



Analisis *Course Stability Index* pada Kapal di Perairan Dangkal

**Axela Putri Chumaira¹, Fakhri Akbar Ayub¹, Wiwin Sulistyawati¹, Kanaya
Salsabhila Achbar¹**

¹*Program Studi Teknik Perkapalan, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta, Jakarta, Indonesia
email : axela.putri@upnvj.ac.id*

Abstrak

Perhitungan *Course Stability Index* (CSI) merupakan salah satu parameter penting untuk mengevaluasi kemampuan manuver kapal saat berlayar dalam menghindari gangguan di laut sehingga dapat meningkatkan keamanannya. CSI dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya: sarat air kapal, kedalaman air, loading condition, bentuk lambung, kecepatan, dan kondisi trim/sink. Perbedaan *loading condition* (*full load*, *half load*, *ballast*) ditinjau untuk mengetahui kemampuan manuver kapal di berbagai kondisi karena kapal tidak selalu beroperasi dalam keadaan penuh. Objek penelitian menggunakan Kapal LCT (*Landing Craft Tank*) dengan LPP 53 m, B 13.50 m, d 2.90 m, dan Cb 0.802 yang disimulasikan pada perairan dalam dan perairan dangkal. Metode penelitian yang digunakan adalah simulasi numerik dengan model matematika. CSI dianggap stabil apabila hasil perhitungan negatif (-), sebaliknya jika hasil perhitungan positif (+), maka CSI dianggap tidak stabil. Hasil perhitungan menunjukkan kemampuan manuver kapal di perairan dalam pada kondisi full load 0.011958, half load 0.010709 dan ballast 0.009389. Sedangkan untuk kemampuan manuver kapal di perairan dangkal, didapatkan hasil pada kondisi full load - 0.019056, half load 0.009990, dan ballast 0.019647. Berdasarkan hasil tersebut, kemampuan manuver Kapal LCT hanya stabil saat kondisi full load di perairan dangkal, yaitu sebesar -0.019056, sedangkan untuk 2 kondisi lainnya pada perairan dalam dan perairan dangkal, kapal kurang stabil

Kata kunci: Course Stability Index (CSI), Loading Condition, Simulasi Numerik

1. Pendahuluan

Berdasarkan hasil investigasi Komite Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT), selama kurun waktu 10 tahun (2011-2021) telah terjadi lebih dari 120 kecelakaan kapal di perairan Indonesia. Kategori penyebab terjadinya kecelakaan kapal yaitu: kapal tenggelam, ledakan, kandas, dan lain-lain (Saputra, 2021). Kurang baiknya kemampuan olah gerak (manuver) kapal adalah salah satu penyebab terbesar terjadinya kecelakaan kapal. International Maritime Organization (IMO) telah menerapkan aturan dan standar tertentu sebagai upaya dalam rangka mengurangi angka kecelakaan.

Manuver merupakan kemampuan sebuah kapal dalam mengontrol kemudi (*fixed/movable*) untuk merespon dan mengendalikan arah, kecepatan, dan kinerja pergerakan kapal. Manuver dipengaruhi oleh faktor internal dan faktor eksternal (Jamaludin & Samudro, 2019). Kemampuan manuver penting untuk diketahui agar kapal dapat berlayar dengan aman dan efisien.

Resolusi IMO A.751(18) tahun 1993 mengatur untuk menghilangkan kapal yang kemampuan manuvernya tidak memadai dilihat dari sudut pandang keselamatan laut (RESOLUTION A.751(18) Adopted on 4 November 1993 INTERIM STANDARDS FOR SHIP MANOEUVRABILITY, 1993). Disusul

dengan resolusi IMO MSC.137(76) tahun 2002 yang mengharuskan sebuah kapal untuk melakukan sea trial dalam kondisi penuh dan even keel (RESOLUTION MSC.137(76) (Adopted on 4 December 2002) STANDARDS FOR SHIP

MANOEUVRABILITY, 2002) agar kemampuan manuvernya dapat diketahui (Pasteur & Koch, 1941).

Salah satu metode yang dapat digunakan adalah simulasi numerik karena waktu yang dibutuhkan lebih singkat dan tidak membutuhkan biaya yang besar. Penelitian ini menggunakan “quadratic model” dan berfokus pada Y' (gaya lateral) dan N' (momen yaw) (Kijima, Katsuno, et al., 1990). Digunakan tiga loading condition dalam perhitungan, yaitu: full load, half load, dan ballast untuk menyesuaikan kondisi kapal saat berlayar. Perairan dangkal dipilih karena kedalaman air dianggap dapat mempengaruhi kinerja manuver kapal..

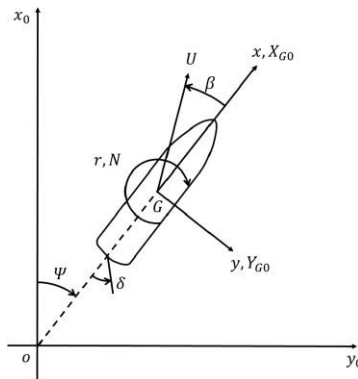
2. Tinjauan Pustaka

Manuver kapal

Manuver kapal dipengaruhi oleh perancangan lambung, sistem propulsi, dan sistem kemudi yang juga memberi dampak terhadap gaya dan momen hidrodinamika saat kapal bermanuver (Muhammad et al., 2018). Kapal dikatakan memiliki kemampuan manuver yang baik apabila dapat mengubah dan mempertahankan arah gerakannya saat beroperasi, yang kemudian disebut dengan Course Stability Index (CSI). Kapal yang kemampuan manuvernya baik dapat menghindari gangguan saat berlayar sehingga meningkatkan keamanannya.

Persamaan gerak (Equation of Motion) dari manuver kapal

Gambar 1 menjelaskan tentang sistem koordinat tetap untuk gerak manuver kapal, dimana, m adalah massa kapal dan I_{zz} mewakili momen inersia kapal di sekitar sumbu vertikal melalui titik G. \ddot{x}_0 dan \ddot{y}_0 mewakili komponen percepatan pada sumbu x_0 dan y_0 (merupakan komponen gaya luar untuk sumbu tersebut). $\dot{\psi}$ ($= \dot{r}$) adalah percepatan sudut. N_0 adalah momen eksternal yang bekerja pada kapal.



Gambar 1. Sistem koordinat

Course stability Index (Indeks jalur stabilitas)

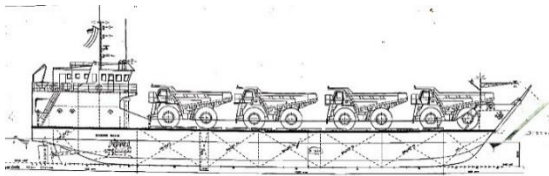
Hambatan merupakan hal yang penting untuk diperhitungkan dalam merancang lambung kapal. Hambatan kapal dipengaruhi oleh beberapa komponen seperti gaya gesek, tekanan, gelombang, dan kekentalan cairan. Bentuk bulbous bow kapal merupakan salah satu hal yang penting, karena sangat menentukan besarnya hambatan. Pada kondisi kapal bergerak di permukaan air (sebagian berada di atas air dan sebagian tercelup dalam air), hambatan terbesar diberikan oleh air, sedangkan untuk hambatan udara besarnya sangat kecil.

Data kapal

Data kapal yang dibutuhkan adalah *principal dimension* (dimensi utama) kapal pada setiap *loading condition* yang menjadi acuan dalam mencari *hydrodynamic derivatives*. *Hydrodynamic derivatives* merupakan komponen penting untuk menentukan nilai CSI. *Principal dimension* yang akan digunakan dapat dilihat pada Tabel 1.

Table 1 Dimensi Utama Kapal LCT XX

| | |
|---|---------|
| <i>Length Over All (LOA)</i> | 60 m |
| <i>LengthnBetween Perpendicular (LPP)</i> | 53 m |
| <i>Breadth (B)</i> | 13.50 m |
| <i>Draft (D)</i> | 2.90 m |
| <i>Height (H)</i> | 3.90 m |
| C_B | 0.802 |
| V_s | 6.6 Kn |



3. Hasil dan Pembahasan

I. Lateral Force (Y'_H)

Berikut merupakan hasil *hydrodynamic derivatives* ($Y', Y' Y', Y', Y', Y'$) untuk $Y'H$ di perairan dangkal dan perairan dalam.

| <i>Hydrodynamic Derivatives</i> | <i>Loading Condition</i> | <i>Perairan</i> | |
|---------------------------------|--------------------------|-----------------|---------|
| | | Dalam | Dangkal |
| Y'_β | <i>Full Load</i> | 0,4579 | 3,1545 |
| | <i>Half Load</i> | 0,4351 | 2,3034 |
| | <i>Ballast</i> | 0,4124 | 1,8310 |
| Y'_r | <i>Full Load</i> | 0,0859 | 0,4316 |
| | <i>Half Load</i> | 0,0741 | 0,6325 |
| | <i>Ballast</i> | 0,0623 | 0,9297 |
| $Y'_{\beta\beta}$ | <i>Full Load</i> | 0,6063 | 1,2766 |
| | <i>Half Load</i> | 0,5905 | 0,7261 |
| | <i>Ballast</i> | 0,5751 | 0,4694 |
| Y'_{rr} | <i>Full Load</i> | -0,0109 | -0,0106 |
| | <i>Half Load</i> | -0,0189 | -0,0401 |
| | <i>Ballast</i> | -0,0269 | -0,0647 |
| $Y'_{\beta rr}$ | <i>Full Load</i> | 0,2531 | 1,5912 |
| | <i>Half Load</i> | 0,2155 | 0,8470 |
| | <i>Ballast</i> | 0,1788 | 0,4893 |

| | | | |
|----------------|------------------|---------|----------|
| $Y'_{\beta r}$ | <i>Full Load</i> | -0,8815 | 151,1273 |
| | <i>Half Load</i> | -1,4739 | 193,6043 |
| | <i>Ballast</i> | -2,1943 | 185,6149 |

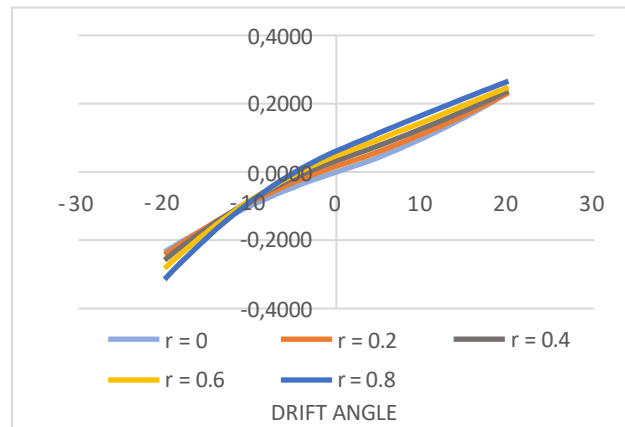
II. Yaw Moment (N'_H)

Berikut merupakan hasil *hydrodynamic derivatives* (N' , N'_N , N'_r , N'_{β} , $N'_{\beta\beta}$) untuk N'H (yaw moment) di perairan dangkal dan perairan dalam.

| <i>Hydrodynamic Derivatives</i> | <i>Loading Condition</i> | <i>Perairan</i> | |
|---------------------------------|--------------------------|-----------------|----------------|
| | | <i>Dalam</i> | <i>Dangkal</i> |
| N'_{β} | <i>Full Load</i> | 0,1094 | 0,8671 |
| | <i>Half Load</i> | 0,0944 | 0,5655 |
| | <i>Ballast</i> | 0,0793 | 0,3939 |
| $N'_{r'}$ | <i>Full Load</i> | -0,0471 | -0,0903 |
| | <i>Half Load</i> | -0,0421 | -0,0711 |
| | <i>Ballast</i> | -0,0365 | -0,0556 |
| $N'_{\beta\beta}$ | <i>Full Load</i> | 0,3330 | 1,4281 |
| | <i>Half Load</i> | 0,4142 | 0,4139 |
| | <i>Ballast</i> | 0,4995 | -0,3475 |
| N'_{rr} | <i>Full Load</i> | 0,0076 | 0,0297 |
| | <i>Half Load</i> | 0,0079 | 0,0382 |
| | <i>Ballast</i> | 0,0082 | 0,0411 |
| $N'_{\beta rr}$ | <i>Full Load</i> | -0,0361 | 0,2011 |
| | <i>Half Load</i> | -0,0245 | 0,6646 |
| | <i>Ballast</i> | -0,0128 | 0,5701 |
| $N'_{\beta\beta r}$ | <i>Full Load</i> | -0,5329 | -0,9699 |
| | <i>Half Load</i> | -0,5418 | -1,9363 |
| | <i>Ballast</i> | -0,5507 | -2,3825 |

III. Hydrodynamic forces full load

Hydrodynamic forces digunakan untuk menyatakan perubahan gaya yang terjadi pada kapal. Penulis menggunakan variasi *drift angle* β - $20^\circ < \beta < 20^\circ$ dan *yaw rate* r' 0.2, 0.4, 0.6, 0.8. Model yang digunakan adalah *quadratic model* karena lebih efisien dibanding *cubic model* dan dapat memprediksi CSI di berbagai kondisi. Hasil dari *hydrodynamic forces* ini dinyatakan dalam bentuk grafik berdasarkan setiap *loading condition*. Sumbu x menunjukkan variasi *drift angle* β - $20^\circ < \beta < 20^\circ$. Sumbu y menunjukkan besaran *Hydrodynamic forces*.

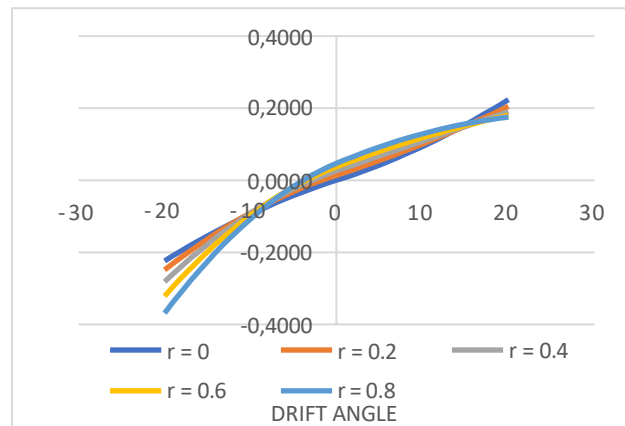


Gambar 3. a. Grafik Y'H pada perairan dalam dengan kondisi *full load*

Grafik Y'H pada perairan dalam dengan kondisi *full load* terlihat mengalami peningkatan dengan rentang hasil untuk Y'H dalam kondisi ini adalah $-0.3144 - 0.2661$. Grafik peningkatan juga diperlihatkan pada Y'H (dkl), N'H (dlm), dan N'H (dkl), dimana dkl kependekan dari dangkal dan dlm kependekan dari dalam. Walaupun dalam tulisan ini tidak ditunjukkan grafiknya secara detail, namun peningkatan yang ditunjukkan oleh Y'H (dkl), N'H (dlm), dan N'H (dkl) secara berurutan adalah $-1.2567 - 16.6822$, $-0.1555 - 0.0788$, dan $-0.6693 - 0.4767$.

IV. Hydrodynamic force half load

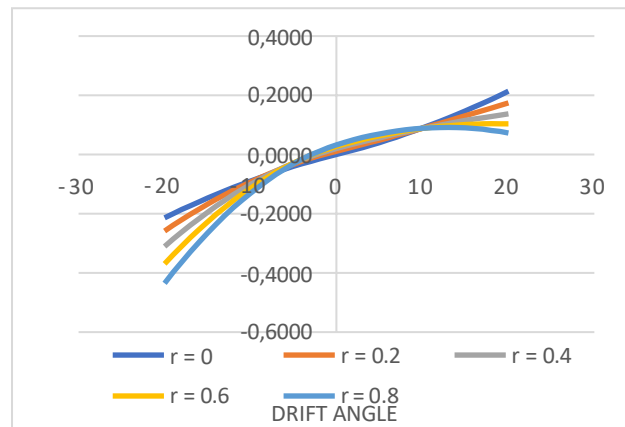
Grafik 3 menunjukkan Grafik Y'H pada perairan dalam dengan kondisi *half load* terlihat mengalami peningkatan dengan rentang hasil untuk Y'H dalam kondisi ini adalah $-0.3684 - 0.2238$. Pada grafik lainnya (namun tidak ditampilkan) menunjukkan kondisi *half load* untuk Y'H(dkl), N'H (dlm), dan N'H (dkl). Ketiga grafik tersebut menunjukkan tren yang sama yaitu mengalami peningkatan namun pada kondisi range yang berbeda.



Gambar 4. Grafik Y'H perairan dalam pada kondisi *half load*

V. Hydrodynamic force pada ballast

Grafik 5 menunjukkan Y'H pada perairan dalam dengan kondisi *ballast* terlihat mengalami peningkatan dengan rentang hasil untuk Y'H dalam kondisi ini adalah $-0.4352 - 0.2140$. Dengan kondisi yang sama namun tidak di tampilkan di tulisan ini, grafik Y'H(dkl), N'H (dlm), dan N'H (dkl) pada kondisi *ballast* juga mengalami kenaikan dengan kenaikan pada range secara berurutan yaitu $-0.696-19.6013$, $-0.1633- 0.0885$, dan $-0.4729-0.0852$.



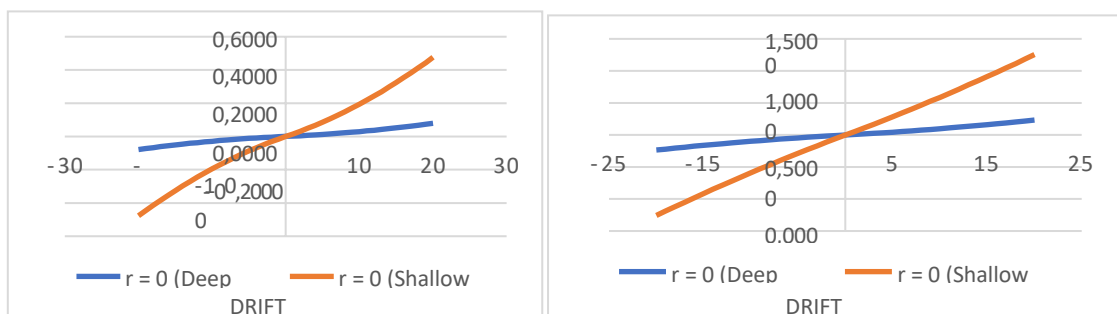
Gambar 5. Grafik Y'H perairan dalam ballast

VI. Course stability index

CSI merupakan nilai yang digunakan untuk mengetahui apakah suatu kapal memiliki kemampuan yang baik dalam melakukan manuver dan mempertahankan arah – posisinya. Grafik 6 menjelaskan perbandingan Y'H quadratic model (pada gambar kiri), dan N'H quadratic model (pada gambar kanan). Pada grafik tersebut menunjukkan perbedaan pada grafik di perairan dangkal dan perairan dalam meskipun menggunakan variasi *yaw rate* r' yang sama.

Dapat dilihat bahwa nilai Y' (*lateral force*) dan N' (*yaw moment*) di perairan dangkal lebih besar dibandingkan di perairan dalam. Terjadi *drag force* dan *lift force* yang mempengaruhi gerakan kapal *Drag force* adalah gaya yang terjadi dengan arah berlawanan dari laju kapal dan *lift force* adalah gaya akibat perbedaan tekanan bagian atas dan bawah lambung kapal yang dapat membelokkan arah kapal (Hasmi et al., 2021). *Drag force* dan *lift force* pada perairan dangkal akan lebih besar dibanding di perairan dalam.

Pada perairan dalam, *lateral force* terjadi karena adanya perbedaan tekanan antara sisi lambung terhadap air, sedangkan *yaw moment* terjadi karena perbedaan tekanan antara haluan dan buritan. Terdapat tambahan faktor pada perairan dangkal, yaitu: adanya gesekan antara bagian bawah lambung dengan dasar laut dan variasi gelombang. Semakin besar gesekan dan kecepatan gelombang, semakin besar pula *lateral force* sehingga meningkatkan *yaw moment*



Gambar 6. (gambar kiri) Perbandingan Y'H quadratic model. (gambar kanan) Perbandingan N'H quadratic model

4. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan ini menunjukkan bahwa perubahan variasi pada bulbous bow dapat memberikan efisiensi pada kapal dengan tambahan bentuk variasi yang berbeda dengan Model 2 sebagai model yang terbaik dan cukup efisiensi.

Walau bagaimanapun, perubahan yang terlalu jauh akan mengurangi efisiensi suatu kapal tersebut. Sehingga apabila ingin mendapatkan peningkatan efisiensi harus diperhatikan perubahan dari lambung kapal tersebut agar tidak terlalu berbeda jauh. Dari perhitungan CSI pada setiap *loading condition*, didapatkan hasil sebagai berikut:

1. CSI dipengaruhi oleh sarat air kapal, kedalaman air, *loading condition*, bentuk lambung, kecepatan, dan kondisi *trim/sink*.
2. Pada perairan dalam, nilai CSI cenderung mengalami peningkatan dengan hasil *full load* + 0.011958, *half load* + 0.010709 dan *ballast* +0.009389. Hal ini menunjukkan, pada perairan dalam semakin banyak muatan, kapal semakin tidak stabil. Sedangkan, pada perairan dangkal, nilai CSI cenderung mengalami penurunan dengan hasil *full load* – 0.019056, *half load* + 0.009990, dan *ballast* +0.019647. Hal ini menunjukkan, pada perairan dangkal semakin banyak muatan, kapal semakin stabil.
3. Hasil CSI dinyatakan stabil hanya pada kondisi *full load* di perairan dangkal, yaitu –0.019056. Untuk *loading condition* lain di perairan dangkal dan perairan dalam, hasil CSI tidak stabil. Artinya, kemampuan manuver kapal kurang baik di *loading condition* dan kedalaman perairan lainnya.

Referensi

- Ayub, F. A. (2021). *Influence of Hydrodynamic Derivatives on Ship Manoeuvring Prediction and Application of SQCM to Ship Hull Forces*. July.
- Committee, T. M. (2002). Final Report and Recommendations to the 23rd ITTC. *The 23rd ITTC, I*, 153–687.
- Hasmi, A. N., Alamsyah, A., & Pratama, A. D. (2021). Analisis Perbandingan Kinerja Drag Force dan Lift Force Antara Rudder Konvensional dan Rudder Fish Tail Dengan Menggunakan CFD. *Zona Laut : Jurnal Inovasi Sains Dan Teknologi Kelautan*, 2(2), 11–17. <https://doi.org/10.20956/zl.v2i2.13979>
- RESOLUTION A.751(18) adopted on 4 November 1993 INTERIM STANDARDS FOR SHIP MANOEUVRABILITY, 751 (1993).
- RESOLUTION MSC.137(76) (adopted on 4 December 2002) STANDARDS FOR SHIP MANOEUVRABILITY, 137 Imo (2002).
- Jamaludin, A., & Samudro, S. (2019). Analisa dan Evaluasi Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Karakteristik Olah-Gerak (MANEUVER) Kapal. *Warta Penelitian Perhubungan*, 23(1), 17. <https://doi.org/10.25104/warlit.v23i1.1048>
- Kijima, K., Nakiri, Y., Tsutsui, Y., & Matsunaga, M. (1990). Prediction method of ship manoeuvrability in deep and shallow waters. In *International Conference on Marine Simulation and Ship Maneuverability (MARSIM '90)* (pp. 311–318). Manoeuvring Committee of 23rd ITTC. (2002). Recommended Procedures for Manoeuvring Trials. *International Towing Tank Conference*.
- Muhammad, A. H., Syarifuddin, ., Paroka, D., Rahman, S., Wisyono, ., & Pratama, A. A. (2018). Maneuvering Performance of a 30 Gt Fishing Vessel With Asymmetrical Propeller Configuration. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis*, 9(2), 491–498. <https://doi.org/10.29244/jitkt.v9i2.19314>
- Pasteur, L., & Koch, R. (1941). *I. Introduction I.Introduction*. 74(1934), 535–546.
- Saputra, A. D. (2021). Studi Kecelakaan Kapal di Indonesia dari Tahun 2003-2019 Berdasarkan Data Investigasi Komite Nasional Keselamatan Transportasi. In *Warta Penelitian Perhubungan* (Vol. 33, Issue 2). <https://doi.org/10.25104/warlit.v33i2.1502>