

KARAKTERISTIK HIDRODINAMIK DESAIN LAMBUNG KAPAL DENGAN RISE OF FLOOR DAN TANPA RISE OF FLOOR PADA PERAIRAN DALAM DAN DANGKAL

Bambang Sudjasta¹, Wiwin Sulistyawati²

Prodi Teknik Perkapalan, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jakarta, Jakarta Selatan, Indonesia^{1 2}
email¹ : bambangsudjasta58@gmail.com

Abstract

In principle Manoeuvrability vessel is strongly influenced by the design of the hull, propulsion system and steering system. Some of these elements are directly give a significant effect on the hydrodynamic force and moment when the ship maneuver. Analysis of hydrodynamic aspects is a stage that is absolutely necessary in the design process of a ship, especially for ships operating in waters with varying depths. By the time the ship through the shallow waters can increase frictional resistance surge barriers and the vessel which resulted in a decrease in speed boats. The hull form with rise of floor and without the rise of floor by focusing on the analysis of the obstacles, the character of the ship motion and acceleration criteria in deep and shallow water conditions. In numerical calculations for shallow water conditions (shallow water) with a ratio of water depth and draft of the ships, $h / d = 1.2$ and deep water (deep water) with $h / d = 20$. Evaluation of the obstacles, the character motion and acceleration for heave, roll, pitch and yaw is done by combining numerical methods through Hullspeed and AQWA Ansys program. From this numerical calculation, it can be analyzed with the rise of the hull form floor and without a rise of floor optimum for deepwater and shallow.

Keywords: Manoeuvrability, shallow water, obstacles, motion, acceleration.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Beberapa industri di Indonesia menggunakan moda transportasi kapal sebagai sarana dalam pendistribusian produksinya. Dengan kondisi perairan pada kedalaman yang bervariasi, beberapa kapal didesain untuk berlayar di laut lepas dengan kondisi perairan yang dalam, sekaligus harus dapat menjangkau perairan dangkal seperti sungai. Kapal-kapal yang beroperasi di perairan dangkal pada prinsipnya menggunakan pendekatan yang sama seperti halnya kapal-kapal yang beroperasi di laut. Prinsip *manoeuvrability* jenis kapal apapun sangat dipengaruhi oleh desain badan / lambung, sistem propulsi, dan sistem kemudi. Elemen-elemen tersebut secara langsung memberi pengaruh yang signifikan terhadap gaya dan momen hidrodinamika saat kapal bermanuver.

Permasalahan

Namun terdapat beberapa perbedaan yaitu dalam pelayaran terdapat batasan kedalaman, dimensi dan olah gerak kapal. Kapal yang berlayar di perairan sempit dan dangkal akan menimbulkan ombak haluan yang mengalir ke belakang. Di mana arus buritan mengalir ke depan, sehingga ombak buritan yang mendorong kapal. Apabila pada

kecepatan tinggi kemungkinan lunasnya akan menyentuh dasar perairan/kandas.

Tujuan

- Melakukan pembuatan model kapal dengan program *Maxsurf 13.01*.
- Melakukan analisis hambatan dengan menggunakan program *Hullspeed*.
- Melakukan analisis karakter *motion* dan *acceleration* model dengan menggunakan program *ansys AQWA*.
- Melakukan evaluasi perhitungan numerik hambatan, karakter *motion* dan *acceleration* model.

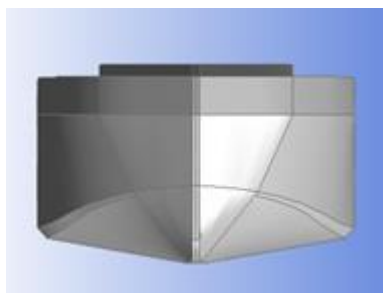
Menemukan titik optimal bentuk lambung kapal pada perairan dalam dan dangkal.

TINJAUAN PUSTAKA

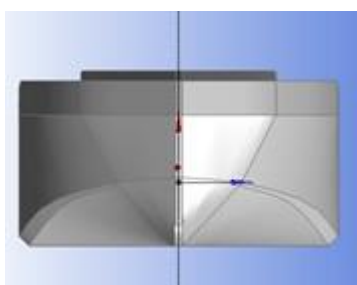
Analisis Hidrodinamika

Bentuk lambung kapal menentukan besarnya hambatan kapal yang berdampak pada kecepatan kapal. Sedangkan *manoeuvrability* kapal sangat dipengaruhi oleh perancangan badan kapal, sistem propulsi dan sistem kemudi. Sejumlah elemen tersebut secara langsung memberi pengaruh yang signifikan terhadap gaya dan momen hidrodinamika

saat kapal bermanuver. IMO (*International Maritime*



With rise of floor



Without rise of floor

Gambar 1. Bentuk lambung kapal dengan *rise of floor* dan tanpa *rise of floor*.

Organization) telah merekomendasikan beberapa kriteria standar untuk manuverabilitas kapal. Kriteria tersebut harus dipenuhi oleh sebuah kapal saat beroperasi baik di perairan yang dalam (*deep water*) maupun di perairan terbatas atau beroperasi di sekitar pelabuhan atau di perairan yang dangkal (*restricted and shallow water*).

Dampak dari kapal memasuki perairan dangkal adalah pengurangan kecepatan dan squat pengurangan jarak ruang antara lunas kapal dan dasar laut yang disebabkan oleh gerak relatif bentuk badan kapal yang terbenam dalam air.

Hipotesis

Perhitungan numerik dari karakteristik hidrodinamik desain lambung dengan *rise of floor* dan tanpa *rise of floor* pada perairan dalam dan dangkal dapat menghasilkan desain lambung yang optimum. Sehingga dapat memprediksi hambatan dan perkiraan kemampuan *seakeeping* kapal baik pada perairan dalam maupun dangkal.

METODOLOGI PENELITIAN

Identifikasi Data

- a. Studi literatur
- b. Data penelitian model eksperimen sebelumnya

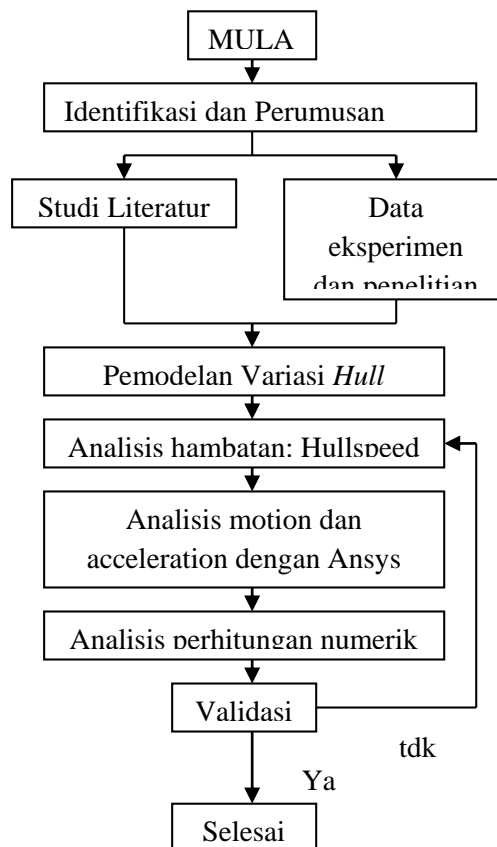
Pemodelan

Pemodelan kapal dengan menggunakan program *Maxsurf 13.01*. Dimana proses desain kapal didasarkan pada lines plan model eksperimen.

Analisis Model

Analisis dilakukan dengan melakukan perhitungan hambatan dengan menggunakan program *Hullspeed*. Selanjutnya dilakukan analisis *motion* dan *acceleration* kapal dengan menggunakan *ansys AQWA*.

Diagram Metodologi Penelitian



Gambar 2. Diagram Metode Penelitian

Evaluasi Perhitungan Numerik

Evaluasi *motion* dan *acceleration* dititikberatkan pada menghitung besarnya nilai RAO (*Response amplitude operator*) pada *heave*, *roll* dan *pitch* dan *yaw*, serta kriteria *acceleration* pada arah gelombang (*wave direction*): 0°, 45°, 90°, dan 180°.

HASIL DAN PEMBAHASAN

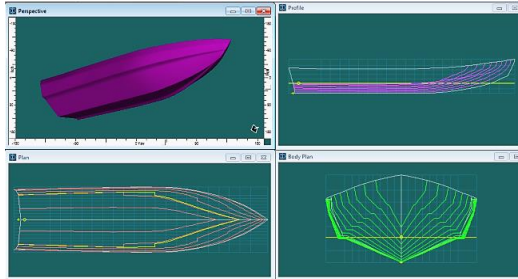
Model Bentuk Lambung Kapal

Model bentuk lambung kapal dengan *rise of floor* (RF 1) dan tanpa *rise of floor* (RF 0) seperti pada Gambar 2 dan 3. Adapun ukuran utama kapal yang digunakan adalah:

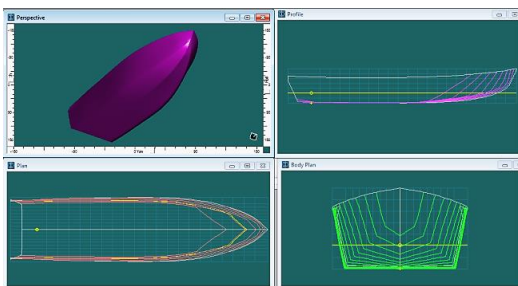
- Panjang (LWL) = 12,00 [m]
- Lebar (B) = 3,00 [m]
- Tinggi (H) = 2,00 [m]
- Sarat (T) = 0,60 [m]

– Kecepatan = 10 [knot]

Kecocokan model dalam segi ukuran utama kapal dan karakteristik kapal dengan melihat pada item calculate hydrostatic pada Maxsurf seperti pada Tabel 1 dan Tabel 2.



Gambar 3a. Model hull dengan rise of floor (RF 1)



Gambar 3b. Model hull tanpa rise of floor (RF 0)

Tabel 1. Perbandingan nilai prosentase data kapal model hull dengan rise of floor (RF 1)

No	Item	Data Kapal	Data Model	Selisi h	(%)
1	Displacement (ton)	16,35	15,683	0,67	4,08
2	Volume (m ³)	15,95	15,300	0,65	4,08
3	Draft to baseline (m)	0,60	0,600	0,00	0,00
4	LWL (m)	12,00	12,000	0,00	0,00
5	Beam WL (m)	3,00	4,267	1,27	42,23

Tabel 2. Perbandingan nilai prosentase data kapal model hull tanpa rise of floor (RF 0)

No	Item	Data Kapal	Data Model	Selisi h	(%)
1	Displacement (ton)	16,35	15,683	0,67	4,08
2	Volume (m ³)	15,95	15,301	0,65	4,07
3	Draft to baseline (m)	0,60	0,600	0,00	0,00
4	LWL (m)	12,00	12,000	0,00	0,00
5	Beam WL (m)	3,00	3,00	0,00	0,00

Model dan data kapal ditekankan pada kesamaan displacement dengan koreksi perbedaan <5% sehingga dapat dikatakan model sudah memenuhi untuk dilakukan analisis selanjutnya.

Perhitungan Hambatan

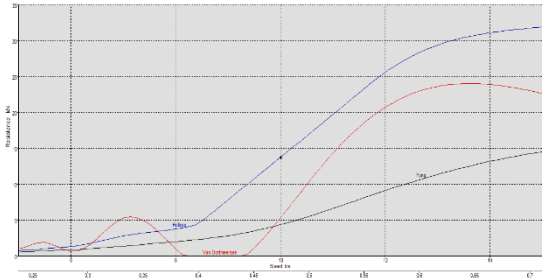
Perhitungan hambatan menggunakan software hullspeed berdasarkan persyaratan kriteria penggunaan algorithma hambatan pada Tabel 3.

Tabel 3. Kriteria numerik pemilihan algorithma

Algorithm	Requirement			
Savitsky	3.07	<	L/V1/3	< 12.4
	3.7	<	ie	< 28.6
	2.52	<	L/B	< 18.26
	1.7	<	B/T	< 9.8
	0	<	At/Ax	< 1
Lahtiharju (Round Bilge)	-0.016	<	LCG/L	< 0.0656
	4.47	<	L/V1/3	< 8.3
	0.68	<	B3/V	< 7.76
	3.33	<	L/B	< 8.21
	1.72	<	B/T	< 10.21
Lahtiharju (Hard Chine)	0.16	<	At/Ax	< 0.82
	0.57	<	Cm	< 0.89
	4.49	<	L/V1/3	< 6.81
	2.73	<	L/B	< 5.43
Holtrop	3.75	<	B/T	< 7.54
	0.43	<	At/Ax	< 0.995
	0.55	<	Cp	< 0.85
van Oortmersen	3.9	<	L/B	< 15
	2.1	<	B/T	< 4
	8	<	L	< 80
	3	<	L/B	< 6.2
	0.5	<	Cp	< 0.73
	-7	<	100 LCG / L	< 2.8
	5	<	V	< 3000
Series 60	1.9	<	B/T	< 4
	0.7	<	Cm	< 0.97
	10	<	ie	< 46
	0.6	<	Cb	< 0.8
	5.5	<	L/B	< 8.5
	2.5	<	B/T	< 3.5
Delft	-2.48%	<	LCB	< 3.51%
	2.76	<	L/B	< 5
	2.46	<	B/T	< 19.32
	4.34	<	L/V1/3	< 8.5
	-6.00%	<	LCB	< 0.00%
Compton	0.52	<	Cp	< 0.6
	-0.13	<	LCG/L	< -0.02
	4	<	L/B	< 5.2
Fung	0.0037	<	V/L^3	< 0.0053
	0.0006	<	V/L^3	< 0.0126
	1.696	<	B/T	< 10,204
	0.526	<	Cp	< 0.774
	0.556	<	Cx	< 0.994
	14.3240	<	ie	< 23.6730
2.52	<	L/B	< 17,935	

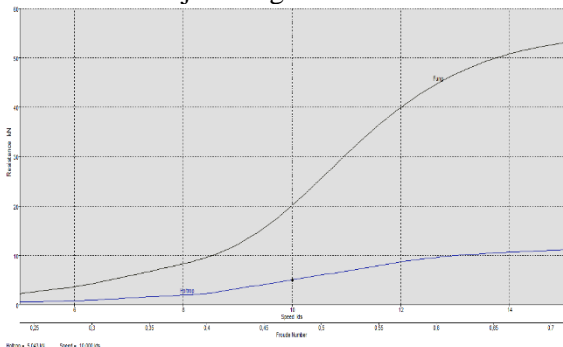
	0.662	<	Cwp	<	0.841
--	-------	---	-----	---	-------

Model *hull* RF 0 berdasarkan tabel hasil kriteria *algorithm* yang relevan digunakan dalam perhitungan hambatan menggunakan metode: *holtrop*, *van oortmeersen* dan *fung*. Hasil analisis perhitungan hambatan dengan *software hullspeed* pada model *hull* RF 0 ditunjukkan grafik di bawah.



Gambar 4. Grafik besar hambatan terhadap kenaikan kecepatan pada *hull* RF 0

Model *hull* RF 5 berdasarkan tabel hasil kriteria *algorithm* yang relevan digunakan dalam perhitungan hambatan menggunakan metode: *holtrop* dan *fung*. Hasil analisis perhitungan hambatan dengan *software hullspeed* pada model *hull* RF 5 ditunjukkan gambar di bawah.

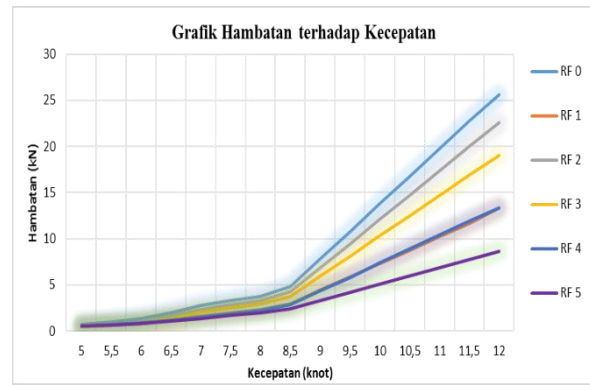


Gambar 5. Grafik besar hambatan terhadap kenaikan kecepatan pada *hull* RF 5

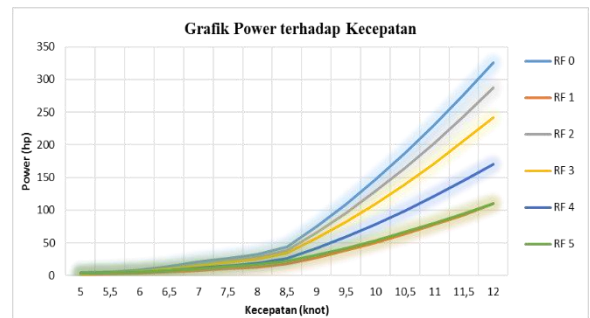
Rekapitulasi perbandingan besar hambatan dan *power* pada model *hull* tanpa *rise of floor*: RF 0 dengan model *hull rise of floor*: RF 1, RF 2, RF 3, RF 4, RF 5.

Tabel 4. Rekapitulasi besar hambatan dan *power* pada kecepatan 10 knot

Model	RF 0	RF 1	RF 2	RF 3	RF 4	RF 5
Resistance (Kn)	13,75	7,3	12,1	10,3	7,35	5,04
Power (hp)	145,93	50,39	128,41	109,3	77,96	53,53



Gambar 6. Grafik perbandingan besar hambatan model *hull*



Gambar 7. Grafik perbandingan besar *power* model *hull*

Dari hasil analisis terhadap seluruh model *hull* didapatkan hambatan terkecil dihasilkan dari model *hull* RF 5 sebesar 5,04 kN, sedangkan *power* terkecil dihasilkan dari model *hull* RF 1 sebesar 50,39 hp.

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 (1963) akibat dari perairan dangkal menggunakan formula dari Molland *et al.* (2011) yang dinyatakan pada persamaan dibawah ini:

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

$\left[\tanh\left(\frac{gh}{v^2}\right) \right]^{0.5}$ 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 dengan perbandingan kedalaman air dan sarat kapal, $h/d = 1.2$ ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Kenaikan *resistance* akibat kondisi perairan dangkal

RF	Resistance (kN)	Koreksi	Power (kW)	% Kenaikan Resistance
0	13,75	109,29	108,864	87,42
1	7,30	158,47	37,591	95,39
2	12,10	118,12	95,794	89,76
3	10,30	151,59	81,538	93,21
4	7,35	302,46	58,158	97,57
5	5,04	229,06	39,933	97,80

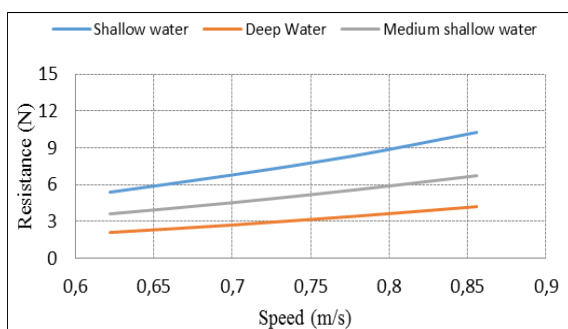
Dari hasil koreksi pada Tabel 5 menunjukkan bahwa pada kondisi perairan yang dangkal ($h=0,85$ m) maka hambatan kapal mengalami kenaikan yang besar. Perbandingan model hull yang paling kecil mengalami kenaikan hambatan ditunjukkan model hull RF 0.

Kajian Hidrodinamika

Validasi perlu dilakukan untuk memastikan bahwa hasil analisis dengan menggunakan model numerik adalah benar. Hasil pengujian dengan eksperimen dapat digunakan sebagai patokan karena kondisinya dianggap paling mendekati kondisi lapangan sebenarnya. Eksperimen yang dilakukan pada towing tank pada 3 kondisi perairan, meliputi perairan dangkal, sedang dan dalam menunjukkan bahwa hambatan terbesar dihasilkan pada perairan dangkal (Anggara, 2013). Hasil uji eksperimen yang dilakukan pada 3 kondisi perairan ditunjukkan Tabel dan Grafik .

Tabel 7. Hasil uji eksperimen untuk hambatan total

Kecepatan	Resistance (N)		
	Shallow	Medium shallow	Deep water
	h/d = 1.2	h/d = 2	h/d = 20
0.622	5.385	3.603	2.122
0.700	6.799	4.524	2.719
0.778	8.370	5.575	3.413
0.856	10.287	6.742	4.187



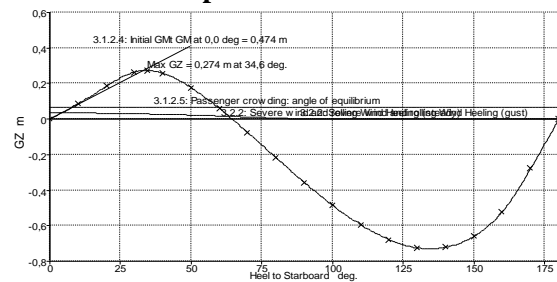
Gambar 8. Grafik uji eksperimen hambatan total pada 3 variasi kedalaman

Dari hasil eksperimen didapatkan bahwa selisih hambatan total antara *deep water* dengan *medium shallow* adalah 40% dan *deep water* dan *shallow* mencapai 60%.

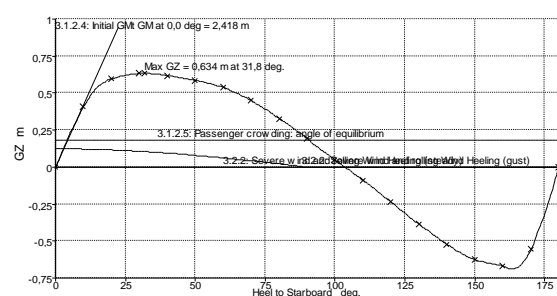
Analisis Stabilitas

Stabilitas kapal sangat ditentukan oleh beberapa faktor seperti bentuk badan kapal, berat dan letak titik berat pada saat kapal beroperasi (kondisi pemuatan). Kondisi kapal yang beroperasi selalu mengalami perubahan berat dan letak titik berat. Penilaian tentang stabilitas dilihat dari bentuk kurva stabilitas statis (kurva GZ), dimana GZ merupakan besarnya lengan pengembali kapal pada kondisi oleng tertentu. Sedangkan besarnya GZ tergantung dari besarnya KN (*Cross Curve*) dan KG (letak titik berat kapal). Kriteria stabilitas didasarkan pada persyaratan IMO (*International Maritime Organization*), *INTACT STABILITY for all types of ship covered by IMO instrument resolution A.749 (18), Chapter 3.1 – General intact stability criteria for all ships*.

Analisis stabilitas pada model hull RF 0



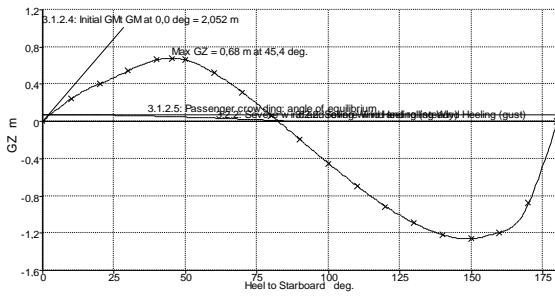
Gambar 9a. Grafilk stabilitas kondisi *full load* model RF 0



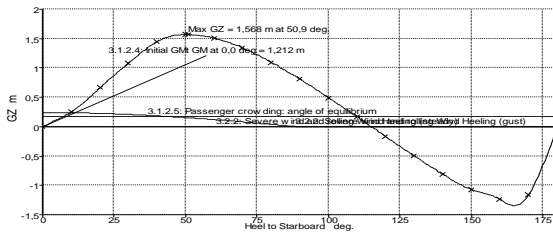
Gambar 9b. Grafilk stabilitas kondisi *ballast arrival* model RF 0

Dari hasil analisa stabilitas kondisi *full load* dan *ballast arrival* pada model RF 0 menunjukkan bahwa persyaratan stabilitas kapal memenuhi kriteria dari persyaratan IMO.

Analisis stabilitas pada model hull RF 1



Gambar 10a. Grafik stabilitas kondisi full load model RF 1

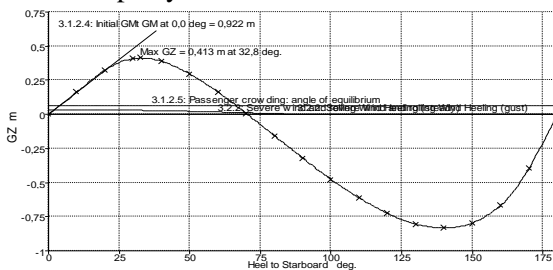


Gambar 10b. Grafik stabilitas kondisi ballast arrival model RF 1

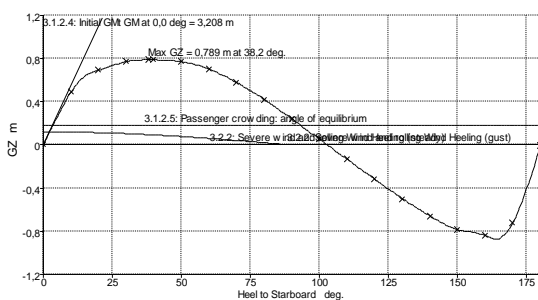
Dari hasil analisa stabilitas kondisi full load dan ballast arrival pada model RF 1 menunjukkan bahwa persyaratan stabilitas kapal memenuhi kriteria dari persyaratan IMO.

Analisis stabilitas pada model hull RF 2

Dari hasil analisa stabilitas kondisi full load dan ballast arrival pada model RF 2 menunjukkan bahwa persyaratan stabilitas kapal memenuhi kriteria dari persyaratan IMO.

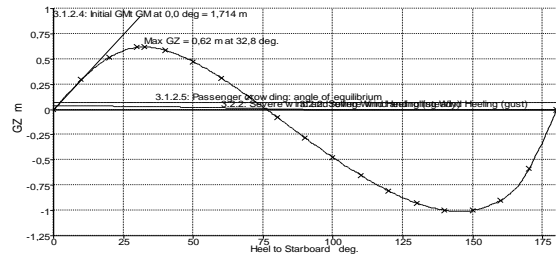


Gambar 11a. Grafik stabilitas kondisi full load model RF 2

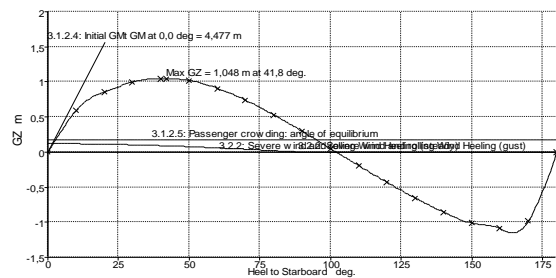


Gambar 11b. Grafik stabilitas kondisi ballast arrival model RF 2

Analisis stabilitas pada model hull RF 3



Gambar 12a. Grafik stabilitas kondisi full load model RF 3

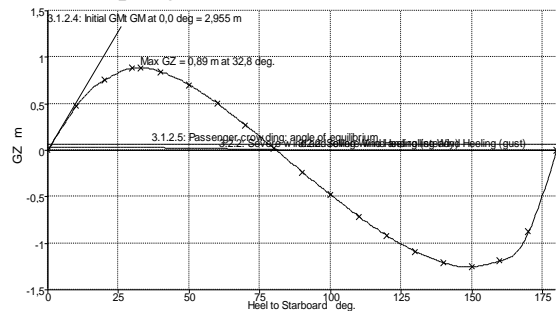


Gambar 12b. Grafik stabilitas kondisi ballast arrival model RF 3

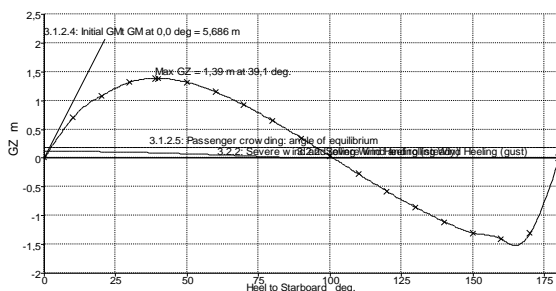
Dari hasil analisis stabilitas kondisi full load dan ballast arrival pada model RF 3 menunjukkan bahwa persyaratan stabilitas kapal memenuhi kriteria dari persyaratan IMO.

Analisis stabilitas pada model hull RF 4

Dari hasil analisa stabilitas kondisi full load dan ballast arrival pada model RF 4 menunjukkan bahwa persyaratan stabilitas kapal memenuhi kriteria dari persyaratan IMO.

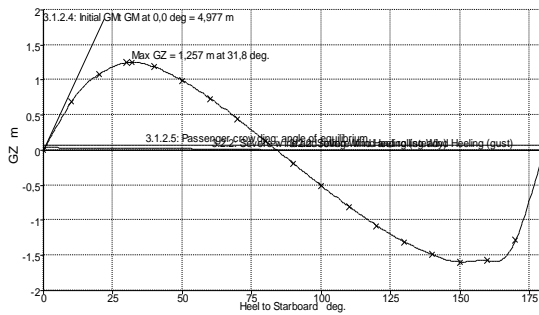


Gambar 13a. Grafik stabilitas kondisi full load model RF 4

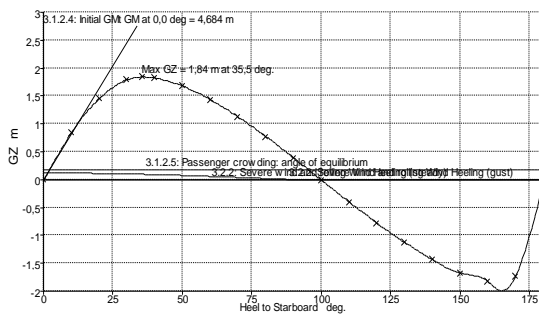


Gambar 13b. Grafik stabilitas kondisi ballast arrival model RF 4

Analisis stabilitas pada model hull RF 5



Gambar 14a. Grafik stabilitas kondisi *full load* model RF 5



Gambar 14b. Grafik stabilitas kondisi *ballast arrival* model RF 5

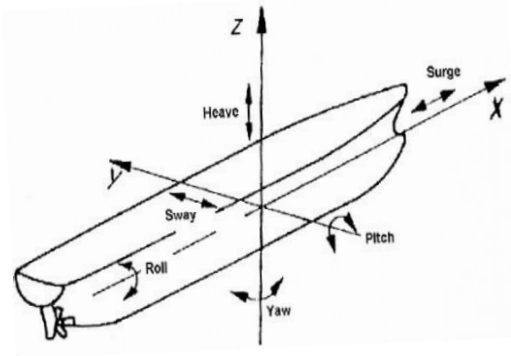
Dari hasil analisis stabilitas kondisi *full load* dan *ballast arrival* pada model RF 5 menunjukkan bahwa persyaratan stabilitas kapal memenuhi kriteria dari persyaratan IMO.

Olah Gerak Kapal (*Seakeeping*)

Pada dasarnya benda yang mengapung mempunyai enamderajat kebebasan(6 DOF) gerakan kapal terdiri dari tiga gerakan translasi dan tiga gerakan rotasi berdasarkan sumbu ordinat (Bhattacharya, 1978) yaitu:

- Gerak translasional
 - *Surge*, gerakan transversal arah sumbu x
 - *Sway*, gerakan transversal arah sumbu y
 - *Heave*, gerakan transversal arah sumbu z
- Gerak rotasional
 - *Roll*, gerakan rotasional arah sumbu x
 - *Pitch*, gerakan rotasional arah sumbu y
 - *Yaw*, gerakan rotasional arah sumbu z

Berdasarkan hasil perhitungan hambatan diketahui bahwa hambatan terkecil dihasilkan dari model hull RF 5 sebesar 5,04 kN, maka untuk analisis *seakeeping* dilakukan pada model RF 5. Input untuk respon *analisis* ditentukan:



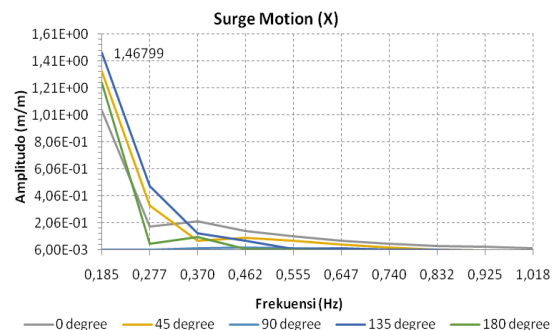
Gambar 15. Enam derajat kebebasan gerak kapal (Bhattacharya, 1978)

- Kedalaman perairan ditentukan sesuai dengan ketentuan minimum kedalaman untuk *shallow water* dimana $h/T=1.2$ atau 0,72 m dan massa jenisnya menggunakan massa jenis air tawar;
- Ukuran meshing: 0,1 x 0,25 meter, *max elemen size*
- *Seakeeping* model diam dievaluasi pada arah gelombang 0° (*following sea*), 45° (*quartering sea*), 90° (*beam sea*), 135° , dan 180° (*heading sea*), sedang model dengan kecepatan maju (*forward speed*) disimulasikan hanya pada arah gelombang 180° .
- Kecepatan dianalisis pada 5,144 m/s² (10 knot);
- Didasarkan pada gerak harmonik sederhana maka analisa dilakukan pada gerakan: *surgings* (*sb x*), *swaying* (*sb y*), *heaving* (*sb z*), *rolling* (*sb Rx*), *pitching* (*sb Ry*), dan *yawing* (*sb Rz*).

Evaluasi *seakeeping* model diam

Hasil RAO Hasil RAO *Surge Motion* (X)

Rekapitulasi nilai RAO *surgemotion* pada arah gelombang 0° (*following sea*), 45° (*quartering sea*), 90° (*beam sea*), 135° , dan 180° (*heading sea*).



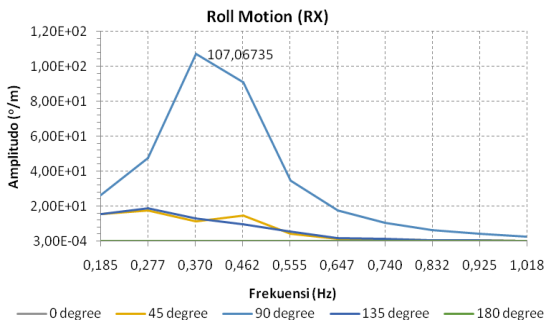
Gambar 16. Grafik RAO *surge motion* model *no speed*

Pada *surge motion* diketahui amplitudo yang tinggi untuk RAO terjadi arah gelombang 45°

(*quartering sea*) dan tertinggi pada 135° sebesar 1,46799 (m/m) pada frekuensi (ω) 0.185 Hz.

Hasil RAO Hasil RAO Roll Motion (RX)

Rekapitulasi nilai RAO *roll motion* pada arah gelombang 0° (*following sea*), 45° (*quartering sea*), 90° (*beam sea*), 135° , dan 180° (*heading sea*).

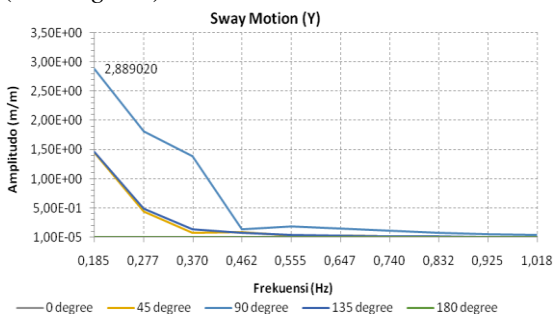


Gambar 17. Grafik RAO *roll motion* model *no speed*

Pada *roll motion* diketahui amplitudo tertinggi untuk RAO terjadi arah gelombang 90° (*beam sea*) sebesar 107,0674 ($^\circ$ /m) pada frekuensi (ω) 0,37 Hz.

Hasil RAO Hasil RAO Sway Motion

Rekapitulasi nilai RAO *sway motion* pada arah gelombang 0° (*following sea*), 45° (*quartering sea*), 90° (*beam sea*), 135° , dan 180° (*heading sea*).

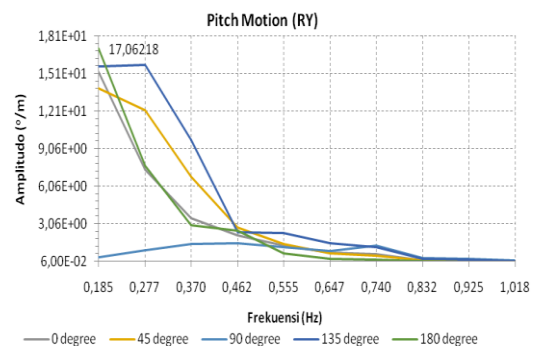


Gambar 18. Grafik RAO *sway motion* model *no speed*

Pada *sway motion* diketahui amplitudo tertinggi untuk RAO terjadi arah gelombang 90° (*Beam Sea*) sebesar 2,889 (m/m) pada frekuensi (ω) 0,185 Hz. Amplitudo untuk RAO arah gelombang 45° dan 135° nilainya berhimpit pada frekuensi (ω) 0,185 Hz sebesar $\approx 1,45$ (m/m).

Hasil RAO Hasil RAO Pitch Motion

Rekapitulasi nilai RAO *pitch motion* pada arah gelombang 0° (*following sea*), 45° (*quartering sea*), 90° (*beam sea*), 135° , dan 180° (*heading sea*).

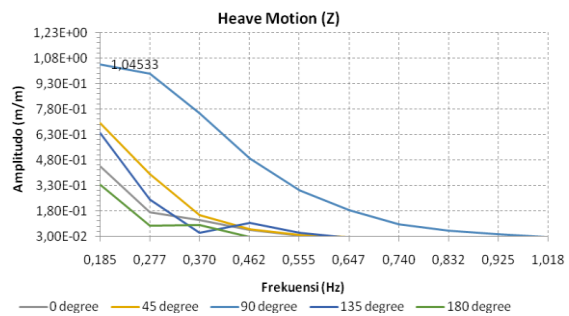


Gambar 19. Grafik RAO *pitch motion* model *no speed*

Pada *pitch motion* diketahui amplitudo tertinggi untuk RAO terjadi arah gelombang 180° (*heading sea*) sebesar 17,062 ($^\circ$ /m) pada frekuensi (ω) 0,185 Hz.

Hasil RAO Hasil RAO Heave Motion

Rekapitulasi nilai RAO *heave motion* pada arah gelombang 0° (*following sea*), 45° (*quartering sea*), 90° (*beam sea*), 135° , dan 180° (*heading sea*).



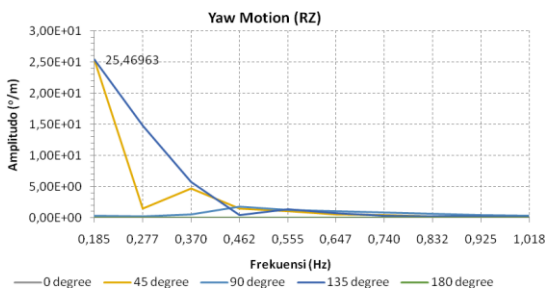
Gambar 20. Grafik RAO *heave motion* model *no speed*

Pada *heave motion* diketahui amplitudo tertinggi untuk RAO terjadi arah gelombang 90° (*beam sea*) sebesar 1,045 (m/m) pada frekuensi (ω) 0,185 Hz.

Hasil RAO Hasil RAO Yaw Motion

Rekapitulasi nilai RAO *yaw motion* pada arah gelombang 0° (*following sea*), 45° (*quartering sea*), 90° (*beam sea*), 135° , dan 180° (*heading sea*).

Pada *yaw motion* diketahui amplitudo tertinggi untuk RAO terjadi pada arah gelombang 45° (*quartering sea*) dan 135° nilainya berhimpit pada frekuensi (ω) 0,185 Hz sebesar $\approx 25,47$ ($^\circ$ /m).



Gambar 21. Grafik RAO yaw motion model no speed

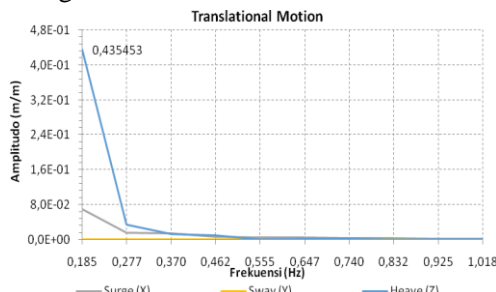
Hasil analisa seakeeping/ olah gerak pada model diam:

- Karakteristik *motion* untuk gerakan translasional, amplitudo tertinggi terjadi pada RAO *sway motion* (Y) yang terjadi arah gelombang 90° (*beam sea*) sebesar 2,889 (m/m) pada frekuensi (ω) 0.185 Hz.
- Karakteristik *motion* untuk gerakan rotasional, amplitudo tertinggi terjadi pada RAO *roll motion* (RX) yang terjadi arah gelombang 90° (*beam sea*) sebesar 107,0673 (°/m) pada frekuensi (ω) 0,37 Hz.

Evaluasi seakeeping kecepatan maju (*forward speed*) arah gelombang 180°

Rekapitulasi nilai RAO translational motion

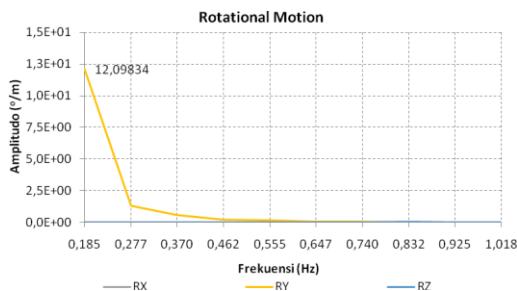
Rekapitulasi nilai RAO *translational motion* pada kecepatan maju (*forward speed*) arah gelombang 180°.



Gambar 22. Grafik RAO translational motion model forward speed 35 knot

Rekapitulasi nilai RAO Rotational Motion

Rekapitulasi nilai RAO *rotational motion* pada kecepatan maju (*forward speed*) arah gelombang 180°.



Gambar 23. Grafik RAO rotational motion model forward speed 35 knot

Hasil analisis seakeeping/ olah gerak pada kecepatan maju (*forward speed*) arah gelombang 180°:

- Pada *translational motion* diketahui amplitudo tertinggi terjadi pada RAO *heave motion* (X) sebesar 0,4354 (m/m) pada frekuensi (ω) 0,185 Hz.
- Pada *rotational motion* diketahui amplitudo tertinggi terjadi pada RAO *pitch motion* (RY) sebesar 12,098 (o/m) pada frekuensi (ω) 0,185 Hz.

SIMPULAN

Guna mendapatkan model yang optimum maka analisis dilakukan dengan variasi model pada perubahan sudut untuk model *hull* dengan *rise of floor* yang diidentifikasi sebagai RF 0, RF 1, RF 2, RF 3, RF 4, dan RF 5. Berdasarkan pemodelan, perhitungan dan analisis untuk model *hull* dengan *rise of floor* yang telah dilakukan dihasilkan:

- Kecocokan model dalam segi ukuran utama kapal dan karakteristik kapal dengan melihat pada item *calculate hydrostatic* pada *Maxsurf*. Hasil koreksi perbedaan antara model *hull* dengan *rise of floor*: RF 2, RF 3, RF 4, dan RF 5 menunjukkan bahwa toleransi kesamaan *displacement* <5%. Sehingga dapat dikatakan masing-masing model *hull* dengan *rise of floor* sudah memenuhi untuk dilakukan analisis selanjutnya.
- Hasil analisis terhadap seluruh model *hull* didapatkan hambatan terkecil dihasilkan dari model *hull* RF 5 sebesar 5,04 kN, sedangkan *power* (EHP) terkecil dihasilkan dari model *hull* RF 1 sebesar 50,39 hp.
- Dengan *power* kapal yang tetap di perairan dalam maka koreksi *resistance* untuk kondisi perairan dangkal dengan perbandingan kedalaman air dan sarat kapal, $h/d = 1.2$. Dari hasil koreksi pada kondisi perairan yang dangkal ($h=0,85$ m) maka hambatan kapal mengalami kenaikan yang besar. Perbandingan model *hull* yang paling kecil mengalami kenaikan hambatan ditunjukkan model *hull* RF 0.
- Hasil analisis stabilitas didapatkan: Dari hasil analisis stabilitas kondisi muatan kosong (*lightship*) dan kondisi *full load* (*displacement*) menunjukkan bahwa persyaratan stabilitas kapal memenuhi kriteria dari persyaratan IMO.
- Hasil analisis *seakeeping*/olah gerak
 - Model diam didapatkan:
 - Karakteristik *motion* untuk gerakan translasional, amplitudo tertinggi terjadi pada RAO *sway motion* (Y) yang terjadi arah gelombang 90° (*beam sea*) sebesar 2,889 (m/m) pada frekuensi (ω) 0.185 Hz.

- Karakteristik *motion* untuk gerakan rotasional, amplitudo tertinggi terjadi pada RAO *roll motion* (RX) yang terjadi arah gelombang 90° (*beam sea*) sebesar 107,0673 (°/m) pada frekuensi (ω) 0,37 Hz.
- 2) Model dengan speed 10 knot didapatkan:
- 3) Pada translational motion diketahui amplitudo tertinggi terjadi pada RAO heave motion (X) sebesar 0,4354 (m/m) pada frekuensi (ω) 0,185 Hz.
- 4) Pada rotational motion diketahui amplitudo tertinggi terjadi pada RAO pitch motion (RY) sebesar 12,098 (o/m) pada frekuensi (ω) 0,185 Hz.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggara, S., 2013, Studi Komparatif Performa Hidrodinamik Kapal *Bertipe Shallow Draft Barge* pada Kondisi Perairan Dangkal, Sedang dan Dalam, Tesis, FTK-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.
- 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.
- Lyon, T.D. and Mistree, F., 1985, “*A Computer-Based Method for the Preliminary Design of Ships*”, *Journal of Ship Research*, Vol. 29, No. 4, Dec, p. 251-269.
- 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.
- Sulistiyawati, W., 2013, Optimasi Ukuran Utama dan Studi Parametrik Bulk Carrier untuk Perairan dangkal, Tesis, Fakultas Teknologi Kelautan, ITS.
- Taggart, R., Ed., 1980, “*Ship Design and Construction*”, 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.
- Watson, D.G.M., 1998, “*Practical Ship Design*”, Volume I. Oxford, UK: Elsevier Science Ltd.
- Bambang Sudjasta dkk, 2011, *Prototipe Rancangan Kapal Tipe Pendarat 200 GRT Sebagai Sarana Penyeberangan Antar Pulau Di Daerah Terpencil Kepulauan Indonesia*, Jurnal Ilmiah FT-UPNVJ Bina Teknik Volume 7 Nomor 2 Edisi November.
- Bambang Sudjasta dkk, 2012, *Perancangan Bis Air Kapasitas 40 Penumpang Sebagai Sarana Transportasi Alternatif Pada Kanal Banjir Timur Provinsi DKI Jakarta*, Jurnal Ilmiah FT-UPNVJ Bina Teknik Volume 8 Nomor 2 Edisi Desember.
- Bambang Sudjasta, Iswadi Nur, 2008, *Pengaruh Angin Terhadap Kecepatan Kapal Penumpang 500 PAX*, Jurnal Ilmiah FT-UPNVJ Bina Teknik Volume 4 Nomor 1 Edisi Februari.
- Iswadi Nur, 2012, *Penggunaan Skala 1 : 1 Dan Pengukuran Shipsectional Area Dalam Penggambaran Bentuk Badan Kapal Secara Manual Dengan Metode RF. Sceltema Deheere*, Jurnal Ilmiah FT-UPNVJ Bina Teknik Volume 8 Nomor 1 Edisi Juni.
- Iswadi Nur, 2013, *Metode Sederhana Memilih Jenis Lambung Kapal Kecil (Boat) Sesuai Fungsinya Berdasarkan Pertimbangan Stabilitas Agar Dapat Menghindari Kecelakaan Di Laut*, Jurnal Ilmiah FT-UPNVJ Bina Teknik Volume 9 Nomor 2 Edisi Desember.
- Wiwin Sulistyawati, 2014, *Optimasi Ukuran Utama dan Studi Parametrik Bentuk Bulk Carrier Untuk Perairan Dangkal*, Jurnal Ilmiah FT-UPNVJ Bina Teknik Volume 10 Nomor 1 Edisi Juni.