut peti kemas.

Seiring perkembangan teknologi dan ilmu pengetahuan, dalam beberapa dekade terakhir kapal kontainer berkembang dalam ukuran yang besar.. Hal ini merupakan jawaban atas kebutuhan akan pengangkutan barang sekaligus untuk menunjang perdagangan dan perekonomian dunia, khususnya untuk daerah kepulauan seperti Indonesia yang selama ini

kekurangan sarana pengangkutan barang melalui jalur laut untuk mendistribusikan kebutuhan kebutuhan di daerah lainnya.

Mengingat data yang di ungkap dari Direktorat Jendral Perhubungan Laut Kementerian Perhubungan menunjukkan kapal asing masih mendominasi tata niaga kelautan Indonesia. Hingga Oktober 2013, Indonesia hanya memiliki total 10.784 kapal (14,52 juta gross ton / GT). Dan dominasi pelayaran asing yang mengangkut muatan luar negeri (ekspor atau impor) menguasai 90,51 persen (525,5 juta ton). Sementara untuk muatan dalam negeri 50 persen kapal asing menguasai angkutan total barang (89,8 juta ton). Hal ini menunjukkan bahwa potensi dalam dunia maritim Indonesia masih sangat besar dan belum diberdayakan secara optimal.

Dan sebagai negara maritim yang memiliki kekayaan alam yang melimpah, sudah semestinya Indonesia memiliki armada kapal kontainer yang memadai, untuk mengangkut dan menghubungkan daerah-daerah antar pulau sekaligus untuk meningkatkan kelancaran perdagangan dan perekonomian di Indonesia. Namun kenyataannya jumlah kapal kontainer yang berada di Indonesia saat ini masih sedikit, hal ini yang menjadi pertimbangan penulis untuk melakukan perancangan kapal Malacca-Max sebuah gagasan yang di gagas oleh Marco Scholten tentang kapal pengangkut 18.000 TEU container dengan sarat maksimal 21 meter yang dirancang khusus melewati perairan selat malaka, sehingga dinamakan *Malacca-Max*.

Dalam tugas akhir ini akan dilakukan analisa permodelan meliputi stabilitas, hambatan, dan olah gerak kapal yang terjadi pada kapal *super container Malacca-Max*. Dengan membuat model kapal analisa stabilitas menggunakan *software Maxsurf*, analisa hambatan menggunakan *software Tydn* dan analisa olah gerak menggunakan *software ANSYS AQWA*.

1.2. Perumusan Masalah

Dengan memperhatikan pokok permasalahan yang terdapat pada latar belakang maka diambil beberapa rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana desain *hullform Malacca-Max super container* 18.000 TEU?
2. Bagaimana analisa stabilitas, hambatan, dan olah gerak model 1 dan 2 *Malacca-Max*?

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah digunakan sebagai arahan serta acuan dalam penulisan tugas akhir sesuai dengan permasalahan serta tujuan yang diharapkan

1. Perancangan meliputi
 - a. Rencana garis (*Lines plan*).
 - b. Stabilitas.
 - c. Hambatan.
 - d. Olah gerak kapal.
2. Menggunakan 2 variasi model.
3. Pembahasan hanya untuk perancangan kapal menggunakan pendekatan *software Delftship, Maxsurf* dan software lain yang mendukung.
4. Tidak menghitung konstruksi profil, layout kamar mesin serta perlengkapan yang dibawa.
5. Hasil akhir dari tugas akhir ini adalah berupa desain kapal dalam bentuk tiga dimensi dari software, serta data analisa dan tidak membuat *rute project* kapal tersebut.

1.4. Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang di atas maka maksud dan tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mendapatkan 2 desain hull form kapal super container Malacca-Max.
2. Mengetahui karakteristik kapal dilihat dari ukuran utama, analisa stabilitas, hambatan, dan olah geraknya.
3. Perancangan dapat menampung 18.000 TEU.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Container

Container atau peti kemas pada dasarnya dapat didefinisikan menurut kata peti dan kemas. Peti adalah suatu kotak berbentuk geometrik yang terbuat dari bahan-bahan alam (kayu, besi, baja, dll). Kemas merupakan hal-hal yang berkaitan dengan pengepakan atau kemasan. Jadi peti kemas adalah suatu kotak besar berbentuk empat persegi panjang, terbuat dari campuran baja dan tembaga atau bahan lainnya (aluminium, kayu/fiber glass) yang tahan terhadap cuaca. Digunakan untuk tempat pengangkutan dan penyimpanan sejumlah barang yang dapat melindungi serta mengurangi terjadinya kehilangan dan kerusakan barang serta dapat dipisahkan dari

sarana pengangkutan dengan mudah tanpa harus mengeluarkan isinya. [3]

		20' container		40' container	
		imperial	metric	imperial	metric
external dimension	length	19' 10 1/2"	6.058 m	40' 0"	12.192 m
	width	8' 0"	2.438 m	8' 0"	2.438 m
	height	8' 6"	2.591 m	8' 6"	2.591 m
internal dimension	length	18' 8 13/16"	5.710 m	39' 5 45/64"	12.032 m
	width	7' 8 19/32"	2.352 m	7' 8 19/32"	2.352 m
	height	7' 9 57/64"	2.385 m	7' 9 57/64"	2.385 m
door aperture	width	7' 8 1/4"	2.343 m	7' 8 1/4"	2.343 m
	height	7' 5 3/4"	2.280 m	7' 5 3/4"	2.280 m
volume		1,169 ft ³	33.1 m ³	2,385 ft ³	67.5 m ³
maximum gross mass		66,139 lb	30,400 kg	66,139 lb	30,400 kg
empty weight		4,850 lb	2,200 kg	8,380 lb	3,800 kg
net load		61,289 lb	28,200 kg	57,759 lb	26,600 kg

Table 1 Dimensi peti kemas [4]

2.2. Container Ship

Container Ship adalah kapal yang berfungsi mengangkut barang yang sudah diatur di dalam peti-peti. Muatan diperhatikan mengenai stabilitas kapal. Yang perlu diperhatikan ialah periode keolengan jangan sampai terlalu lincah, sebab membahayakan container yang ada di atas dek, lebih-lebih apabila sistem pengikatannya kurang sempurna. Konstruksi peti kemas dibuat sedemikian rupa sehingga barang-barang yang ada didalamnya terjamin keamanan dari kerusakan dan lain-lain. Kapal pengangkut peti kemas harus mempunyai fasilitas pelabuhan khusus *container*.

2.3. Super Container Malacca-Max

Kapal *container malacca-max* yang dibandingkan pada tahun 1999 dengan tiga ukuran kapal *container* lainnya yakni kapal *panamax* 4.500 teus, kapal ukuran 8.000 teus, dan kapal *suez-max* 12.000 teus, menunjukkan bahwa kapal *malacca-max* menawarkan skala ekonomi sekitar 30 % diatas kapal *panamax* dan 16 % dengan kapal ukuran 8.000 teus. Penelitian ini dimulai dengan menelaah perkembangan kapal *container* dan pelayaran. Faktor lain yang mempengaruhi yakni parameter desain kapal, seperti tuntutan operasional pemilik, dan karakteristik jalur pelayaran. [5]



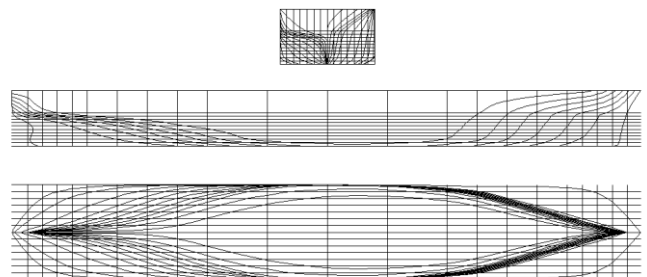
Gambar.1 Malacca-Max Triple E-Class

Bentuk lambung kapal *malacca-max* mempunyai koefisien block (cb) = 0,62. Kapal ini memiliki 26 block dari 40 ft *container*. Didalam ruang muat terdiri dari 20 *container* yang dimuat sejajar dan 24 baris *container* yang berada diatas deck. Sehingga total terdapat kapasitas penyimpanan 18.154 teus dengan 8 tingkatan *deck container*.

Kapal *malacca-max* sendiri yang sudah ada yakni kapal *super container* Maersk Triple E Class buatan Daewoo Ship Building Korea, yang mempunyai ukuran panjang 400 m, lebar 59 m, dan tinggi sarat 14,5 m.

2.4. Geometri Kapal

Penggambaran lambung kapal pada sebidang kertas gambar dinamakan rencana garis (*lines plan*), bentuk lambung kapal secara umum harus mengikuti kebutuhan daya apung, stabilitas, kecepatan, kekuatan mesin, olah gerak dan yang penting adalah kapal bisa dibangun. Gambar Rencana garis (*lines plan*) terdiri dari proyeksi ortographis / siku-siku dari interseksi / perpotongan antara permukaan / surface lambung kapal dan tiga set bidang yang saling tegak lurus.



Gambar.2 Lines Plan Malacca-Max

2.5. Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan kapal untuk kembali ke posisi semula setelah mengalami kemiringan akibat gaya yang berasal dari dalam maupun luar kapal. Prinsip dasar stabilitas dan olah gerak kapal perang Menurut Taylor (1977) stabilitas dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu: 1) Keseimbangan stabil (Stable equilibrium), 2) Keseimbangan netral (Neutral equilibrium) dan 3) Keseimbangan tidak stabil (Unstable equilibrium).

Untuk perhitungan olah gerak kapal harus dievaluasi dengan menyesuaikan standar kriteria olah gerak yang ada tergantung dari jenis kapal tersebut. Pada penelitian ini, standard olah gerak yang digunakan adalah

standar kriteria umum untuk kapal kontainer menurut IMO.

2.6. Hambatan

Dalam merencanakan kapal, faktor umum yang memegang peranan penting adalah hambatan yang akan dialami oleh kapal pada waktu bergerak. Suatu bentuk kapal dengan hambatan kecil atau sekecil mungkin adalah menjadi tujuan utama perencanaan kapal. Pada penelitian kali ini dilakukan dengan menggunakan bantuan software *hullspeed*, dan dikomparasi dengan data hasil pengujian *towing tank* menggunakan model yang sudah di skala.

2.7. Gelombang Reguler

Respon gerakan kapal terhadap gelombang regular dinyatakan dalam RAO (*Response Amplitudo Operator*), dimana RAO adalah rasio antara amplitudo gerakan kapal (baik translasi maupun rotasi) terhadap amplitudo gelombang pada frekuensi tertentu. Metode untuk menghitung nilai RAO pada penelitian ini menggunakan *Strip Theory*.

Respons gerakan RAO untuk gerakan translasi merupakan perbandingan langsung antara amplitudo gerakan kapal (Z_0) dengan amplitudo gelombang (ζ_0) (keduanya dalam satuan panjang) :

$$RAO = \frac{Z_0}{\zeta_0} \quad (\text{m/m}) \quad [1]$$

2.8. Spektrum Gelombang

Adapun spektrum gelombang yang digunakan dalam penelitian ini adalah Bretschneider or ITTC dengan menggunakan dua parameter, yaitu tinggi gelombang signifikan (H_s) dan periode rata-rata (T_{av}) . (Iqbal dan Good, 2015).

$$S_{ITTC \zeta}(\omega) = \frac{A}{\omega^5} \exp\left(\frac{-B}{\omega^4}\right) \quad [2]$$

dimana :

$$\omega = \text{Frekuensi gelombang (rad/s)}$$

$$A = 172,75 \frac{H_s^2}{T_{av}^4}$$

$$B = \frac{691}{T_{av}^4}$$

Spektrum gelombang (S_w) yang dihasilkan dari persamaan (4) sangat bergantung pada nilai frekuensi gelombang. Akibat pengaruh kecepatan kapal dan sudut datang gelombang, maka frekuensi gelombang insiden (ω_w) akan berubah menjadi frekuensi gelombang papasan atau *ecountering wave frequency* (ω_e). Gelombang papasan inilah yang digunakan untuk membuat spectrum gelombang papasan (S_e). Untuk dapat menghitung frekuensi gelombang papasan dapat menggunakan :

$$\omega_e = \left(1 - \frac{\omega V}{g} \cos \mu\right) \quad [3]$$

2.9. Spektrum Respon

Untuk mendapatkan respon gerakan kapal terhadap gelombang acak dapat digambarkan dengan spektrum respon. Spektrum respon didapatkan dengan mengalikan spektrum gelombang (S_ζ) dengan RAO^2 .

$$S_{\zeta r}(\omega) = RAO^2 \times S_\zeta(\omega) \quad [4]$$

2.10. Kriteria Seakeeping

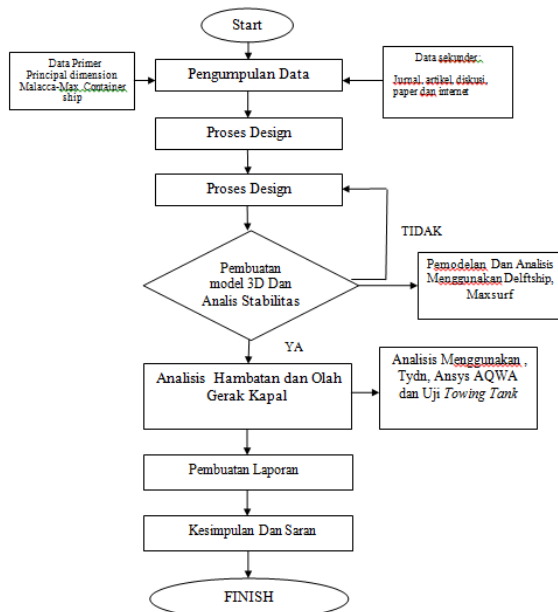
Hasil perhitungan *seakeeping* harus dievaluasi dengan menyesuaikan standar kriteria *seakeeping* yang ada tergantung jenis kapal tersebut. Pada penelitian ini, standar *seakeeping* yang digunakan adalah standar kriteria umum untuk kapal niaga yang terdapat pada tabel.

Tabel.1 Kriteria Sea Keeping Merchant Ship

No	Standar	Kriteria
1	RMS of Roll	6,0 deg
2	RMS of vertical acceleration	0,15 g
3	RMS of lateral acceleration	0,12 g

III. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi yang dipakai untuk penyelesaian tugas akhir ini secara lengkap dapat dilihat pada gambar dibawah dengan tahapan-tahapan seperti berikut :



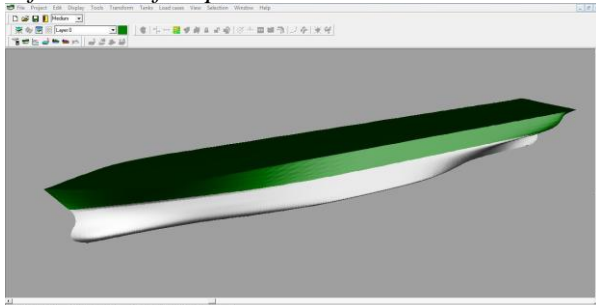
Gambar.3 Flow Chart metodologi penelitian

IV. PENGHITUNGAN DAN ANALISA DATA

4.1. Pengolahan Data

4.1.1. Pemodelan Menggunakan Delfship

Dari data yang didapat di buat pemodelan *hullform* dengan menggunakan bantuan *software Delftship versi 3.1*. Berikut ini adalah hasil visualisasi desain pada *software Delftship*.



Gambar.4 Permodelan Kapal Menggunakan Software Delftship.

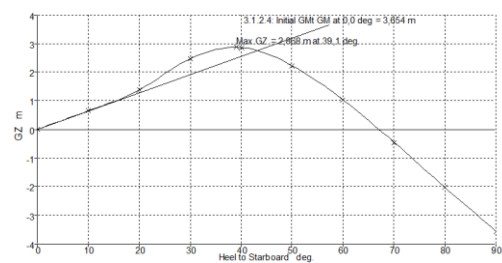
4.1.2. Analisa Stabilitas

Stabilitas kapal dianalisa menggunakan *software Hydromax* dengan jenis analisa *large angle stability*. Sebelum analisa stabilitas dihitung, komponen *light weight tonnage (LWT)* dan komponen *dead weight tonnage (DWT)* harus diketahui. Posisi titik berat dari komponen tersebut harus dapat diperhitungkan hingga mendekati keadaan yang terdapat di lapangan.

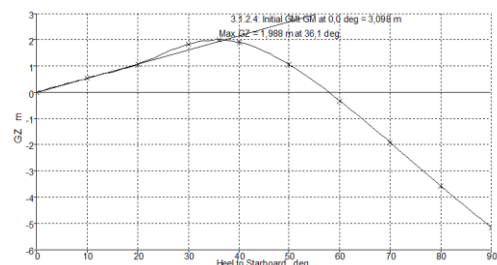
Standar analisa stabilitas menggunakan ketentuan yang terdapat pada *International Maritime Organisation (IMO)*. Standart stabilitas yang ditetapkan *IMO* adalah mengenai lengan stabilitas (*GZ*).

Tabel.2 Hasil Analisa standar IMO

Code	IMO min	M0	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
All Ship									
Area 0°-30°	3,151 m.deg	156,51	22,94	37,36	39,26	165,92	27,57	37,69	44,77
Area 0°-40°	5,157 m.deg	239,46	41,82	67,34	71,92	251,96	49,47	67,92	81,79
Area 30°-40°	1,719 m.deg	82,95	18,88	29,97	32,65	86,04	21,89	30,23	37,02
Max GFZ 30°/Grtr	0,2 m	8,45	1,93	3,1	3,43	8,69	2,23	3,12	3,94
Angle of Max GZ	25 deg	40	35,5	38,2	40	38,2	35,5	38,2	40,9
GMe	0,15 m	26,02	2,8	4,71	5,11	28,87	3,35	4,78	5,71
Container Ship >100 m									
Area 0°-30°	57,29 m.deg	156,51	22,94	37,36	39,26	165,92	27,57	37,69	44,77
Area 0°-40°	57,29 m.deg	239,46	41,82	67,34	71,92	251,96	49,47	67,92	81,79
Area 30°-40°	57,29 m.deg	82,95	18,88	29,97	32,65	86,04	21,89	30,23	37,02
Max GFZ 30°/Grtr	1,0 m	8,45	1,93	3,1	3,43	8,69	2,23	3,12	3,94
Value of Max GZ	1,0 m	8,45	1,93	3,1	3,43	8,69	2,23	3,12	3,94
Status		Pass	Fail	Fail	Pass	Pass	Fail	Fail	Pass



Gambar 22 GZ model 1



Gambar 23 GZ model 2

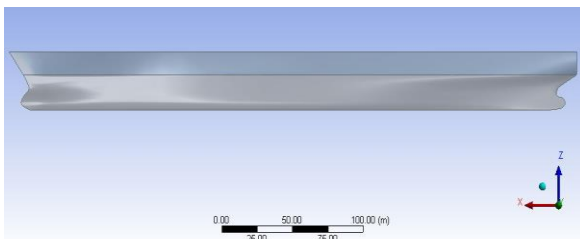
4.1.3. Simulasi Ansys AQWA

Pengujian ini menggunakan perhitungan *software* Ansys AQWA. Secara garis besar langkah – langkah simulasi olah gerak pada solver ini dibagi menjadi beberapa tahapan antara lain:

- a. Geometry
- b. Mesh
- c. Solution

4.1.4. Tahap Geometry

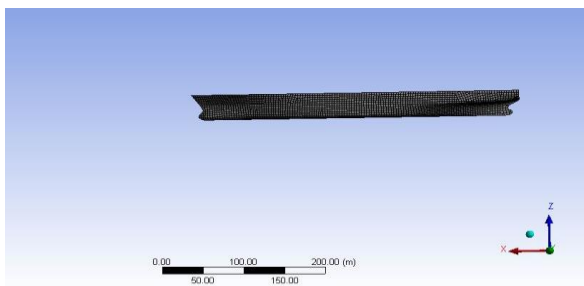
Geometry merupakan langkah awal dimana pengecekan solid tidaknya model. Pada tahap ini juga dilakukan pembuatan domain fluida tempat pengujian. Pada tahap ini perintah yang digunakan adalah file > import external geometry file > enter file model > OK > generate. Pada Gambar 6 Model akan solid apabila muncul tanda balok.



Gambar.6 Model solid

4.1.5. Tahap Mesh

Setelah domain fluida terbentuk langkah selanjutnya adalah melakukan meshing pada model. Untuk itu lebih dahulu menentukan ukuran element yang akan kita gunakan. Namun perlu diingat bahwa semakin kecil elemen yang dibuat, maka jumlah element yang terbentuk semakin banyak sehingga waktu *running* akan semakin lama dan menghasilkan kapasitas file yang besar.



Gambar 7 Hasil mesh

4.1.6. Tahap Set Up

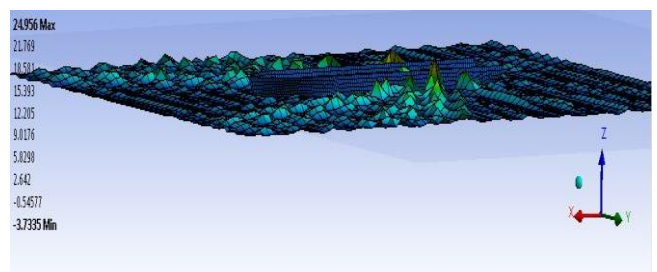
Setup adalah tahapan yang dilakukan setelah mesh berhasil dilakukan. Setup merupakan tahapan yang berisi tentang penentuan hal – hal yang berkaitan dengan simulasi. Gambar 8 Pada tahap ini dibagi menjadi beberapa langkah, antara lain default radius girasih (*gyradius*), *mass point*, *frequency ratio*, *wave heading*, *speed* dan lain-lain.

4.1.7. Tahap Solution

Setelah setup selesai di program, tahap selanjutnya adalah solution. Dalam tahap ini proses perhitungan (*running*) dilakukan berupa literasi dan perhitungan analisis pada Ansys AQWA.

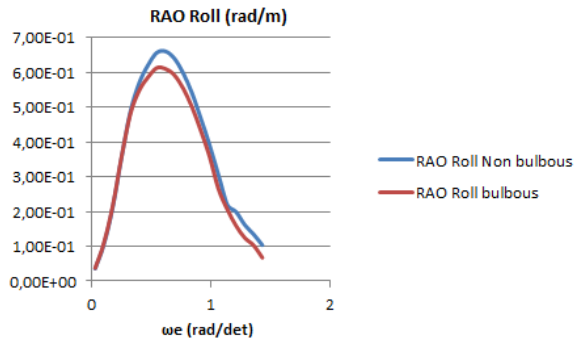
4.2 Analisa Respon Gerak Pada Gelombang Reguler

Analisa respon gerak kapal pada gelombang reguler dilakukan menggunakan *software* ANSYS AQWA meliputi 3 jenis gerakan yaitu, *roll*, *pitch* dan *heave* dengan kecepatan masing-masing untuk tiap model sebesar 25 knot, sudut heading 180° dan 90° .

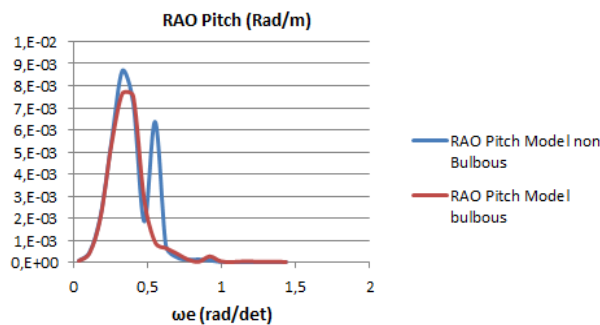


Gambar.8 Proses analisa *motion* kapal pada *software* ANSYS AQWA.

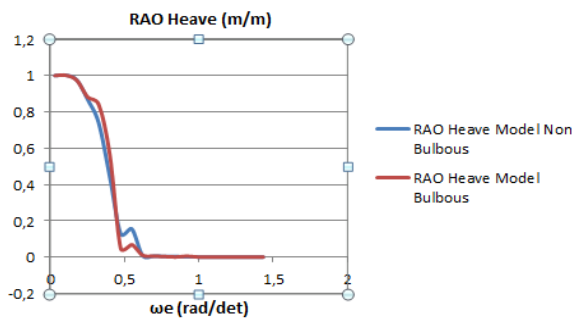
Gambar di atas merupakan tampilan model kapal saat dianalisa pada *software* ANSYS AQWA. Berikut adalah grafik dari masing-masing gerakan *roll*, *pitch* dan *heave*.



Gambar no.13 merupakan kurva respon *rolling* kapal terhadap gelombang reguler dengan frekuensi tertentu. Sedangkan untuk gambar no. 14 dan no. 15 adalah kurva respons gerakan *pitching* dan *heaving* kapal terhadap gelombang dengan frekuensi tertentu.



Gambar.10 RAO Pitch sudut heading 180°



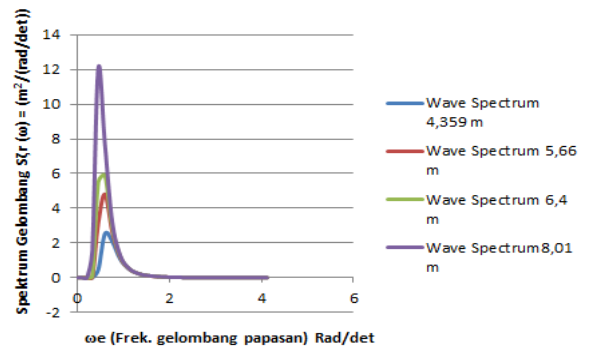
Gambar.11 RAO Heave sudut heading 180°

Dari hasil analisa RAO di atas dapat diketahui bahwa gerakan *rolling* terbesar terjadi pada model basic dengan nilai sebesar 0,6609 rad/m pada frekuensi 0,621 rad/det, sedangkan untuk gerakan *pitching* terbesar terjadi pada model basic dengan nilai sebesar 0,0086 rad/m pada frekuensi 0,326 rad/det. Dan untuk gerakan *heaving* terbesar terjadi

pada model bulbous dengan nilai sebesar 1,00023 m/m pada frekuensi 0,031 rad/det.

4.2.1 Analisa Spektrum Gelombang

Adapun analisa spektrum gelombang pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan spektrum gelombang Bretschneider atau ITTC.



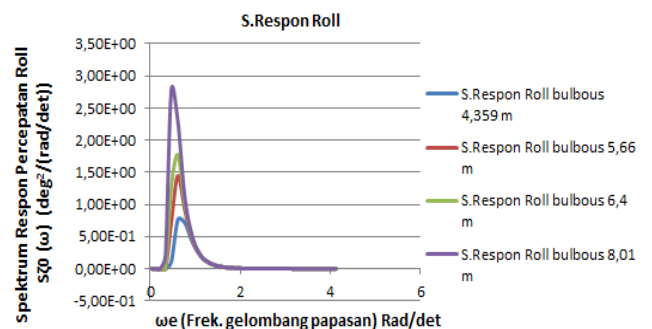
Gambar.12 Grafik Spektrum Gelombang ITTC

Nilai spektrum gelombang ITTC dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan [2], dengan variasi tinggi gelombang disesuaikan dengan nilai periodenya pada tabel *sea state*. [5]

4.2.2

Analisa Spektrum Respon

Nilai spektrum respon pada gelombang acak didapat dengan mengalikan antara nilai spektrum gelombang (S_{ζ}^2), dengan RAO^2 .



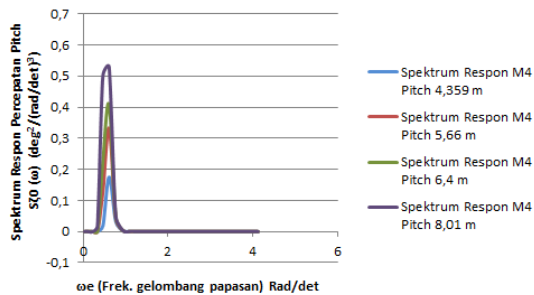
Gambar.13 Grafik Spektrum Respon *Roll*

Gambar di atas merupakan gambar dari grafik spektrum respon *roll* model kapal tipe bulbous dengan amplitudo terbesar 4,1578 pada frekuensi 0,4774 rad/det.

<i>Roll, θ</i>	Hs 4,36 m	Hs 5,66 m	Hs 6,4 m	Hs 8,01 m
Standar θ	6,00	6,00	6,00	6,00
RMS, $\sqrt{M0}$	1,00	1,34	1,53	1,89

4.2.3 Percepatan Signifikan Pitch

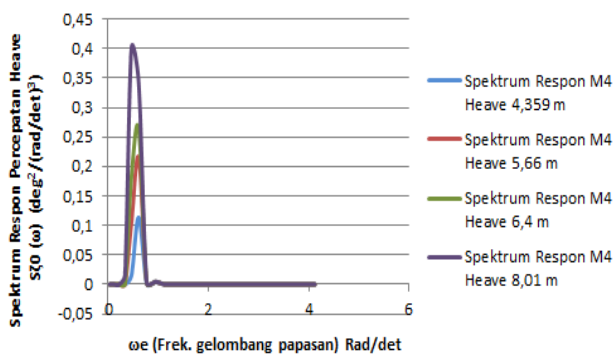
Gambar 14 merupakan spektrum respon dari gerakan percepatan *pitch*, dimana nilai terbesar dari kurva tersebut adalah sebesar 0,5294 pada frekuensi 0,609 rad/det.



Gambar.14 Grafik Spektrum Respon Percepatan *Pitch*.

4.2.4 Percepatan Signifikan Heave

Gambar 15 merupakan spektrum respon dari gerakan percepatan heave, dimana nilai terbesar dari kurva tersebut adalah sebesar 0,3998 pada frekuensi 0,4653 rad/det



Gambar.15 Grafik Spektrum Respon Percepatan *Heave*

4.3 Evaluasi Kriteria *Seakeeping*

Dari hasil analisa diatas maka dapat dibuat tabel sebagai berikut :

Tabel 3 RMS dan Nilai Rata-Rata Gerakan *Roll* model basic pada sudut heading 90(°)

<i>Roll, θ</i>	Hs 4,36 m	Hs 5,66 m	Hs 6,4 m	Hs 8,01 m
Standar θ	6,00	6,00	6,00	6,00
RMS, $\sqrt{M0}$	0,91	1,25	1,40	1,75

RMS dan nilai rata-rata gerakan *roll* pada model basic disajikan dalam Tabel 3. Berdasarkan tabel 3, respon gerakan *roll* terbesar terdapat pada gelombang 8,01 m yaitu senilai 1,89 dan terendah pada gelombang 4,36 m senilai 1,00.

Tabel 4 RMS dan Nilai Percepatan *Pitch* model basic pada sudut heading 180(°)

Percepatan Pitch, (g)	Hs 4,36 m	Hs 5,66 m	Hs 6,4 m	Hs 8,01 m
Standar	0,15	0,15	0,15	0,15
RMS, $\sqrt{m0/g}$	0,016	0,02	0,022	0,026

RMS dan nilai rata-rata gerakan percepatan *pitch* pada model basic disajikan dalam Tabel 4. Berdasarkan tabel 3, respon gerakan percepatan *pitch* terbesar terdapat pada gelombang 8,01 m yaitu senilai 0,026 dan terendah pada gelombang 4,36 m senilai 0,016.

Tabel 5 RMS dan Nilai Percepatan *Heave* model basic pada sudut heading 180(°)

Percepatan Heave, (g)	Hs 4,36 m	Hs 5,66 m	Hs 6,4 m	Hs 8,01 m
Standar	0,12	0,12	0,12	0,12
RMS, $\sqrt{m0/g}$	0,007	0,02	0,023	0,029

RMS dan nilai rata-rata gerakan percepatan *heave* pada model basic disajikan dalam Tabel 5. Berdasarkan tabel 3, respon gerakan percepatan *heave* terbesar terdapat pada gelombang 8,01 m yaitu senilai 0,029 dan terendah pada gelombang 4,36 m senilai 0,007.

Tabel 6 RMS dan Nilai Rata-Rata Gerakan

Percepatan	Hs	Hs	Hs	Hs
Pitch, (g)	4,36 m	5,66 m	6,4 m	8,01 m
Standar	0,15	0,15	0,15	0,15
RMS, $\sqrt{m_0/g}$	0,002	0,003	0,004	0,005

Roll model bulbous pada sudut heading $90(^{\circ})$

RMS dan nilai rata-rata gerakan *roll* pada model bulbous disajikan dalam Tabel 6. Berdasarkan tabel 6, respon gerakan *roll* terbesar terdapat pada gelombang 8,01 m yaitu senilai 1,75 dan terendah pada gelombang 4,36 m senilai 0,91.

Tabel 7 RMS dan Nilai Percepatan *Pitch* model bulbous pada sudut heading $180(^{\circ})$

RMS dan nilai rata-rata gerakan percepatan *pitch* pada model bulbous disajikan dalam Tabel 7. Berdasarkan tabel 7, respon gerakan percepatan *pitch* terbesar terdapat pada gelombang 8,01 m yaitu senilai 0,005 dan terendah pada gelombang 4,36 m senilai 0,002.

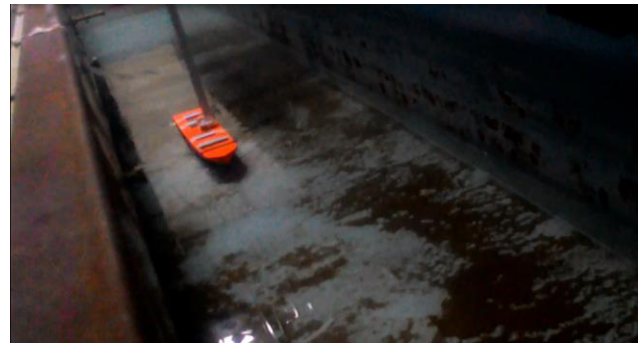
Tabel 8 RMS dan Nilai Percepatan *Heave* model basic pada sudut heading $180(^{\circ})$

Percepatan	Hs	Hs	Hs	Hs
Heave, (g)	4,36 m	5,66 m	6,4 m	8,01 m
Standar	0,12	0,12	0,12	0,12
RMS, $\sqrt{m_0/g}$	0,014	0,022	0,026	0,035

RMS dan nilai rata-rata gerakan percepatan *heave* pada model basic disajikan dalam Tabel 8. Berdasarkan tabel 3, respon gerakan percepatan *heave* terbesar terdapat pada gelombang 8,01 m yaitu senilai 0,035 dan terendah pada gelombang 4,36 m senilai 0,014.

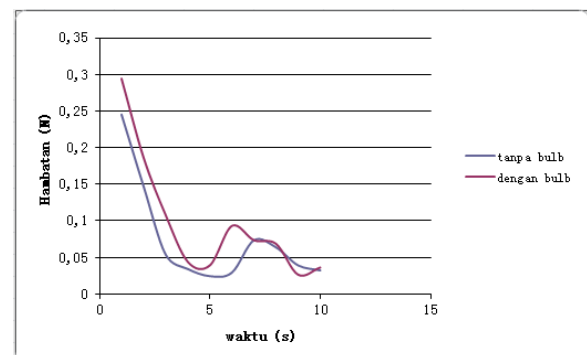
4.4 Analisa Hambatan dengan uji *Towing Tank*.

Pada pengujian *towing tank* menggunakan model basic dan bulbous, dengan masing masing skala 1:660.



Gambar.16 Proses pengambilan data saat pengujian *towing tank*.

Dengan hasil pengujian dari kedua model yaitu :



Gambar 17. Grafik diatas merupakan tahanan kapal berdasarkan waktu.

Dengan hambatan total untuk model basic senilai 0,24 N sedangkan untuk model bulbous senilai 0,1962 N.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan percobaan dan simulasi yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Hasil perhitungan hidrostatis kapal supercontainer Malacca-Max menunjukkan bahwa kapal mempunyai displacement = 311105 ton, $C_b = 0,62$, $LCB = 190,11$.
2. Nilai periode oleng sebesar 23,97 detik dan nilai GZ maksimal sebesar 1,93 meter untuk model *bulbous*, dan 21,92 detik dan nilai GZ maksimal sebesar 2,23 meter untuk model *basic*.
3. Hasil analisa *seakeeping* menunjukkan bahwa kapal mempunyai kemampuan *seakeeping* yang baik karena memenuhi kriteria Nordfosk.

Daftar Pustaka

- [1] Wijnolst, Niko, Wergeland, Tor, 2009, **Shipping Innovation**, Amsterdam, Netherland.
- [2] Santoso, IGM, Sudjono, YJ, 1983, **Teori Bangunan Kapal**, Direktorat Pendidikan Menengah Kejuruan, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, Indonesia.
- [3] Molland, Antony E, 2010, **The Maritime Engineering Reference Book**, Oxford University, Oxford:UK
- [4] Watson, D., 1998, **Practical Ship Design**, Vol.1, Elsevier Science Ltd., Kidlington, Oxford, UK.
- [5] Santosa, I Gusti Made, 1999, **Diktat Kuliah Perencanaan Kapal**, ITS Surabaya
- [6] Siswanto, Digul, 1998, **Teori Tahanan Kapal**, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi 10 November, Indonesia
- [7] Rizal, Rizal, 2014, **Perancangan Kapal Kontainer 9000 DWT Rute Surabaya Banjarmasin**, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Perkapalan, UNDIP: Semarang.
- [8] Scholtens, Marco., Waals, Frans., Wijnolst, Niko., 1999, **MALACCA-MAX The Ultimate Container Carrier**, University Press, Delft.
- [9] Bhattacharya, R, 1972, **Dynamics of Marine Vehicles**, John wileys & Sons, New York.
- [10] Iqbal, Muhammad, Rindo, Good, **Optimasi Bentuk Demihull Kapal Katamaran Untuk Meningkatkan kualitas Seakeeping**, Universitas Diponegoro, Semarang.