

OPTIMASI BENTUK DEMIHULL KAPAL KATAMARAN UNTUK MENINGKATKAN KUALITAS *SEAKEEPING*

Muhammad Iqbal, Good Rindo¹⁾

¹⁾Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang
Email: m_iqbal@undip.ac.id

Abstrak

Prediksi performa *seakeeping* (olah gerak) kapal di perairan tertentu adalah salah satu dari aspek-aspek penting pada tahap perencanaan kapal. Penelitian ini fokus pada optimasi bentuk demihull kapal untuk meningkatkan kualitas *seakeeping* sesuai dengan standar kriteria umum *seakeeping* untuk kapal militer. Bentuk lambung demihull yang digunakan adalah *NPL Hull Form Series 4b*. Bentuk lambung tersebut diubah dengan mengubah parameter nilai koefisien blok (C_b) sebesar $\pm 10\%$ dengan Metode Lackenby. Hasil bentuk lambung demihull yang optimal didapatkan dengan memperbesar nilai C_b sebesar 10%. Respon gerakan dari bentuk lambung tersebut memenuhi semua kriteria *seakeeping* dan memiliki respon gerakan paling minimum.

Kata kunci : Optimasi, Katamaran, *Seakeeping*, *NPL Series 4b*

1. PENDAHULUAN

Prediksi performa *seakeeping* (olah gerak) kapal di perairan tertentu adalah salah satu dari aspek-aspek penting pada tahap perencanaan kapal. Performa *seakeeping* menjadi penting karena terkait dengan aspek kenyamanan dan keselamatan suatu kapal. Selain kedua aspek tersebut prediksi penambahan hambatan kapal akibat kapal melaju di atas gelombang juga penting untuk memprediksi kebutuhan konsumsi bahan bakar.

Tujuan penelitian ini adalah mendapatkan bentuk demihull kapal yang optimal dalam hal kualitas *seakeeping*. Standar kriteria yang digunakan adalah standar kriteria umum *seakeeping* untuk kapal militer yang terdapat pada [1].

Bentuk lambung demihull diubah dengan mengubah parameter nilai koefisien blok (C_b) sebesar $\pm 10\%$. Metode untuk mengubah bentuk lambung dengan cara mengubah salah satu parameter ukuran utama kapal dapat menggunakan Metode Lackenby. Metode ini pernah dilakukan oleh [2] untuk mengoptimalkan kualitas *seakeeping* kapal cepat berlambung tunggal.

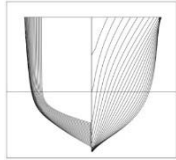
2. METODOLOGI

2.1. Bentuk dan Ukuran Demihull

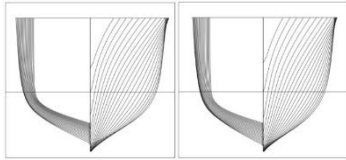
Bentuk lambung demihull awal dimodifikasi dengan mengubah parameter koefisien blok (C_b) $\pm 10\%$ dan lebar demihull (B) dengan panjang (L_{wl}), Sarat (T) dan Displasemen kapal (Δ) tetap. Bentuk lambung awal yang digunakan adalah *The NPL Hull Form Series 4b*. Ukuran utama bentuk lambung awal dan gambar *body plan* terdapat pada Tabel 1 dan Gambar 1. Hasil modifikasi bentuk lambung terdapat pada Tabel 2 dan Gambar 2-4.

Tabel 1. Ukuran Utama Demihull Awal

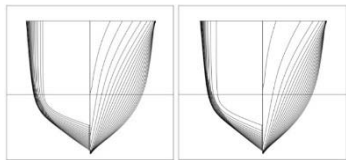
Particular	Demihull
Lwl	19,963 (m)
B	2,22 (m)
H	2,50 (m)
T	1,11 (m)
C_b	0,394
WSA	53,386 m ²
Volume	19,443 m ³
Displacement	19,929 Ton
L/B	9,0
B/T	2,0
$L/(Vol)^{1/3}$	7,42



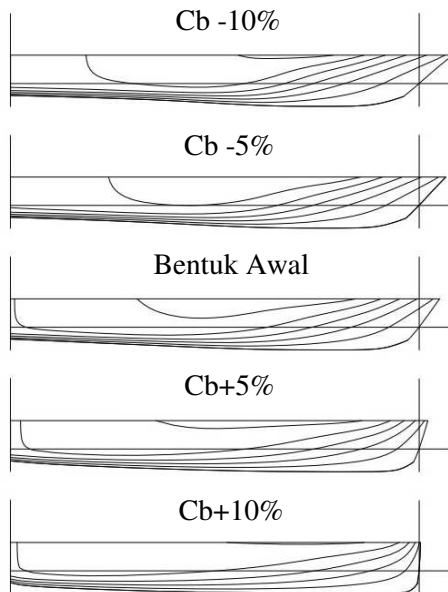
Gambar 1. Bentuk Demihull Awal



Gambar 2. Cb -10% dan Cb -5%



Gambar 3. Cb +5% dan Cb +10%



Gambar 4. Hasil Modifikasi Demihull

Tabel 2. Hasil Modifikasi Demihull

Parameter	Cb - 10%	Cb - 5%	Model Awal	Cb + 5%	Cb + 10%
Cb	0,353	0,373	0,394	0,413	0,428
B (m)	2,479	2,347	2,223	2,119	2,043
WSA (m ²)	54,11	54,68	53,39	53,82	54,18
L/B	8,1	8,5	9,0	9,4	9,8
B/T	2,23	2,11	2,00	1,90	1,84

Perhitungan olah gerak kapal di hitung pada rasio jarak antar lambung terhadap panjang kapal (S/L) 0,2 dengan kecepatan 8,22 knot atau pada Fr 0,3. Arah gelombang yang tinjau adalah gelombang dari depan (*Head Waves*) dan gelombang dari samping (*Beam Waves*) yaitu pada sudut 180° dan 90° .

2.2. Response Amplitude Operator (RAO)

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

RAO untuk gerakan translasi merupakan perbandingan langsung antara amplitudo gerakan kapal dengan amplitudo gelombang yang keduanya dalam satuan panjang (lihat Persamaan 1). Sedangkan gerakan rotasi merupakan perbandingan antara amplitudo gerakan rotasi (dalam radian) terhadap kemiringan gelombang yang merupakan perkalian angka gelombang, $k_w = \omega^2/g$ dengan amplitudo gelombang (lihat Persamaan 2) [3].

$$RAO = \frac{z_0}{\zeta_0} (\text{m/m}) (1)$$

$$RAO = \frac{\theta_0}{k_w \zeta_0} = \frac{\theta_0}{(\omega^2/g) \zeta_0} (\text{rad/rad}) (2)$$

Pada kenyataannya, gelombang di laut adalah gelombang acak sehingga respon kapal terhadap gelombang reguler yang dinyatakan dalam RAO tidak dapat menggambarkan respon kapal pada keadaan sesungguhnya di laut. 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 (lihat Persamaan 3).

$$S_{\zeta_r}(\omega) = RAO^2 \times S_\zeta(\omega) (3)$$

2.3. Spektrum Gelombang

Adapun spektrum gelombang yang digunakan dalam penelitian ini adalah Bretschneider atau ITTC dengan 2 parameter sesuai pada Persamaan 4. Tinggi gelombang signifikan (H_s) yang digunakan adalah 1,00 m dengan Periode Rata-rata (T_{av}) 5,00 detik. Katagori perairan ini termasuk pada *Slight Waters* atau termasuk pada *Sea State 3*.

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

dimana :

ω = frekwensi gelombang (rad/det)

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

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

Spektrum gelombang (S_w) yang dihasilkan dari Persamaan 4 sangat bergantung pada nilai frekwensi gelombang. Akibat pengaruh kecepatan kapal dan sudut datang gelombang, maka frekwensi gelombang insiden (ω_w) akan berubah menjadi frekwensi gelombang papasan atau *encountering wave frequency* (ω_e). Gelombang papasan inilah yang digunakan untuk membuat spektrum gelombang papasan (S_e). Untuk menghitung frekwensi gelombang papasan dapat menggunakan Persamaan 5.

$$\omega_e = \omega \left(1 - \frac{\omega V}{g} \cos\mu\right) \quad (5)$$

dimana:

ω_e = frek. gelombang papasan (rad/det)

ω_w = frek. gelombang (rad/det)

V = kecepatan kapal (m/s)

g = percepatan gravitasi (9,81 m/s²)

2.4. Root Mean Square (RMS)

Luasan dibawah kurva spektrum respons dinyatakan dalam m_0 (lihat Persamaan 6). Jika nilai akar kuadrat atau RMS dari masing-masing amplitudo gerakan (ζ) dinyatakan dalam $\sqrt{m_0}$ maka untuk mendapatkan nilai rata-rata amplitudo dinyatakan dalam Persamaan 7. Kemudian untuk mendapatkan amplitudo signifikan atau disebut dengan rata-rata dari 1/3 amplitudo tertinggi dinyatakan dalam Persamaan 8.

$$m_0 = \int_0^\infty S_{\zeta r}(\omega) d\omega \quad (6)$$

$$(\zeta)_{av} = 1,253\sqrt{m_0} \quad (7)$$

$$(\zeta)_s = 2\sqrt{m_0} \quad (8)$$

Persamaan 11 dan 12 merupakan luasan spektrum respon kecepatan dan percepatan yang dinyatakan dalam m_2 dan m_4 . RMS kecepatan dan percepatan dari setiap gerakan tersebut dinyatakan dalam $\sqrt{m_2}$ dan $\sqrt{m_4}$. Selanjutnya metode untuk menghitung kecepatan dan percepatan rata-rata maupun signifikan dapat menggunakan Persamaan 7 dan 8 dengan mengganti nilai RMS nya.

$$m_2 = \int_0^\infty \omega^2 S_{\zeta r}(\omega) d\omega \quad (11)$$

$$m_4 = \int_0^\infty \omega^4 S_{\zeta r}(\omega) d\omega \quad (12)$$

2.5. Kriteria Seakeeping

Hasil perhitungan *seakeeping* harus dievaluasi dengan menyesuaikan standar kriteria *seakeeping* yang ada tergantung dari jenis kapal tersebut. Pada penelitian ini, standar *seakeeping* yang digunakan adalah standar kriteria umum untuk kapal militer [1] yang terdapat pada Tabel 3.

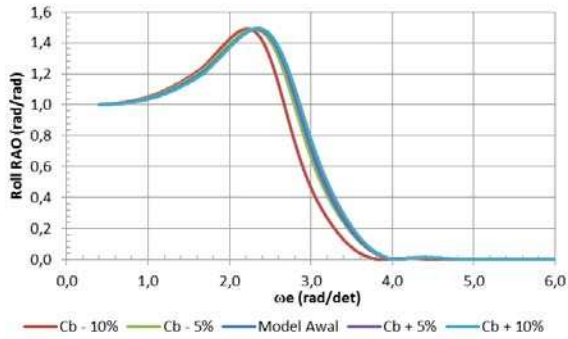
Tabel 3. Kriteria umum untuk kapal militer [1]

No	Standar	Nilai
1	Amplitudo rata-rata <i>roll</i> , $(\phi)_{av}$	12°
2	Amplitudo rata-rata <i>pitch</i> , $(\theta)_{av}$	3°
3	Percepatan signifikan <i>heave</i> , $(a_z)_s$ untuk kapal yang tidak terdapat orang yang bekerja di atas geladak	≤ 0,4g
4	Percepatan signifikan <i>heave</i> , $(a_z)_s$ untuk kapal yang terdapat orang yang bekerja di atas geladak	≤ 0,2g

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

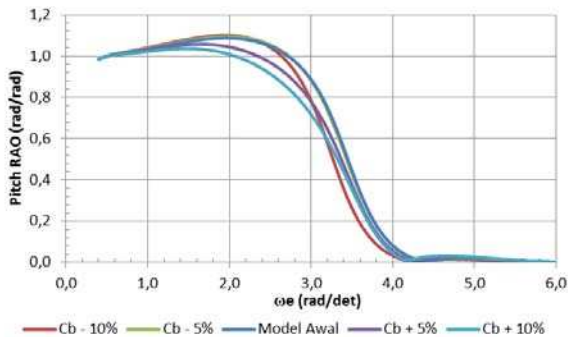
3.1. Hasil Perhitungan RAO

Respon gerakan kapal terhadap gelombang reguler digambarkan dalam grafik RAO. Dalam kasus olah gerak kapal (*seakeeping*), respon gerakan kapal akibat gelombang sebisa mungkin diperkecil. Menurut [4], respon gerakan kapal dikatakan minimum ketika puncak dari RAO minimum.



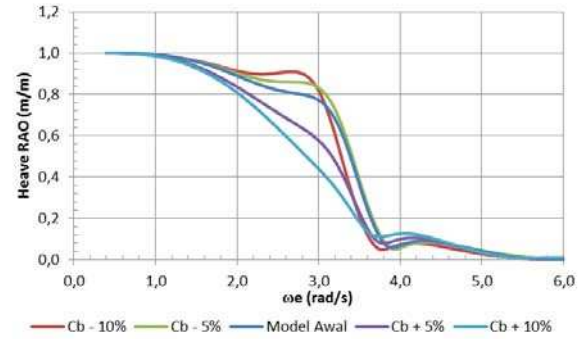
Gambar 5. RAO *Roll* Katamaran Dengan Bentuk Demihull Yang Berbeda

Gambar 5 menunjukkan RAO gerakan *roll* di gelombang reguler. Maksimum puncak RAO dari masing-masing model kapal terlihat tidak berbeda signifikan. Bentuk kurva RAO dari masing-masing model kapal pun tampak sama, kecuali pada kapal dengan C_b -10%. Bentuk kurva RAO agak bergeser ke kiri (ke arah frekwensi rendah). Dapat dilihat bahwa dengan frekwensi yang sama, kapal dengan C_b -10% memberikan respon gerakan *roll* yang lebih rendah pada frekwensi dimana puncak kurva terlewati.



Gambar 6. RAO *Pitch* Katamaran Dengan Bentuk Demihull Yang Berbeda

Gambar 6 menunjukkan RAO gerakan *pitch*. Dari kurva tersebut terlihat bahwa berkurangnya nilai C_b , puncak RAO tidak berbeda signifikan dengan model awal. Namun ketika nilai C_b diperbesar, puncak RAO semakin berkurang secara signifikan hingga frekwensi sekitar 3,2 rad/det. Respon gerakan *pitch* terkecil terdapat pada model dengan nilai C_b terbesar (C_b +10%). Ketika frekwensi di atas 3,2 rad/det respon gerakan *pitch* terendah terdapat pada C_b terkecil (C_b -10%).

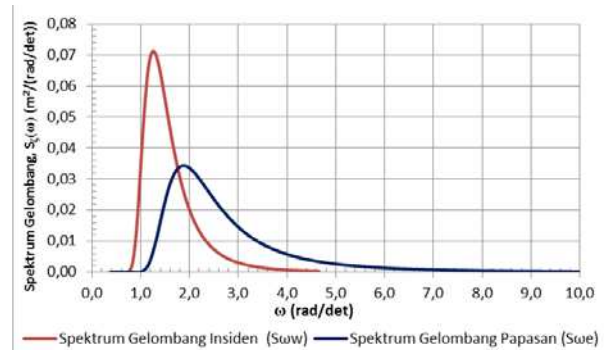


Gambar 7. RAO *Heave* Katamaran Dengan Bentuk Demihull Yang Berbeda

Gambar 7 menunjukkan RAO gerakan *heave*. Terlihat bahwa puncak RAO gerakan *heave* berbanding terbalik dengan nilai C_b . Semakin nilai C_b diperbesar, puncak RAO semakin mengecil. Bentuk kurva RAO pada model awal dan model dengan nilai C_b diperkecil terdapat kemiripan, yaitu memiliki puncak kurva. Pada model dengan nilai C_b di perbesar bentuk kurva RAO cenderung tidak memiliki puncak kurva.

3.2. Spektrum Gelombang

Kondisi gelombang di laut yang sebenarnya digambarkan dalam bentuk spektrum gelombang. Hasil perhitungan spektrum gelombang insiden (S_{ow}) dan spektrum gelombang papasan (S_{oe}) terdapat pada Gambar 8. Dapat dilihat dari gambar tersebut, bahwa kecepatan kapal dan arah sudut datang gelombang berpengaruh terhadap spektrum gelombang yang dihasilkan atau yang disebut dengan spektrum gelombang papasan.



Gambar 8. Spektrum Gelombang Bretschneider atau ITTC dengan H_s 1,00 m dan T_{av} 5,00 detik

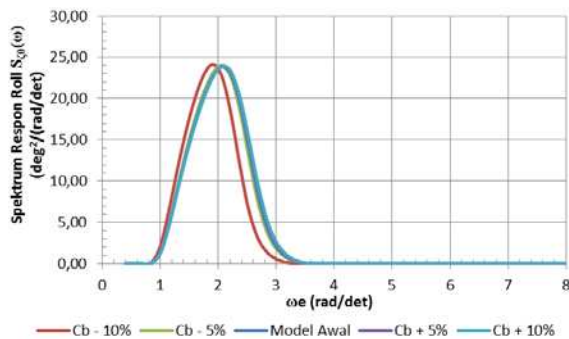
Puncak dari spektrum gelombang papasan lebih rendah dan mempunyai bentuk kurva yang lebih lebar. Jika frekwensi pada puncak spektrum gelombang papasan berdekatan atau bahkan sama dengan

frekwensi pada puncak RAO, maka akan terjadi resonansi yaitu meningkatnya respon kapal dengan signifikan pada frekwensi tersebut. Hal ini akan tergambar pada kurva spektrum respon [3].

3.3. Evaluasi Kriteria Seakeeping

3.3.1. Amplitudo Rata-Rata Roll, $(\phi)_{av}$

Gambar 9 merupakan spektrum respon dari gerakan roll. Karena puncak kurva RAO roll berada pada frekwensi yang berdekatan dengan puncak kurva spektrum gelombang papasan, maka terjadi resonansi. Dapat dilihat bahwa puncak dari grafik spektrum respon gerakan roll terdapat pada frekwensi sekitar 2 rad/det.



Gambar 9. Spektrum Respon Roll Dengan Bentuk Demihull Yang Berbeda

Tabel 4. RMS dan Nilai Rata – Rata Gerakan Roll($^{\circ}$)

Roll, θ	Cb - 10%	Cb - 5%	Model Awal	Cb + 5%	Cb + 10%
Standar	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
RMS, $\sqrt{m_0}$	5,27	5,31	5,35	5,39	5,41
Rata-rata, $1,253\sqrt{m_0}$	6,60	6,65	6,70	6,75	6,78

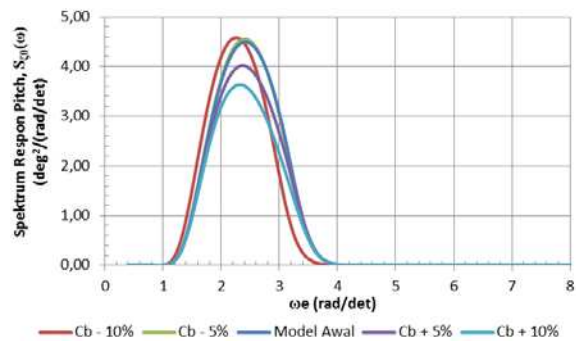
RMS dan nilai rata-rata gerakan roll disajikan dalam Tabel 4. Berdasarkan Tabel 4, respon gerakan roll pada sea state 3 berkurang seiring dengan berkurangnya nilai Cb. Semua respon gerakan roll dari masing-masing model memenuhi kriteria seakeeping

3.3.2. Amplitudo Rata-Rata Pitch, $(\theta)_{av}$

Gambar 10 merupakan spektrum respon dari gerakan pitch. Puncak kurva RAO dan spektrum gelombang terlihat pada frekwensi yang berdekatan, sehingga terjadinya resonansi. Adapun puncak pada kurva spektrum respon berada antara frekwensi 2 – 3 rad/det.

RMS dan nilai rata-rata gerakan pitch disajikan dalam Tabel 5. Berdasarkan Tabel 5, respon gerakan pitch pada sea state 3 berkurang signifikan seiring dengan bertambahnya nilai Cb, sedangkan berkurangnya nilai Cb sebesar 10% mengurangi respon gerakan pitch dengan selisih yang tidak cukup besar. Bahkan berkurangnya nilai Cb sebesar 5% tidak memberikan perubahan terhadap respon gerakan pitch.

Nilai respon gerakan pitch yang memenuhi kriteria adalah model dengan Cb +10%. Adapun model dengan Cb +5% dapat dipertimbangkan memenuhi kriteria mengingat selisihnya hanya terpaut 0,02 $^{\circ}$.



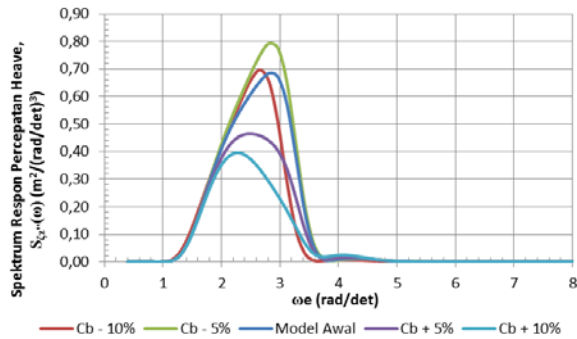
Gambar 10. Spektrum Respon Pitch Dengan Bentuk Demihull Yang Berbeda

Tabel 5. RMS dan Nilai Rata – Rata Gerakan Pitch($^{\circ}$)

Pitch, θ	Cb - 10%	Cb - 5%	Model Awal	Cb + 5%	Cb + 10%
Standar	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
RMS, $\sqrt{m_0}$	2,53	2,54	2,54	2,41	2,29
Rata-rata, $1,253\sqrt{m_0}$	3,17	3,18	3,18	3,02	2,87

3.3.3. Percepatan Signifikan Heave, $(a_z)_s$

Gambar 11 merupakan spektrum respon dari gerakan percepatan heave. Bentuk kurva percepatan model awal model yang nilai Cb nya diperbesar mempunyai kurva yang mirip, dimana kurva tersebut meruncing pada frekwensi sekitar 3 rad/det. Sedangkan bentuk kurva dengan model yang nilai Cb nya diperkecil mempunyai puncak kurva yang lebih rendah dan juga tidak terlalu meruncing.



Gambar 11. Spektrum Respon Percepatan Heave Dengan Bentuk Demihull Yang Berbeda

Tabel 6. RMS dan Nilai Percepatan Signifikan Heave(g)

Percepatan Heave, Z''	Cb - 10%	Cb - 5%	Model Awal	Cb + 5%	Cb + 10%
Standar A	≤ 0,4	≤ 0,4	≤ 0,4	≤ 0,4	≤ 0,4
Standar B	≤ 0,2	≤ 0,2	≤ 0,2	≤ 0,2	≤ 0,2
RMS, $\sqrt{m_0}/g$	0,109	0,105	0,100	0,086	0,077
Signifikan, $2\sqrt{m_0}/g$	0,218	0,210	0,199	0,173	0,154

Keterangan :

Standar A digunakan untuk kapal yang tidak terdapat orang yang bekerja di atas geladak

Standar B digunakan untuk kapal yang terdapat orang yang bekerja di atas geladak

RMS dan nilai rata-rata gerakan percepatan signifikan heave disajikan dalam Tabel 6. Bertambahnya nilai Cb, dapat mengurangi nilai respon percepatan gerakan heave dengan signifikan. Sedangkan berkurangnya nilai Cb menambahkan respon percepatan gerakan heave namun tidak begitu signifikan.

Nilai respon percepatan gerakan heave dari masing-masing model memenuhi kriteria untuk kapal yang tidak terdapat orang yang bekerja di atas geladak. Namun untuk kriteria yang terdapat orang bekerja di atas geladak hanya model awal dan model dengan nilai Cb yang diperbesar yang memenuhi kriteria.

3.4. Pemilihan Demihull Optimal

Pemilihan demihull yang optimal dipilih berdasarkan respon gerakan yang memenuhi semua kriteria dan yang memiliki respon gerakan paling minimum. Bentuk demihull yang memenuhi semua kriteria adalah demihull dengan nilai Cb diperbesar 10%. Besarnya perubahan nilai respon gerakan kapal katamaran akibat perubahan bentuk demihull dalam satuan persen disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Perubahan Nilai Gerakan Kapal (%)

Gerakan	Cb - 10%	Cb - 5%	Cb + 5%	Cb + 10%
Roll	-1,50	-0,75	+0,75	+1,12
Pitch	-0,39	0,00	-5,12	-9,84
Percepatan Heave	+9,30	+5,11	-13,29	-22,80

Dapat dilihat dari Tabel 7 bahwa bentuk demihull dengan nilai Cb yang diperbesar 10% dapat mengurangi respon pitch sebesar 9,84% dan percepatan heave sebesar 22,8%. Sedangkan untuk respon gerakan roll bertambah 1,12%. Pertambahan ini cukup kecil namun masih memenuhi kriteria amplitudo rata-rata roll.

4. KESIMPULAN

Dengan displasemen, panjang dan sarat kapal yang sama, bentuk demihull karatamaran dapat dimodifikasi untuk mendapatkan olah gerak yang optimal. Pada penelitian ini, bentuk lambung demihull yang optimal didapatkan dengan memperbesar nilai Cb sebesar 10%. Respon gerakan dari bentuk lambung tersebut memenuhi semua kriteria umum seakeeping untuk kapal militer dan memiliki respon gerakan paling minimum.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Oslon, J.R., (1978). "An Evaluation of The Seakeeping Qualities of Naval Combants", *Naval Engineers Journal*, Vol 90, No. 1, pp 23-40.
- [2] Kukner, A. dan Sariöz, K., (1995). "High Speed Hull Form Optimisation for Seakeeping", *Advance in Engineering Software*, Vol 22, pp 179-189
- [3] Djatmiko, E.B., (2012). "Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut Di Atas Gelombang Acak", ITS Press, Surabaya.
- [4] Grigoropoulos, G.J., (2004). "Hull Form Optimization For Hydrodynamics Performance", *Marine Technology*, Vol 41, No. 4, pp 167-182.