

OPTIMASI UKURAN UTAMA DAN STUDI PARAMETRIK BENTUK BULK CARRIER UNTUK PERAIRAN DANGKAL

Wiwin Sulistyawati

Pengajar Jurusan Teknik Perkapalan
email: w12n_sby@yahoo.com

Abstrak

Indonesia has 5.590 major rivers and creeks as 65.017. The main river of 5.5 thousand total length reached 94.573 km with a Basin area (DAS) reached 1.512.466 km². In addition to hydrological functions, the river also has a role as a means of transportation. Currently most of the rivers in Indonesia have been damaged, one of them is the high rate of erosion and sedimentation. As a result conditions (debit) quantity of river water to be fluctuating between rainy season and dry season. And one of the rivers in Indonesia which experienced a high rate of sedimentation is the Musi River in South Sumatra. Condition of the depth of the river Musi at some point ranges from 4.5 to 6 metres so that ships that large could not operate. The bulk carrier has a specification planning berorientasi ships with capacity loads as big as possible, but the size of the ship that is limited by the depth of the harbor. Then choose the type of bulk carrier ship with shallow draft specification. Ship Data comparison afterwards do the optimization process to generate sets of key size. Sets the primary measure resulting from the process of optimization, and parametric studies performed by using methods of blending hull to generate an optimal design of bulk carrier. In the determination of the most selected optimal model based on the minimum resistance value, stability criteria that meet the criteria of IMO, the acceleration and the character motion very minimum. From the analysis that was carried out against the 18 model with variations of C_b : 0.89, 0.85 and 0.80 hull form then C_b main size specs 0.8: $L_{pp} = 135.54$ m, $B = 26.58$ m, $H = 12.00$ m, and $T = 4.2$ m has the most minimum amplitude RAO to heave motion of 0.58987 (m/m), the roll motion of 16.50915 (o/m), and the pitch motion of 0.47345 (o/m)

Keyword : sedimentation, bulk carrier, optimization, parametric studies, blending hull, RAO

PENDAHULUAN

Permasalahan pada sungai Musi yang hingga saat ini belum terpecahkan adalah faktor pendangkalan yang terjadi akibat tingginya sedimentasi. Meskipun tiap tahun sungai ini dilakukan pengerukan, namun pengendapannya masih tinggi. Imbasnya, jalur pelayaran dari ambang luar sungai Musi ke pelabuhan Boom Baru Palembang menjadi terganggu. Sepanjang alur sungai Musi terdapat 13 titik rawan sedimentasi, dan 4 titik masuk kategori sangat rawan karena pendangkalannya mencapai 4 meter dengan panjang sedimentasi mencapai 7 kilometer.

Kapal bulk carrier memiliki spesifikasi mengangkut muatan curah. Kapal ini berorientasi perencanaan kapal dengan kapasitas muatan sebesar-besarnya, namun ukuran kapal yang dibatasi oleh kedalaman pelabuhan. Karakteristik utama bentuk lambung kapal bulk carrier adalah

mempunyai koefisien blok (C_b) berkisar 0,80-0,89 dan mempunyai kecepatan sedang (angka Froude 0,15-0,20). Disamping itu bulk carrier mempunyai double bottom yang rendah. Kemiringan top side tank biasanya ditetapkan pada sudut 30⁰ dan hopper side tank pada sudut 30⁰ dengan tujuan untuk efisiensi ruang muat. (Watson, 1998).

Prosedur dalam rancangan suatu kapal dapat dikembangkan dengan merumuskan proses tersebut dalam bentuk optimisasi (Lyon & Mistree, 1985). Dari optimasi dan studi parametrik tersebut diharapkan akan menghasilkan desain bulk carrier yang dapat beroperasi baik dalam kondisi pasang maupun dalam kondisi surut.

Optimasi dengan metode Design Approach

Perancangan kapal merupakan suatu proses yang dilakukan secara berulang-ulang untuk memenuhi syarat dan ketentuan yang harus dipenuhi

oleh sebuah kapal. Metode desain yang lazim digunakan dalam proses perancangan kapal adalah desain spiral. Untuk mengurangi dan meminimalisasi ketidaksesuaian suatu desain terhadap *owner requirement* pada tahap perancangan maka dalam preliminary desain kapal perlu dilakukan studi dengan metode optimasi untuk menentukan ukuran utama kapal dan hull form yang optimal. Optimalisasi desain kapal juga dapat dilakukan pada proses *preliminary design* seperti diagram pada Gambar 1.

Langkah-langkah dalam proses optimasi Microsoft Excel add-in Solver adalah:

- Menentukan Variabel Desain (*Design Variables*) dengan proses regresi linier dari data-data kapal perbandingan.
- Menentukan Parameter Desain (*Design Parameters*):
 - Permintaan owner (*owner requirement*) berupa payload sebesar 8500t.
 - Kecepatan kapal ditentukan 10 knot.
 - Koefisien Cargo ($C_{\text{cargo DWT}}$) ditentukan 0.74 berdasarkan pada batasan nilai *coefisient cargo DWT*($C_{\text{cargo DWT}}$) untuk kapal bulk carrier: 0.71 - 0.77 (Parsons, 2001)

Proses optimasi yang dilakukan dengan menggunakan *Microsoft Excel add-in Solver*. Langkah pengerjaan optimasi dilakukan untuk mendapatkan desain kapal bulk carrier yang memenuhi nilai aspek berikut ini:

- Tinggi sarat kapal maksimum pada perairan dangkal
- Payload requirement dengan batasan sarat kapal
- Meminimalkan tenaga mesin utama (*Minimizing the main engine power*)

Nilai awal (*initial value*) variabel desain dari proses regresi linier yang didapat adalah:

- Panjang (L_{pp}) = 119.48 [m]
- Lebar (B) = 19.16 [m]
- Tinggi (H) = 9.92 [m]
- Sarat (T) = 7.00 [m]
- C_b = 0.80 (ditentukan)

Guna mendapatkan variasi ukuran utama kapal maka dilakukan 3 kali proses optimasi dengan perubahan C_b . Variasi C_b yang digunakan adalah: 0.80, 0.85, dan 0.89.

Model optimasi Microsoft Excel add-in solver seperti yang ditunjukkan Gambar 2 Dari proses

optimasi dengan variasi C_b didapatkan 3 set ukuran utama yang ditunjukkan Tabel 1.

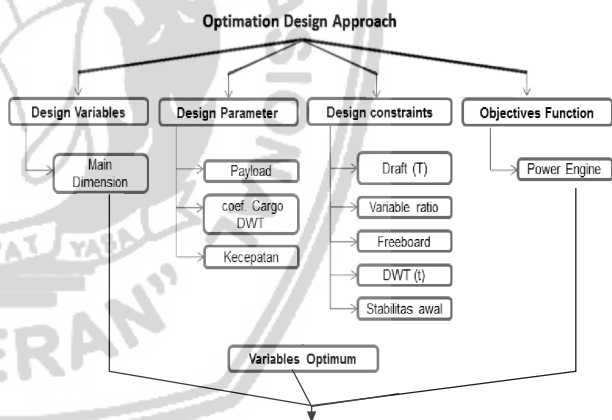
Tabel 1. Ukuran utama kapal hasil optimasi

Model	C_b	L_{pp}	B	H	T
Mod.1	0.89	128.52	25.20	10.31	4.2
Mod.2	0.85	131.88	25.86	10.38	4.2
Mod.3	0.80	135.54	26.58	12.00	4.2

3 Studi Parametrik Hull Form dengan menggunakan metode Blending Hull

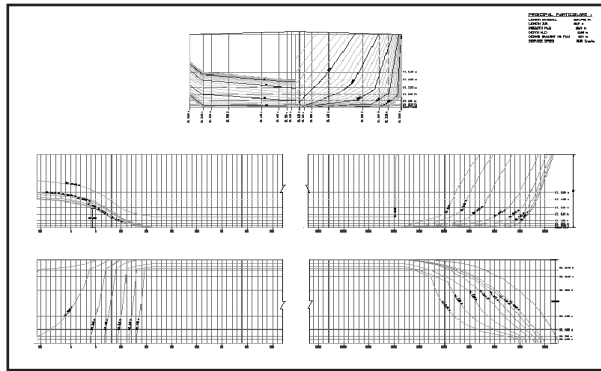
Studi parametrik *hull form* adalah dengan melakukan perubahan geometrik desain. Pada penelitian ini perubahan geometrik desain yang dilakukan adalah dengan proses *blending hull*.

Pemodelan mengacu pada *lines plan* dari kapal perbandingan yang ditunjukkan Gambar 3. Dari *linesplan* yang sama dilakukan pembuatan 3 model kapal dengan program *Maxsurf* seperti yang ditunjukkan Gambar 4 dengan variasi C_b : 0.89, 0.85, dan 0.80. Dengan melakukan perubahan *parametric transformation* dari menu program *Maxsurf* dengan ketentuan harga displasmen tetap.

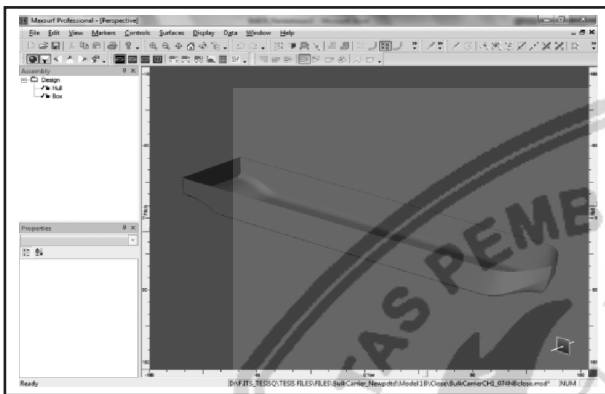


Gambar 1 Diagram optimasi Design Approach

Gambar 2 Model optimasi Microsoft Excel add-in solver



Gambar 3 Linesplan kapal bulk carrier pambanding



Gambar 4. Pemodelan dengan program Maxsurf Pro

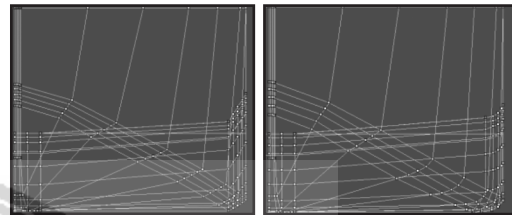
3.2 Studi Parametrik Hull Form

Studi parametrik *hull form* yang dilakukan adalah melakukan perubahan geometrik desain dengan metode *blending hull*. Proses ini dilakukan

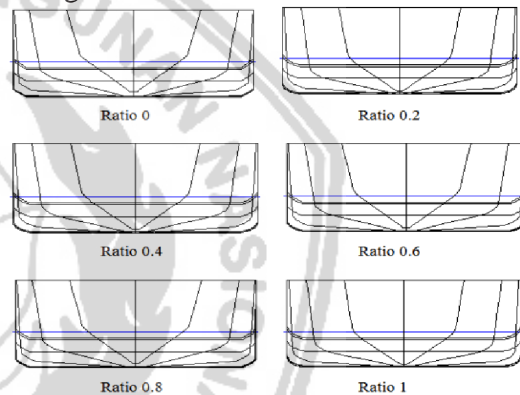
dengan melakukan perubahan rasio terhadap *control point surface* dari model.

Dari proses *blending hull* dilakukan perubahan *body plan* dari bentuk *chined* ke bentuk *rounded* (Gambar 5) dengan penentuan ratio : 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 dan 1.

Hasil proses *blending hull* seperti yang ditunjukkan Gambar 6 dengan ukuran utama untuk Model 1 (Cb 0.89) ditunjukkan pada Tabel 2, Model 2 (Cb 0.85) pada Tabel 3, dan Model 3 (Cb 0.80) pada Tabel 4.



Gambar 5. Perubahan hull dengan metode Blending



Gambar 6. Hasil proses blending hull

Tabel 2 Ukuran utama hasil proses blending hull Model 1 (Cb = 0.89)

Item	Ratio 0	Ratio 0.2	Ratio 0.4	Ratio 0.6	Ratio 0.8	Ratio 1.0
D (ton)	12902.626	12896.394	12891.366	12892.085	12894.614	12902.627
Lwl (m)	133.660	133.665	133.667	133.667	133.665	133.660
B (m)	25.20	25.20	25.20	25.20	25.20	25.20
H (m)	10.31	10.31	10.31	10.31	10.31	10.31
T (m)	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2
Cb	0.89	0.889	0.889	0.889	0.889	0.89

Tabel 3 Ukuran utama hasil proses blending hull Model 1 (Cb = 0.85)

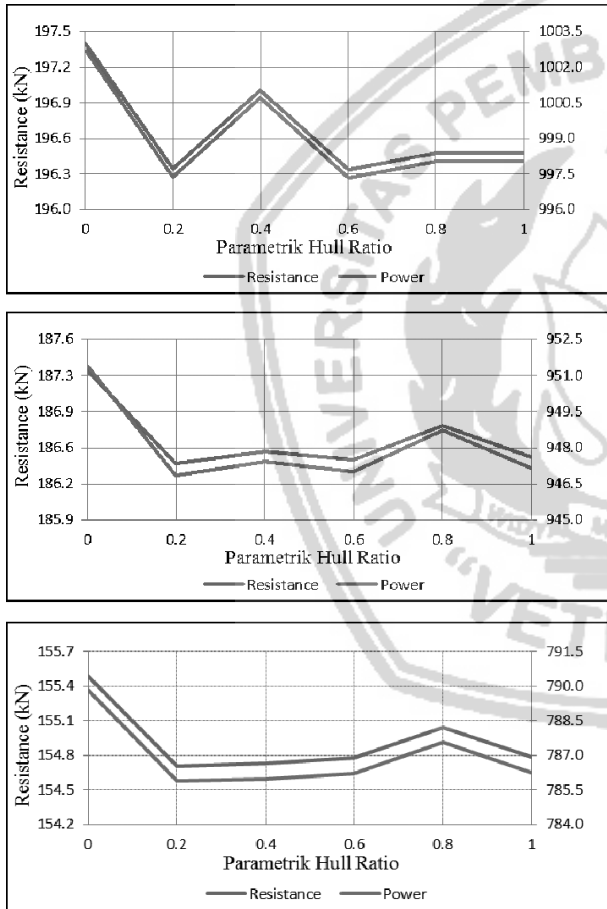
Item	Ratio 0	Ratio 0.2	Ratio 0.4	Ratio 0.6	Ratio 0.8	Ratio 1.0
D (ton)	12902.626	12896.336	12892.813	12893.136	12897.018	12902.627
Lwl (m)	137.155	137.158	137.160	137.160	137.158	137.155
B (m)	25.860	25.860	25.860	25.860	25.860	25.860
H (m)	10.38	10.38	10.38	10.38	10.38	10.38
T (m)	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2
Cb	0.85	0.845	0.845	0.845	0.845	0.85

Tabel 4 Ukuran utama hasil proses blending hull Model 3 (Cb = 0.80)

Item	Ratio 0	Ratio 0.2	Ratio 0.4	Ratio 0.6	Ratio 0.8	Ratio 1.0
D (ton)	12902.626	12897.532	12895.668	12895.910	12897.223	12902.626
Lwl (m)	140.960	140.970	140.975	140.974	140.969	140.961
B (m)	26.58	26.58	26.58	26.58	26.58	26.58
H (m)	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
T (m)	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2
Cb	0.80	0.80	0.799	0.799	0.799	0.80

4. Perhitungan Hambatan dengan Metode Holtrop

Perhitungan hambatan dan *effective power* (PE) dengan metode: *Holtrop* dilakukan dengan menggunakan software *Hullspeed* dari *Maxsurf*. Hasil perhitungan hambatan dengan metode Holtrop pada Model 1 - Model 3 ditunjukkan oleh Gambar 7.



Gambar 7. Resistance-engine power hull ratio

4.1 Koreksi Hambatan pada Perairan Dangkal

Pada perairan dangkal dapat meningkatkan hambatan gelombang dan hambatan gesek pada kapal sebagai akibat dari efek squat sehingga mengakibatkan kapal mengalami penurunan

kecepatan. Besarnya persentase penurunan kecepatan berdasarkan kurva dari Lackenby (1962) akibat dari perairan dangkal menggunakan formula dari Molland et al. (2011) yang dinyatakan pada persamaan dibawah ini:

$$\Delta V/V = 0.1242 \left[\frac{A_M}{h^2} - 0.05 \right] + 1 - \left[\tanh\left(\frac{gh}{V^2}\right) \right]^{0.5}$$

dimana:

- AV = penurunan kecepatan [m/s]
- V = kecepatan awal [m/s]
- AM = max. cross section area [m²]
- g = 9.8065 m/s²
- h = kedalaman perairan [m]

Dari hasil perhitungan prosentase penurunan kecepatan selanjutnya dapat digunakan sebagai koreksi dalam perhitungan hambatan yang dialami oleh masing-masing model. Dengan power kapal yang tetap di perairan dalam maka koreksi resistance untuk kondisi perairan dangkal pada masing-masing hull ratio Model 1-3 ditunjukkan oleh Tabel 5 - Tabel 7.

Tabel 5 Koreksi resistance pada Model 1 di perairan dangkal

Ratio	Power (kW)	Resistance (kN)	Koreksi resistance (kN)	Kenaikan resistance (%)
0	1002.747	197.40	419.10	52.90
0.2	997.365	196.34	416.85	52.90
0.4	1000.722	197.00	418.25	52.90
0.6	997.328	196.34	416.83	52.90
0.8	998.045	196.48	417.13	52.90
1	998.045	196.48	417.13	52.90

Tabel 6 Koreksi resistance pada Model 2 di perairan dangkal

Ratio	Power (kW)	Resistance (kN)	Koreksi resistance (kN)	Kenaikan resistance (%)
0	951.416	187.30	409.58	54.27
0.2	946.848	186.40	407.61	54.27
0.4	947.434	186.51	407.86	54.27
0.6	947.026	186.43	407.69	54.27
0.8	948.729	186.77	408.42	54.27
1	947.158	186.46	407.75	54.27

Tabel 11 Rekapitulasi hasil analisa stabilitas pada Model 3

Item	M3.0	M3.02	M3.04	M3.06	M3.08	M3.10
Analisa Stabilitas berdasarkan kriteria IMO						
Kondisi: <i>Full Load</i>						
Area 0-30 deg	pass	pass	pass	pass	pass	pass
Area 0-40 deg	pass	pass	pass	pass	pass	pass
Area 30-40 deg	pass	pass	pass	pass	pass	pass
Max GZ @ >30 deg	pass	pass	pass	pass	pass	pass
Kondisi: <i>Ballast arrival</i>						
Area 0-30 deg	pass	pass	pass	pass	pass	pass
Area 0-40 deg	pass	pass	pass	pass	pass	pass
Area 30-40 deg	pass	pass	pass	pass	pass	pass
Max GZ @ >30 deg	pass	pass	pass	pass	pass	pass

6. Perhitungan Periode Olang

Periode oleng adalah waktu yang dibutuhkan kapal untuk kembali tegak setelah kapal miring karena gaya yang bekerja padanya. Dalam perhitungan periode oleng menggunakan rumus dari IMO Resolution A.749(18) (1993) dan IMO Circular 707 (1995) (Molland, 2008):

$$T = \frac{2CB}{\sqrt{GM_T}}$$

$$C = 0.373 + 0.023 \left(\frac{B}{d} \right) - 0.043 \left(\frac{L}{100} \right)$$

dimana:

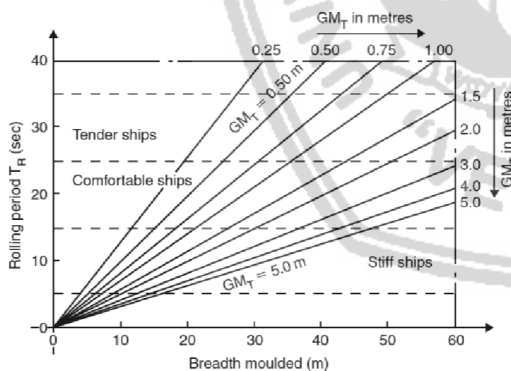
T = rolling periode [s]

B = moulded breadth of ship [m]

d = mean moulded draught of ship [m]

L = length of ship at waterline [m]

Untuk kapal yang mempunyai periode oleng yang baik berkisar antara 20-25 (s) (Barras dan Derret, 2006)



Gambar 9. Rolling Period (Barras dan Derret, 2006)

Tabel 12 Hasil perhitungan periode oleng pada Model 1 (Cb 0.89)

Item	Ratio 0	Ratio 0.2	Ratio 0.4	Ratio 0.6	Ratio 0.8	Ratio 1.0
Lwl (m)	133.66	133.665	133.667	133.667	133.665	133.66
B (m)	25.2	25.2	25.2	25.2	25.2	25.2
d (m)	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2
GM _T	9.319	9.376	9.369	9.356	9.341	9.382
C	0.454	0.454	0.454	0.454	0.454	0.454
Rolling Period (T) (s)	7.488	7.465	7.468	7.473	7.479	7.463

Tabel 13 Hasil perhitungan periode oleng pada Model 2 (Cb 0.85)

Item	Ratio 0	Ratio 0.2	Ratio 0.4	Ratio 0.6	Ratio 0.8	Ratio 1.0
Lwl (m)	137.155	137.158	137.16	137.16	137.158	137.155
B (m)	25.86	25.86	25.86	25.86	25.86	25.86
d (m)	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2
GM _T	10.314	10.257	10.278	10.293	10.305	10.232
C	0.456	0.456	0.456	0.456	0.456	0.456
Rolling Period (T) (s)	7.538	7.538	7.531	7.545	7.541	7.567

Tabel 14 Hasil perhitungan periode oleng pada Model 3 (Cb 0.80)

Item	Ratio 0	Ratio 0.2	Ratio 0.4	Ratio 0.6	Ratio 0.8	Ratio 1.0
Lwl (m)	110.96	110.97	110.975	110.974	110.969	110.961
B (m)	26.58	26.58	26.58	26.58	26.58	26.58
d (m)	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2
GM _T	10.302	10.307	10.305	10.304	10.304	10.305
C	0.458	0.458	0.458	0.458	0.458	0.458
Rolling Period (T) (s)	7.585	7.583	7.583	7.584	7.584	7.584

Dari hasil perhitungan Tabel 12-14 berdasarkan kriteria Barras dan Derret pada Gambar 9 maka dapat dikatakan model kapal tiap-tiap ratio dari model 1-3 mempunyai stabilitas yang kaku (stiff).

7. Analisa Hidrodinamika Kapal

Untuk menganalisa hidrodinamika kapal bulk carrier pada perairan dangkal digunakan respon Ansys Aqwa. Analisa dalam ANSYS 13.0 AQWA yang digunakan yaitu *Hydrodynamic Diffraction* untuk menghitung *motion characteristic* dan *Hydrodynamic Time Response* digunakan untuk menghitung *acceleration*.

Pada analisa ini input untuk respon ANSYS 13.0 AQWA ditentukan:

- Kedalaman perairan ditentukan sesuai dengan ketentuan minimum kedalaman untuk *shallow water* dimana $h/T=1.2$ atau 5.04 m dan massa jenisnya menggunakan massa jenis air tawar;
- Ukuran meshing = 0.5 x 1.5 meter, *max elemen size*
- Arah gelombang (*wave direction*) ditentukan pada;
 - *Head Sea*, yaitu sudut antara gelombang dan kapal 180°
 - *Following Sea*, yaitu sudut antara gelombang dan kapal 0°
 - *Beam Sea*, yaitu sudut antara gelombang dan kapal 90°
 - *Quartering Sea*, yaitu sudut antara gelombang dan kapal 45°
- Kecepatan dianalisa pada 5,144 m/s² (10 knot);
- Frekuensi gelombang ditentukan antara 0.1 Hz - 0.228 Hz;

6. Didasarkan pada gerak harmonis sederhana maka analisa dilakukan pada gerakan: *heaving, rolling, dan pitching*;

Tipe *spectrum* gelombang yang digunakan untuk mencari *acceleration* model adalah *spectrum JONSWAP*.

7.1 Perhitungan RAO (Response Amplitude Operator)

Perhitungan RAO (*Response Amplitude Operator*) dengan menggunakan ANSYS 13.0 AQWA untuk mengetahui prediksi motion characteristic untuk gerakan heave, roll, dan pitch. Pada Tabel 15 menunjukkan rekapitulasi hasil karakter motion terbesar pada model 1-3 dengan penandaan motion minimum pada tiap-tiap model.

Tabel 15 Rekapitulasi karakter motion maksimum pada Model 1 - 3

Motion	Ratio 0	Ratio 0.2	Ratio 0.4	Ratio 0.6	Ratio 0.8	Ratio 1.0
Model 1						
heave (m/m)	0.66042	0.64893	0.65242	0.63973	0.65872	0.64389
roll (°/m)	25.89107	24.80828	25.14500	25.68409	25.75780	24.29291
pitch (°/m)	0.48614	0.47704	0.47886	0.47018	0.48442	0.47366
Model 2						
heave (m/m)	0.64417	0.63137	0.63370	0.63621	0.64265	0.61966
roll (°/m)	23.95518	23.84865	24.17643	24.34252	24.18422	23.62691
pitch (°/m)	0.48253	0.47937	0.47869	0.48021	0.48269	0.46984
Model 3						
heave (m/m)	0.58987	0.61907	0.62002	0.62073	0.62063	0.61013
roll (°/m)	16.50915	19.51937	19.64081	19.74949	19.86472	19.32090
pitch (°/m)	0.47345	0.49821	0.49817	0.49758	0.49519	0.49344

Dari Tabel 15 menunjukkan bahwa karakter *motion* untuk *heave, roll* dan *pitch* paling minimum dari Model 1 – Model 3 terjadi pada Model 3 ratio 0 (M3.00) dengan karakter motion heave sebesar 0.58987 (m/m), roll sebesar 16.50915 (o/m), dan pitch sebesar 0.47345 (o/m)

7.2 Perhitungan Acceleration pada perairan dangkal

Motion sickness incidence adalah istilah standar untuk rasa tidak nyaman dan rasa muntah yang disebabkan berbagai kondisi gerakan kapal. *Motion sickness incidence* dapat dihitung dengan memprediksi respon kapal terhadap gelombang. Menurut O’Hanlon dan McCauley (1974) *wave vertical* dan *lateral acceleration spectrum* dapat dipakai untuk menghitung prosentase terjadinya *motion sickness incidence*. Untuk batasan kriteria *acceleration* pekerja dan kapal sesuai dengan Tabel 16 dan Tabel 17 dibawah ini.

Tabel 16 Batasan kriteria acceleration untuk pekerja (NORDFORSK 1987)

Phenomena	RMS of Vertical Acceleration	RMS of Lateral Acceleration
Light Manual Work	0.2 g	0.1 g
Heavy Manual Work	0.15 g	0.07 g
Intellectual Work	0.1 g	0.05 g
Transit Passanger	0.05 g	0.04 g
Cruise Liner	0.02 g	0.03 g

Tabel 17 Batasan kriteria acceleration untuk kapal (NORDFORSK 1987)

Phenomena	Merchant Ship	Naval Vessel	Fast small craft	Fishing Vessel
Vertical acceleration at FP (RMS value)	0.275 g	0.275 g	0.65 g	0.35 g
Vertical acceleration at bridge	0.15 g	0.2 g	0.275 g	0.2 g
Lateral acceleration at bridge	0.12 g	0.1 g	0.1 g	0.15 g

Berdasarkan hasil perhitungan RAO (*Response Amplitude Operator*) maka perhitungan acceleration dapat dilakukan dengan *Hydrodynamic Time Response* pada ANSYS 13.0 AQWA dengan asumsi bahwa tinggi gelombang pada perairan dangkal mencapai 1 m.

Berikut rekapitulasi hasil maksimum *acceleration* di perairan dangkal pada arah gelombang melintang kapal (*beam sea*) yaitu 90 derajat pada Model 1 - 3.

Tabel 18 Maksimum Acceleration pada Model 1 (Cb 0.89)

Acceleration	Wave Direction 90° (North East)					
	Ratio 0	Ratio 0.2	Ratio 0.4	Ratio 0.6	Ratio 0.8	Ratio 1.0
X (m/s ²)	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019
Y (m/s ²)	0.263	0.263	0.244	0.244	0.244	0.244
Z (m/s ²)	0.275	0.275	0.275	0.275	0.275	0.275
Acceleration	Wave Direction -90° (South West)					
	Ratio 0	Ratio 0.2	Ratio 0.4	Ratio 0.6	Ratio 0.8	Ratio 1.0
X (m/s ²)	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021
Y (m/s ²)	0.265	0.265	0.246	0.246	0.246	0.246
Z (m/s ²)	0.298	0.298	0.296	0.296	0.296	0.296

Tabel 19 Maksimum Acceleration pada Model 2 (Cb 0.85)

Acceleration	Wave Direction 90° (North East)					
	Ratio 0	Ratio 0.2	Ratio 0.4	Ratio 0.6	Ratio 0.8	Ratio 1.0
X (m/s ²)	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019
Y (m/s ²)	0.263	0.263	0.244	0.244	0.244	0.244
Z (m/s ²)	0.272	0.272	0.272	0.272	0.272	0.272
Acceleration	Wave Direction -90° (South West)					
	Ratio 0	Ratio 0.2	Ratio 0.4	Ratio 0.6	Ratio 0.8	Ratio 1.0
X (m/s ²)	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021
Y (m/s ²)	0.262	0.262	0.246	0.246	0.246	0.245
Z (m/s ²)	0.298	0.298	0.296	0.296	0.296	0.295

Tabel 20 Maksimum Acceleration pada Model 3 (Cb 0.80)

Acceleration	Wave Direction 90° (North East)					
	Ratio 0	Ratio 0.2	Ratio 0.4	Ratio 0.6	Ratio 0.8	Ratio 1.0
X (m/s ²)	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019
Y (m/s ²)	0.241	0.241	0.241	0.241	0.241	0.241
Z (m/s ²)	0.275	0.275	0.275	0.275	0.275	0.275
Acceleration	Wave Direction -90° (South West)					
	Ratio 0	Ratio 0.2	Ratio 0.4	Ratio 0.6	Ratio 0.8	Ratio 1.0
X (m/s ²)	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021
Y (m/s ²)	0.246	0.246	0.246	0.246	0.246	0.246
Z (m/s ²)	0.298	0.298	0.296	0.296	0.296	0.296

Dari Tabel 15 - Tabel 17 dapat diketahui bahwa untuk setiap variasi model pada kondisi perairan dangkal ($h/T=1.2$) telah memenuhi kriteria acceleration (NORDFORSK 1987) untuk kapal dan pekerja (heavy manual work) dengan nilai maksimal acceleration tidak melebihi 0.07 g yaitu sebesar 0.68 m/s².

8. Verifikasi Optimum Desain

Penentuan model yang paling optimal dapat dilihat dari hasil perhitungan tahanan dan perhitungan stabilitas pada setiap ratio dari body plan. Apabila tidak mendapatkan hasil stabilitas yang sesuai maka akan berulang pada proses parametrik *blending hull* atau kembali kepada proses optimasi hingga didapatkan model dengan stabilitas yang memenuhi persyaratan. Bentuk badan kapal (hull) yang telah memenuhi persyaratan stabilitas selanjutnya dilakukan analisa gerakanya terhadap perairan dangkal (*shallow water*). Dalam penentuan model yang paling optimal dipilih berdasarkan nilai hambatan minimum, kriteria stabilitas yang memenuhi IMO, karakter *motion* paling minimum dan kriteria *acceleration*.

KESIMPULAN

Berdasarkan selisih pada perhitungan hambatan seperti yang ditunjukkan Tabel 5-Tabel 7, dari prosentase selisih nilai hambatan pada semua ratio Model 1 – Model 3 berkisar 0.5%. Sedangkan selisih untuk karakter *motion* maksimum berkisar 3 - 17%. Dari prosentase selisih tersebut maka seleksi untuk model yang optimal dipilih berdasarkan pada karakter *motion* minimum. Untuk itu maka dipilih Model 3 ratio 0 (M3.00) dengan spesifikasi ukuran utama: Lpp = 135.54 m, B = 26.58 m, H = 12.00 m, T = 4.2 m yang memiliki RAO amplitude paling minimum untuk *heave motion* sebesar 0.58987 (m/m), *roll motion* sebesar

16.50915 (o/m), dan pitch motion sebesar 0.47345 (o/m)

DAFTAR PUSTAKA

- Anggara, S., 2013, Studi Komparatif Performa Hidrodinamik Kapal Bertipe *Shallow Draft Barge* pada Kondisi Perairan Dangkal, Sedang dan Dalam, Tesis, F. Teknologi Kelautan, ITS.
- Barras, C.B. and Derret, D.R., 2006, "*Ship Stability for Masters & Mates*", sixth edition. London.
- Barras, C.B., 1979, "*Ship-handling problems in shallow water*", MER, November.
- Bhattacharyya, R., 1978, "*Dynamics of Marine Vehicles*", John Wiley & Sons.
- Chakrabarti, S.K., 1987, "*Hydrodynamics of Offshore Structures*", Southampton: WIT Press.
- Hadi, E.S. dan Zain, A., 2011, Preliminary Desain Hull Form Kapal General Cargo untuk Pelayaran Jakarta-Makasar dengan Menggunakan Metode Pendekatan Deterministic, Jurnal Kapal-Vol. 8., No.1, Februari, ISSN: 1829-8370, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Holtrop, J. and Mennen, G., 1982, "*An Approximate Power Prediction Method*", International Shipbuilding Progress, Vol. 29, No. 335, July, pp. 166–170.
- IMO, *Intact Stability Code, Intact Stability for All Types of Ships Covered by IMO Instruments*. London, UK: IMO.
- International Maritime Organization (IMO), *International Convention on Load Lines (ICLL)*, 1966, as amended.
- International Towing Tank Conference (ITTC), 1957.
- Lackenby, H., 1962, "*The resistance of ships with special reference to skin friction and hull surface conditions*", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, London: 176, 981–1014.
- Lewis, E.V., 1988, "*Principle of Naval Architecture Vol II: Resistance, Propulsion and Vibration*", Published: The Society of Naval Architects and Marine Engineers.
- Molland, A.F., Turnock, R.S. and Hudson, D.A., 2011, "*Ship Resistance and Propulsion: Practical Estimation of Propulsive Power*", Cambridge University Press.
- Nordic Project Board, 1987, "*Assessment of Ship Performance in a Seaway*", Nord-Forsk,

- Nordic Cooperative Project: Seakeeping performance of ships, Copenhagen Denmark.
- O'Hanlon, J.F., and McCauley, M.E., 1974, "*Motion Sickness Incidence As a Function of the Frequency and Acceleration of Vertical Sinusoidal Motion*". Santa Barbara, CA: Human Factors Research, Inc.
- Parsons, M.G., 2001, "*Parametric Design*", Univ. of Michigan, Dept. of Naval Architecture and Marine Engineering.
- Pierson, W. J., Moscowitz, L., 1964, "*A proposed spectral form for fully developed wind seas based on the similarity theory of S A Kitaigorodskii*", Journal of Geophysical Research 69 (24): 5181–5190.
- Ping, Z., De-xiang, Z., Wen-hao, L., 2008, "*Parametric Approach to Design of Hull Forms*", Elsevier, Journal of Hydrodynamic, 20(6): 804-810.
- Rawson, K.J. and Tupper, E.C., 1994, "*Basic Ship Theory vol 1*", Fourth edition, A division of Reed Educational and Professional Publishing Ltd., Oxford, UK: Butterworth-Heinemann.
- Stephan, H., 1998, "*Parametric Design and Hydrodynamic Optimization of Ship Hull Forms*", Ph.D. Dissertation, Institute of Naval Architecture and Ocean Engineering, Technische Universität Berlin; Mensch & Buch Verlag, Berlin, ISBN 3-933346-24-X.
- Sugeng, S., 2010, Dampak Pelayaran Kapal Laut di Alur Sungai Musi, Gema Teknologi Vol 16, No 1 (2010): Periode April – Oktober, Media Informasi Sains dan Teknologi Universitas Diponegoro, Semarang.
- Taggart, R., Ed., 1980, "*Ship Design and Contruction*", The Society of Naval Architect & Marine Engineers.
- Toursethaugen, K., et al, 1984, "*Characteristica for Extreme Sea States on the Norwegian Continental Shelf*", Technical Report No. STF60 A84123, Norwegian Hydrodyn, Lab., Trondheim.
- Ventura, M., 2008, "*Ship Design I*", Ship Design Lecture's Notes, Naval Architecture and Marine Engineering, Instituto Superior Técnico, Lisbon, Portugal.
- Watson, D.G.M., 1998, "*Practical Ship Design*", Volume I. Oxford, UK: Elsevier Science Ltd.
- Xuebin, L., 2009, "*Multi objective Optimization and Multi attribute Decision Making Study of Ship's Principal Parameters in Conceptual Design*", Journal of Ship Research, Vol. 53, No. 2, June, pp. 83–92.