

ANALISIS INDEKS JALUR STABILITAS PADA KAPAL DI PERAIRAN DALAM

Anindita Utamidewi¹, Fakhri Akbar Ayub², Purwo Joko Suranto³

Program Studi Teknik, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jakarta, Jakarta Selatan^{1 2}

Fakultas/Program Studi, Institusi, Kota³

email¹ : aninditautamidewi@upnvj.ac.id

Abstrak

Untuk melakukan evaluasi kinerja manuver pada kapal dapat dilakukan dengan menggunakan simulasi numerik dengan menggunakan model matematika. Untuk melakukan simulasi numerik sejauh ini, model MMG sering digunakan untuk simulasi manuver pada kapal. Sebuah kapal harus dapat merespon secara cepat untuk beragam olah gerakan manuver pada kapal. Ketika kapal mengalami gangguan (*disturbance*) pada saat berlayar seperti menghindari kapal lain, terumbu karang, dan lainnya. Untuk dapat melihat kemampuan manuver kapal tersebut ketika menghindari gangguan (*disturbance*), dapat dilakukan dengan mencari nilai indeks jalur stabilitasnya. Untuk memprediksi kemampuan manuver kapal terdapat aspek yang harus diperhatikan yaitu kondisi *loading condition*. Kapal pada umumnya tidak hanya dioperasikan dalam kondisi terisi penuh, tetapi juga dalam kondisi setengah penuh ataupun kondisi ballast sehingga karakteristik manuver juga dipengaruhi oleh kondisi pemuatannya. Pada penelitian ini akan dilakukan perhitungan indeks jalur stabilitas (*course stability index*) pada kapal di tiga kondisi pembebanan muatan yaitu kondisi pembebanan muatan penuh (*full loaded*), Setengah penuh (*half loaded*), dan *ballast*. Dari hasil penelitian pada saat kondisi *full loaded*, *half loaded*, dan *ballast* kapal memiliki kemampuan manuver yang tidak stabil.

Kata kunci: Kemampuan Manuver, Kondisi Pembebanan, Simulasi Numerik

Abstract

To evaluate the performance of maneuvers on ships can be done using numerical simulations using mathematical models. To carry out numerical simulations so far, the MMG model is often used to simulate ship maneuvers. A ship must be able to respond quickly to various maneuvers on the ship. When the ship experiences disturbance during sailing, such as avoiding other ships, coral reefs, and others. To be able to see the ship's maneuverability when avoiding disturbances, it can be done by looking for the stability path index value. To predict the ship's maneuverability, there are aspects that must be considered, namely the loading condition. Ships in general are not only operated in a fully loaded condition, but also in a half full or ballast condition so that the maneuver characteristics are also influenced by the loading conditions. In this study, the calculation of the course stability index will be carried out on ships in three loading conditions, namely full loaded, half loaded, and ballast conditions. From the research results, when the conditions of full loaded, half loaded, and ballast ships have unstable maneuverability

Keywords: Maneuverability, Loading Conditions, Numerical Simulation

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara maritim dengan memiliki kepulauan terluas di dunia yang terdiri atas 17.504 pulau dengan 13.466 pulau yang telah diberikan nama. Indonesia sendiri terletak pada koordinat 6° Lintang Utara – 11° Lintang Selatan dan 95° Bujur Timur - 141° Bujur Timur. Indonesia memiliki letak geografis yang sangat strategis hal ini dapat dilihat dari letak geografis Indonesia yang berada di antara dua samudera yaitu Samudera Hindia dan Samudera Pasifik. Sebagai negara dengan memiliki kepulauan terluas di dunia dan memiliki posisi geografis yang strategis tentu saja ini merupakan hal yang sangat menguntungkan bagi Indonesia. Dengan memiliki letak geografis yang strategis sehingga Indonesia dapat berada di persinggahan rute perdagangan dunia. Sebagai negara maritim dan tempat persinggahan rute perdagangan dunia tentu saja peran transportasi sangat penting pada perekonomian Indonesia.

Pada saat ini transportasi memiliki peranan yang sangat penting terhadap perkembangan kehidupan masyarakat yang berada di Indonesia dimana transportasi ini digunakan sebagai alat penggerak yang dapat menunjang kemajuan perkembangan masyarakat sekitar. Salah satu alat transportasi yang sering digunakan oleh masyarakat adalah transportasi laut. Dengan adanya perkembangan serta kemajuan teknologi di berbagai wilayah di Indonesia sehingga Indonesia dapat memproduksi kapal dalam negeri. Pada saat memproduksi kapal maka pada proses produksi harus memperhatikan beberapa aspek keselamatan agar tidak terjadi kecelakaan.

Berdasarkan hasil laporan investigasi pelayaran dari Komite Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT) pada kurun waktu tahun 2017 sampai dengan tahun 2021 telah terjadi kecelakaan kapal sebanyak 129 di perairan Indonesia (Transportasi, 2021) dengan penyebab jenis kecelakaan kapal seperti tenggelam, tabrakan, kandas, terbalik dan manuver yang buruk.

Pada saat kapal beroperasi banyak sekali aspek yang harus diperhatikan agar kapal tidak terjadi kecelakaan. Salah satu hal yang harus diperhatikan pada saat kapal beroperasi adalah manuver kapal. Manuver kapal adalah kemampuan olah gerak kapal berbelok dan berputar ketika sedang beroperasi. Kemampuan ini sangat menentukan kepada keselamatan kapal khususnya saat kapal sedang beroperasi di perairan. Kapal harus memiliki kemampuan manuver yang baik agar dapat menjamin kelancaran serta keselamatan kapal pada saat pengoperasian dan pelayarannya. International Maritime Organization (IMO) telah memberikan

beberapa standar atau kriteria untuk kemampuan manuver kapal. Kriteria tersebut harus dipenuhi agar kapal dapat berlayar.

Evaluasi manuver kapal pada tahapan desain awal menjadi faktor yang sangat penting karena kriteria manuver sudah ditetapkan oleh IMO (International Maritime Organization, 2002) dan ketentuan ini berlaku sejak tanggal 1 Januari 2004. Untuk melakukan uji manuver pada kapal salah satu cara yang dapat dilakukan yaitu menggunakan simulasi numerik dengan menggunakan model matematika. Untuk melakukan simulasi numerik sejauh ini, model MMG (Maneuvering Modeling Group) sering digunakan untuk simulasi manuver kapal. Model MMG merupakan salah satu metode simulasi gerak manuver kapal yang telah dikembangkan di Jepang. Model tersebut diusulkan oleh sebuah kelompok riset bernama Maneuvering Modeling Group oleh Japanese Towing Tank Conference (JTTC). Banyak metode simulasi berdasarkan model Maneuvering Modeling Group (MMG) untuk manuver kapal yang telah disajikan (Inoue *et al.*, 1981; Kijima *et al.*, 1990; Yasukawa and Yoshimura, 2015).

Kinerja manuver kapal pada umumnya akan diperkirakan dalam kondisi muatan penuh. IMO telah membahas tentang penetapan standar kinerja manuver kapal dan hasil diskusi menunjukkan bahwa kapal harus ditangani dalam kondisi penuh sebagai kondisi fundamental yang menyatakan kinerja yang melekat untuk penilaian. Di sisi lain, kapal pada umumnya dioperasikan tidak hanya dalam kondisi terisi penuh, tetapi juga dalam kondisi setengah penuh ataupun kondisi ballast pada sehingga karakteristik manuver juga dipengaruhi oleh kondisi pemuatannya.

Pada penelitian ini, penulis akan mengambil judul “Analisis Indeks Jalur Stabilitas Pada Kapal di Perairan Dalam” dimana penulis akan melakukan perhitungan indeks jalur stabilitas (*course stability index*) pada kapal di tiga kondisi pembebanan muatan yaitu pada saat kondisi pembebanan muatan penuh (*full loaded*), setengah penuh (*half loaded*), dan ballast.

TINJAUAN PUSTAKA

Persamaan Gerak (*Equatin of motion*)

Pada penelitian ini, penulis menggunakan model matematika yang terdapat pada (Kijima *et al.*, 1990). Untuk model matematikanya yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

$$\left. \begin{aligned} (m' + m'_x) \left(\frac{L}{U} \right) \left(\frac{U}{U} \cos \beta - \dot{\beta} \sin \beta \right) + (m' + m'_y) r' \sin \beta &= X', \\ -(m' + m'_y) \left(\frac{L}{U} \right) \left(\frac{U}{U} \sin \beta + \dot{\beta} \cos \beta \right) - (m' + m'_x) r' \cos \beta &= Y', \\ (I'_{zz} + i'_{zz}) \left(\frac{L}{U} \right)^2 \left(\frac{U}{L} r' + \frac{U}{L} \dot{r}' \right) &= N'. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Tanda “ ’ ” pada persamaan (1) mengacu pada besaran non-dimensionalized sebagai berikut:

$$\left. \begin{aligned} m', m'_x, m'_y &= \frac{m, m_x, m_y}{\left(\frac{1}{2} \right) \rho L^2 d}, \quad I'_{zz}, i'_{zz} = \frac{I_{zz}, i_{zz}}{\left(\frac{1}{2} \right) \rho L^4 d}, \\ X', Y' &= \frac{X, Y}{\left(\frac{1}{2} \right) \rho L d U^2}, \quad N' = \frac{N}{\left(\frac{1}{2} \right) \rho L^2 d U^2}, \quad r' = \frac{r L}{U}. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Dimana :

m', m'_x, m'_y : massa kapal pada sumbu x, y yang telah ditambahkan massa kapal masing-masing

L : panjang kapal

β : sudut kapal

d : sarat air kapal

U : kecepatan kapal

X, Y : gaya luar sumbu x, y

N : momen yawing yang bekerja pada kapal

I_{zz}, i_{zz} : momen inersia dan momen inersia tambahan pada kapal

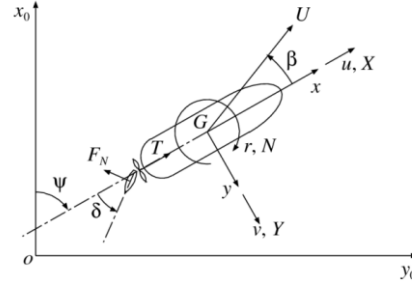
r : yaw rate

ρ : massa jenis air

Untuk gaya eksternal pada sisi kanan kita dapat mencarinya dengan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} X' &= X'_H + X'_P + X'_R \\ Y' &= Y'_H + Y'_R \\ N' &= N'_H + N'_R \end{aligned} \quad (3)$$

Dalam persamaan ini “H” melambangkan bagian lambung kapal dan “P” baling-baling dan “R” kemudi. Dalam penelitian ini penulis hanya berfokus pada nilai Y'_H dan N'_H pada bagian lambung untuk mencari nilai gaya dari lateral force dan yawing moment.



Gambar 1. Sistem Koordinat

Pada penelitian ini dikarenakan penulis hanya berfokus pada indeks jalur stabilitas maka penulis hanya akan berfokus pada nilai Y'_H dan N'_H yang linier pada bagian lambung. Berikut model matematika yang akan digunakan untuk mencari nilai Y'_H dan N'_H .

$$\left. \begin{aligned} Y'_H &= Y'_\beta \beta + Y'_r r' + Y'_{\beta\beta} \beta |\beta| + Y'_{rr} r' |r'| + (Y'_{\beta\beta r} \beta + Y'_{\beta r r} r') \beta r' \\ N'_H &= N'_\beta \beta + N'_r r' + N'_{\beta\beta} \beta |\beta| + N'_{rr} r' |r'| + (N'_{\beta\beta r} \beta + N'_{\beta r r} r') \beta r' \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Dimana $Y'_\beta, Y'_r, N'_\beta, N'_r$ merupakan nilai koefisien hidrodinamika linier untuk menyatakan perubahan tanda pada perubahan gaya hidrodinamika yang terjadi pada kapal.

Rumus Perkiraan (*approximate formula for hydrodynamic derivatives*)

Untuk melihat perubahan gaya yang bekerja pada kapal kita dapat memperkirakannya dengan menggunakan model matematika dengan menggunakan rumus perkiraan dari (Kijima *et al.*, 1990) agar mengetahui perubahan gaya yang terjadi pada kapal. Pada skripsi ini rumus perkiraan yang akan digunakan untuk mencari nilai gaya dari lateral force dan momen yaw pada saat kondisi lunas (*even keel*) di perairan dalam adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Y'_\beta &= \frac{1}{2} \pi k + 1.4 C_b B/L \\ Y'_r - (m' + m'_x) &= -1.5 C_b B/L \\ Y'_{\beta\beta} &= 2.5 d(1 - C_b)/B + 0.5 \\ Y'_{rr} &= 0.343 d C_b/B - 0.07 \\ Y'_{\beta r r} &= 5.95 d(1 - C_b)/B \\ Y'_{\beta\beta r} &= 1.5 d C_b/B - 0.65 \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} N'_\beta &= k \\ N'_r &= -0.54k + K^2 \\ N'_{\beta\beta} &= -0.96 d(1 - C_b)/B + 0.066 \\ N'_{rr} &= 0.5 C_b B/L - 0.09 \\ N'_{\beta r r} &= -\left(\frac{0.5 d C_b}{B} - 0.05 \right) \\ N'_{\beta\beta r} &= -\left\{ 57.5 \left(\frac{C_b B}{L} \right)^2 - 18.4 C_b \frac{B}{L} + 1.6 \right\} \end{aligned} \quad (6)$$

Dimana:

- $K = 2d/L$
- C_b = koefisien blok
- B = lebar kapal
- L = panjang kapal
- d = sarat air kapal

Rumus Indeks Jalur Stabilitas (*Course Stability Index*)

Setelah mendapatkan nilai dari koefisien hidrodinamika pada persamaan diatas kemudian penulis dapat mencari nilai dari indeks jalur stabilitas untuk melihat apakah kapal tersebut berjalan secara stabil atau tidak pada jalurnya. Jika ternyata hasil dari nilai indeks jalur stabilitas kapal stabil ataupun tidak stabil nilai tersebut akan dicatat menggunakan analisis numerik pada berbagai kondisi parameter yang telah di berikan. Untuk mencari nilai indeks jalur stabilitas penulis menggunakan persamaan yang terdapat pada jurnal (Ayub, 2021) untuk mengetahui nilai indeks jalur stabilitas di setiap kondisi pembeban. Berikut persamaan yang akan digunakan:

$$\begin{aligned} \Delta &= -Y'_v N'_{r+} N'_v \{Y'_r - (m' + m'_x)\} \\ \Delta &= Y'_\beta N'_r - N'_\beta \{Y'_r - (m' + m'_x)\} \end{aligned} \quad (7)$$

Untuk menentukan apakah kapal itu stabil atau tidak stabil akan ditunjukkan oleh tanda dari hasil perhitungan indeks jalur stabilitas. Dimana tanda (+) menunjukkan bahwa kapal tidak stabil dan tanda (-) menunjukkan kapal stabil.

Data Kapal

Tabel 1. Data Kapal.

Ukuran Utama	
L	109,77 m
B	16,4 m
H	7,8 m
D	3 m
C_b	0,822

METODOLOGI PENELITIAN

Agar penelitian dapat berjalan sesuai dengan lancar dan tercapainya tujuan maka dibuatlah alur penelitian dimana alur penelitian ini merupakan tahapan penyelesaian masalah yang terstruktur secara sistematis dalam rangka guna mencapai hasil dan kesimpulan dari suatu penelitian.

Studi Literatur

Studi literatur bertujuan untuk memperjelas permasalahan yang akan dibahas sehingga studi literatur dapat membantu dalam mencari dasar teori yang relevan dengan penelitian yang akan dilakukan.

Simulasi Numerik

Untuk mencari nilai indeks jalur stabilitas sendiri penulis akan mencari nilai koefisien hidrodinamika di setiap *loading condition* terlebih dahulu dari (Kijima *et al.*, 1990). Kalkulasi numerik digunakan untuk mendapatkan nilai koefisien hidrodinamika dengan menggunakan parameter dari principal dimension kapal dengan menggunakan model matematika (Kijima *et al.*, 1990).

Parameter Principal Dimension

Pada tahapan ini merupakan tahapan dimana akan dilakukannya pencarian nilai dari koefisien hidrodinamika yang dibutuhkan dengan menggunakan parameter principal dimension pada kapal di setiap kondisi *loading condition*.

Koefisien Hidrodinamika (*hydrodynamic derivative*)

Pada penelitian ini untuk menghitung indeks jalur stabilitas (*course stability index*) pada kapal sangat diperlukan nilai koefisien hidrodinamika dalam suatu gerakan manuver. Jika nilai turunan koefisien hidrodinamika dapat dicari kemudian penulis dapat memprediksikan karakteristik manuver kapal pada saat dalam kondisi pembebanan pemuatan. Oleh karena itu, nilai koefisien hidrodinamika menjadi poin utama dalam metode ini untuk memprediksikan kemampuan manuver kapal.

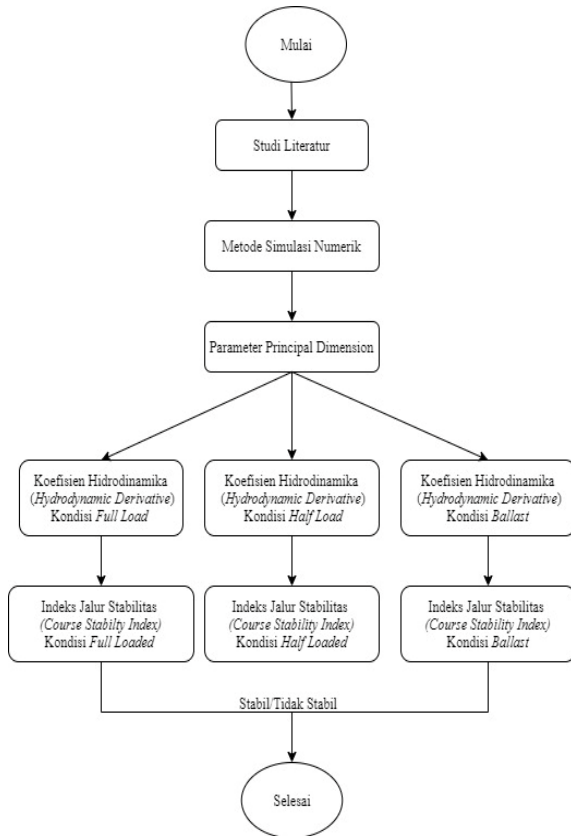
Indeks Jalur Stabilitas (*course stability index*)

Setelah mendapatkan nilai koefisien hidrodinamika di setiap kondisi *loading condition* kemudian akan dicari perhitungan dari indeks jalur stabilitas hal ini dilakukan untuk melihat apakah kapal tersebut berjalan secara stabil atau tidak pada jalurnya. Jika ternyata hasil dari nilai indeks jalur stabilitas kapal stabil ataupun tidak stabil nilai tersebut akan dicatat menggunakan analisis numerik pada berbagai kondisi parameter yang telah di berikan.

Hasil dan Pembahasan

Hasil dari simulasi numerik dengan menggunakan model matematika ini adalah untuk melihat apakah kapal dapat berjalan secara stabil atau tidak pada jalurnya.

Dapat dilihat pada gambar 2 adalah diagram alur penelitian.



Gambar 2. Diagram Alur Penelitian

PEMBAHASAN

Data Kapal

Pada tahapan awal ini penulis akan mencari nilai dari *principal dimension* kapal di setiap *loading condition* dengan mencari nilai sarat air dan C_b kapal di setiap *loading condition*. Untuk nilai sarat air yang akan digunakan merupakan nilai sarat air rata-rata (*mean draft at midship*) dimana nilai sarat air ini didapatkan dengan menjumlahkan sarat air pada saat posisi *LCF*, *AP*, dan *FP*. Untuk mencari nilai C_b penulis mencarinya dengan menginterpolasi. Sehingga didapatkanlah ukuran dimensi utama kapal (*principal dimension*) yang akan digunakan sebagai berikut:

Tabel 2. Principal Dimension

	Full Loaded	Half Loaded	Ballast
LBP	109,77	109,77	109,77
B	16,4	16,4	16,4
H	7,8	7,8	7,8
d	2,993	2,940	2,887
C_b	0,8217	0,8198	0,8185

Koefisien Hidrodinamika (*hydrodynamic derivatives*)

Setelah mendapatkan nilai dari dimensi utama kapal (*principal dimension*) pada setiap kondisi *loading condition* kemudian penulis akan mencari nilai koefisien hidrodinamika di setiap kondisi pembebanan yaitu pada saat kondisi pembebanan penuh (*full loaded*), pembebanan setengah (*half loaded*) dan *ballast*. Adapun untuk mencari koefisien hidrodinamika, perhitungan akan dilakukan dengan menggunakan model matematika yang terdapat pada (Kijima *et al.*, 1990) pada saat kondisi *even keel*. Untuk mencari koefisien hidrodinamika penulis akan menggunakan rumus perkiraan (*approximate formula for hydrodynamic derivatives*) yang terdapat pada (Kijima *et al.*, 1990) pada saat kondisi *even keel* untuk lateral force (Y'_H) dan yawing moment (N'_H).

Hasil Perhitungan (*Calculation Result*)

Pada saat mencari nilai koefisien hidrodinamika akan didapatkan koefisien $Y'_\beta, Y'_r, N'_\beta, N'_r$ dimana koefisien tersebut merupakan koefisien hidrodinamika linier untuk menyatakan perubahan tanda pada gaya hidrodinamika yang terjadi pada kapal untuk lateral force (Y'_H) dan yawing moment (N'_H). Untuk β merupakan drift angle dan r' merupakan yaw rate. Dan didapatkan hasil perhitungan dari koefisien hidrodinamika di setiap *loading condition* sebagai berikut:

Tabel 3. Hydrodynamic Derivatives

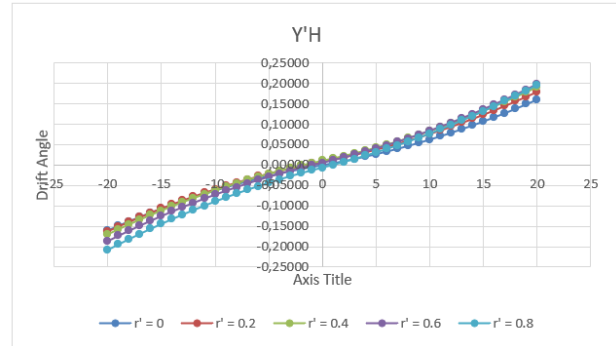
Hydrodynamic Derivatives	Full Loaded	Half Loaded	Ballast
Y'_{β}	0,2575	0,2556	0,2538
Y'_{r}	0,0610	0,0615	0,0618
$Y'_{\beta\beta}$	0,5813	0,5808	0,5799
Y'_{rr}	-0,0186	-0,0196	-0,0206
$Y'_{\beta rr}$	0,1936	0,1922	0,1901
$Y'_{\beta\beta r}$	-0,4251	-0,4296	-0,4339
N'_{β}	0,0545	0,0536	0,0526
N'_{r}	-0,0265	-0,0261	-0,0256
$N'_{\beta\beta}$	0,0348	0,0350	0,0353
N'_{rr}	-0,0286	-0,0288	-0,0289
$N'_{\beta rr}$	-0,0250	-0,0235	-0,0220
$N'_{\beta\beta r}$	-0,2077	-0,2089	-0,2098

Hydrodynamic Forces

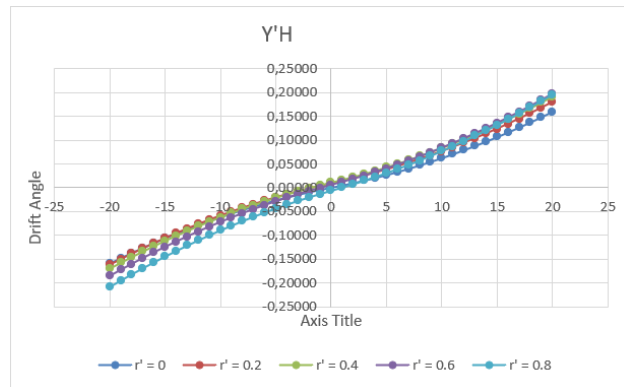
Hydrodynamic forces diperlukan untuk menyatakan perubahan gaya yang terjadi pada kapal. Dikarenakan pada penelitian ini penulis hanya berfokus pada indeks jalur stabilitas maka penulis hanya akan berfokus pada lateral forces dan yawing moment karena pengaruhnya yang dominan untuk mencari indeks jalur stabilitas. Untuk mendapatkan nilai dari hydrodynamic forces penulis akan memberikan variasi drift angle (β) $-20^{\circ} < \beta < 20^{\circ}$ dan yaw rate (r') 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 dimana drift angle merupakan rentang sudut drift dimana gaya hidrodinamika diukur. Untuk hydrodynamic forces sendiri akan dicari di setiap *loading condition*.

Setelah mencari nilai dari hydrodynamic forces untuk untuk lateral force (Y'_H) dan yawing moment (N'_H). Kemudian akan dicari grafik hydrodynamic forces untuk untuk lateral force (Y'_H) dan yawing moment (N'_H). Pada gambar 2, 3, 4, 5, 6, dan 7 merupakan grafik hydrodynamic forces pada setiap kondisi pembebanan dimana pada grafik sumbu x merupakan variasi drift angle $-20^{\circ} < \beta < 20^{\circ}$ dan sumbu y merupakan nilai dari hydrodynamic forces untuk untuk lateral force (Y'_H) dan yawing moment (N'_H) yang sebelumnya telah dicari dengan variasi yaw rate (r') 0.2, 0.4, 0.6, 0.8.

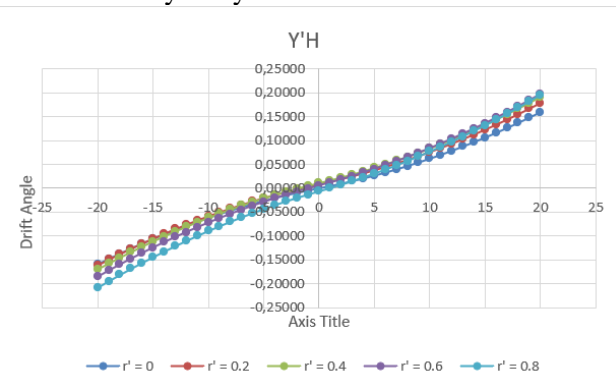
Gambar 2. Hydrodynamic Forces Y'H Full Loaded



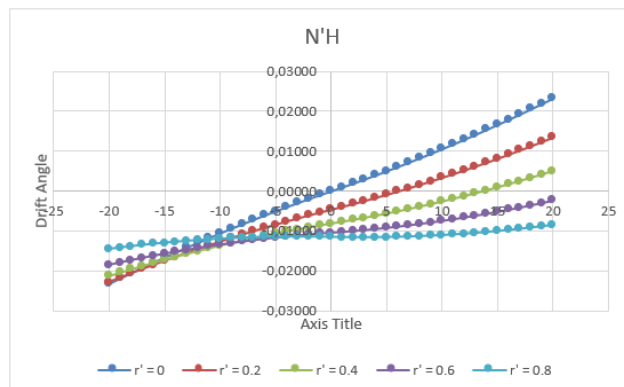
Gambar 3. Hydrodynamic Forces Y'H Half Loaded



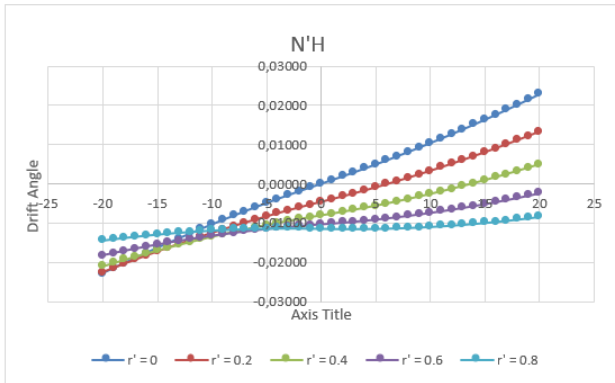
Gambar 4. Hydrodynamic Forces Y'H Ballast



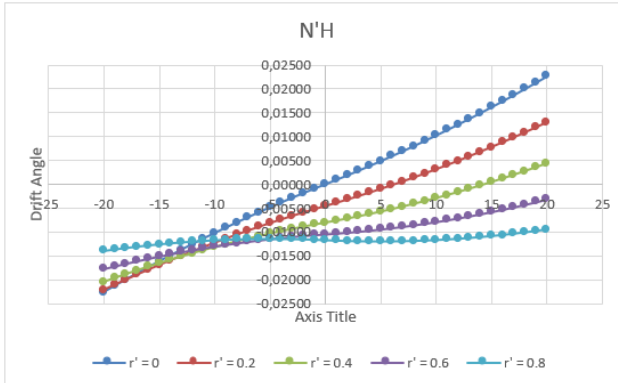
Gambar 5. Hydrodynamic Forces N'H Full Loaded



Gambar 6. Hydrodynamic Forces N'H Half Loaded



Gambar 7. Hydrodynamic Forces N'H Ballast



Indeks Jaur Stabilitas (*course stability index*)

Setelah mendapatkan nilai koefisien hidrodinamika di setiap kondisi loading condition kemudian penulis akan mencari nilai dari indeks jalur stabilitas untuk mengetahui apakah kapal tersebut memiliki kemampuan manuver yang baik atau tidak untuk mengikuti atau mempertahankan arah dan posisinya ketika kapal sedang berlayar di perairan dalam. Untuk melihat apakah kapal itu memiliki kemampuan manuver akan ditunjukkan oleh tanda (+) menunjukkan bahwa kapal tidak stabil dan tanda (-) menunjukkan kapal stabil. Untuk mencari nilai dari indeks jalur stabilitas penulis menggunakan persamaan yang terdapat pada (Ayub, 2021) berikut hasil perhitungan indeks jalur stabilitas pada kapal di setiap loading condition:

Full Loaded

$$\Delta = Y'_\beta N'_r - N'_\beta \{Y'_r - (m' + m'_x)\}$$

$$\Delta = 0,00323$$

Half Loaded

$$\Delta = Y'_\beta N'_r - N'_\beta \{Y'_r - (m' + m'_x)\}$$

$$\Delta = 0,00318$$

Ballast

$$\Delta = Y'_\beta N'_r - N'_\beta \{Y'_r - (m' + m'_x)\}$$

$$\Delta = 0,00314$$

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi numerik yang telah dilakukan untuk melihat kemampuan manuver pada kapal dengan variasi pembebanan (loading condition), maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Hasil analisis indeks jalur stabilitas (*course stability index*) pada saat kondisi full loaded setelah dilakukan perhitungan indeks jalur stabilitas untuk full loaded didapatkan hasil + 0,00323 dimana artinya pada saat kapal bermuatan full loaded kapal memiliki kemampuan manuver yang tidak stabil.
2. Hasil analisis indeks jalur stabilitas (*course stability index*) pada saat kondisi half loaded setelah dilakukan perhitungan indeks jalur stabilitas untuk half loaded didapatkan hasil + 0,00318 dimana artinya pada saat kapal bermuatan half loaded kapal memiliki kemampuan manuver yang tidak stabil.
3. Hasil analisis indeks jalur stabilitas (*course stability index*) pada saat kondisi ballast setelah dilakukan perhitungan Indeks Jalur stabilitas untuk ballast didapatkan hasil + 0,00314 dimana artinya pada saat kapal bermuatan ballast kapal memiliki kemampuan manuver yang tidak stabil.

DAFTAR PUSTAKA

Ayub, F.A. (2021) *Influence of Hydrodynamic Derivatives on Ship Manoeuvring Prediction and Application of SQCM to Ship Hull Forces*.
 Ayub, F.A., Furukawa, Y. and Ibaragi, H. (2021) ‘Sensitivity analysis of hydrodynamic derivatives for lateral force and yawing moment to ship manoeuvrability’, *Proceedings of the International Offshore and Polar Engineering Conference*, pp. 2714–2721.
 Inoue, S. et al. (1981) ‘A practical calculation method on ship manoeuvring motion’, *Marine Technology Monthly*, 28(325), pp. 207–221.
 International Maritime Organization (2002) ‘RESOLUTION MSC.137(76) (adopted on 4 December 2002) STANDARDS FOR SHIP MANOEUVRABILITY’, *Imo*, 137(December).
 Jamaludin, A. and Samudro, S. (2019) ‘Analisa dan Evaluasi Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Karakteristik Olah-Gerak (MANEUVER) Kapal’, *Warta Penelitian Perhubungan*, 23(1), p. 17. Available at: <https://doi.org/10.25104/warlit.v23i1.1048>.
 Yurim Cho, Bum Sang Yoon, Deuk Joon Yum, and M.S.L. (2007) ‘Prediction of Ship Manoeuvrability in Initial Design Stage Using CFD Based Calculation.pdf’, pp. 11–24.

- Katsuro Kijima, Y.N. (2003) 'MARSIM2003-2.pdf'.
- Kijima, K. (2003) 'Some Studies On The Prediction For Ship Manoeuvrability'. Kanazawa,japan, p. Kn 3-1 kn 3–10.
- Kijima, K. *et al.* (1990) 'On the manoeuvring performance of a ship with theparameter of loading condition', *Journal of the Society of Naval Architects of*
- Manoeuvring Committee of 23rd ITTC (2002) 'Recommended Procedures for Manoeuvring Trials', *International Towing Tank Conference* [Preprint].
- Transportasi, K.N. keselamatan (2021) *Laporan Investigasi pelayaran*. Available at: <https://knkt.go.id/investigasi>.
- Yasukawa, H. and Yoshimura, Y. (2015) 'Introduction of MMG standard method for ship maneuvering predictions', *Journal of Marine Science and Technology (Japan)*, 20(1), pp. 37–52. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00773-014-0293-y>.