

ANALISA KARAKTERISTIK BALING-BALING B SERIES DI AIR TERBUKA DENGAN CFD

Agung Purwana¹⁾, Anita Hidayati²⁾

¹⁾Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS)

²⁾Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS)

Email : anita.hdyt@gmail.com

Abstrak

Analisa karakteristik baling-baling dibantu komputasi saat ini berkembang cukup pesat sehingga dapat diterapkan untuk menyingkap pengaruh viskositas terhadap efisiensi baling-baling. Penerapan Computational Fluid Dynamic (CFD) dengan persamaan Reynolds Average Navier-Stokes dengan aliran fluida takmampat turbulen di sekitar daun baling-baling yang bekerja bebas di air terbuka dapat diselidiki karakteristiknya.

Dengan simulasi numerik dalam penelitian ini diharapkan karakteristik baling-baling berbasis propeller B series dan efisiensinya didapatkan. Dengan bantuan perangkat lunak yang disimulasikan dihasilkan beberapa parameter nilai simulasi seperti gaya dorong (N), torsi (Nm), Kt, 10Kq, J dan η baling-baling.

Hasil simulasi kemudian divalidasi dengan diagram karakteristik baling-baling wageningen B.4.55 yang telah dipublikasi, Hasil simulasi yang telah dilakukan didapatkan nilai hasil simulasi menunjukkan besarnya nilai Kt, 10Kq, dan η pada J 0.7 memiliki nilai 0.179, 0.305 dan 0.654.

Kata kunci : Karakteristik, CFD, Baling-baling B series

1. PENDAHULUAN

Metode teoritis untuk memprediksi kinerja baling-baling berkembang dimulai dari teori momentum Rankine diikuti oleh teori blade elemen dari Froude. Tahun 1990an, para ilmuwan menyederhanakan model baling-baling dengan model komputasi, dan memulai penelitian kalkulasigeometri riil baling-baling dengan model rumusan RANS (Reynolds Averaged Navier Stokes). Selanjutnya membuka ruang yang luas dalam perhitungan hidrodinamika baling-baling dengan tipe seri yang lain.

Kerumitan dan mahalnya biaya untuk memprediksi karakteristik baling-baling dengan uji model baling-baling di air terbuka pada kolam tarik dapatlah dikurangi dengan mengaplikasikan metode CFD, dengan metode ini akan dapat mengurangi waktu dan biaya dalam menginvestigasi beberapa parameter karakteristik baling-baling.

Untuk mengetahui karakteristik dari baling-baling B.4.55 melalui metode ini maka langkah-langkah yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Pemodelan baling-baling dengan tipe B.4.55 secara 3D.
- Simulasi dilakukan dengan Angka Reynolds yang dibutuhkan sampai dengan 2×10^6 . Data dari hasil simulasi dengan metode ini kemudian kita bandingkan dengan data percobaan **wageningen B series** yang telah terpublikasi sebelumnya.

2. TINJAUAN PUSTAKA

CFD adalah ilmu cara memprediksi aliran fluida, perindahan panas, reaksi kimia, fenomena kavitasi dengan model matematik. Pada dasarnya fluida, kekekalan dan konservasi energi, massa, momentum, dan newton ke dua ($F = m.a$). persamaan fluida dibangun dan dianalisa berdasarkan persamaan diferensial parsial equation (PDE) yang mempresentasikan prinsip hukum dasar mekanika. Dalam persamaan CFD persamaan RANS untuk fluida takmampat dan aliran kental dirumuskan :

$$\nabla \cdot U = 0 \quad (1)$$

$$F = \frac{\partial V}{\partial t} + V \cdot \nabla V + \nabla p - \frac{1}{Re} \nabla^2 V - \nabla \cdot \tau, \quad (2)$$
$$\rho \dot{U} = -\nabla P + \mu \cdot \Delta U + \nabla \cdot T_{Re} + S_M$$

U adalah average velocity vector field, P adalah average pressure field, μ adalah viskositas dinamik, TRE adalah tensor of Reynolds stresses dan SM adalah vektor dari sumber momentum.

Dalam bentuk persamaan RANS yang umum dapat ditulis sebagai berikut,

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i} = 0 \quad (3)$$

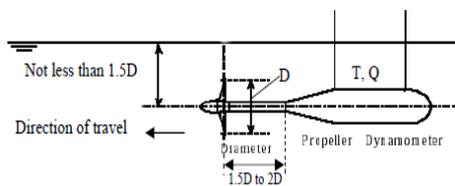
$$F_i - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] - \frac{2}{3} \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\mu \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \right] = \frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (u_j u_i) \quad (4)$$

Dan persamaan momentum menjadi

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_j} (-\rho \overline{u_i' u_j'}) \quad (5)$$

Dimana u_i adalah i-th komponen (Kartesian) dari vektor kecepatan absolute, p adalah tekanan static, μ adalah viskositas yang molecular, δ_{ij} adalah Kronecker delta dan $-\rho \overline{u_i' u_j'}$ adalah Reynold stress harus dimodelkan untuk persamaan momentum tertutup dengan menggunakan satu model turbulen.[7]

Salah satu cara mengestimasi karakteristik baling-baling dengan dilaksanakan tes model di water tunnel dengan aliran homogen, dikenal dengan *Open Water Propeller Test* seperti pada gambar.1.[3]



Gambar.1. Open water test.

Model baling-baling yang bekerja akan diperoleh spesifik gaya-gaya pada saat *open-water test*. Untuk memenuhi hukum kesamaan, maka setiap pengujian, setiap harga putaran (n) dan kecepatan (Va) dapat diukur besar gaya dorong (T) dan Torsi (Q). Berdasarkan hasil setiap uji dapat dihitung besarnya koefisien gaya dorong (Kt), koefisien Torsi (Kq) serta efisiensi (η), dari baling-baling dirumuskan :

$$J = \frac{Va}{n.D} \quad (6)$$

$$KT = \frac{T}{\rho.n^2.D^4} \quad (7)$$

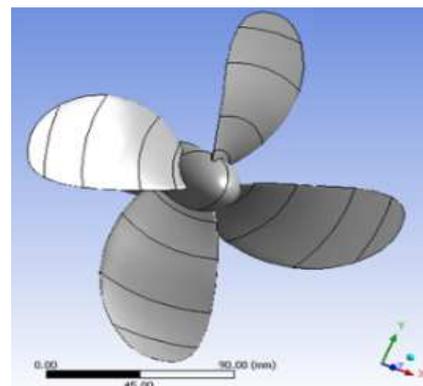
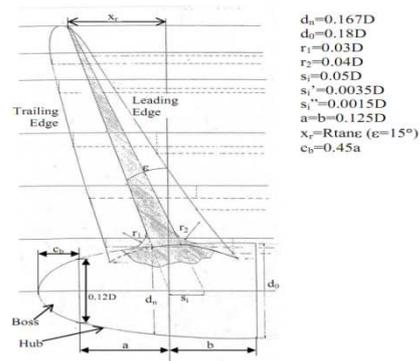
$$KQ = \frac{Q}{\rho.n^2.D^5} \quad (8)$$

$$\eta = \frac{Va}{n.D} \frac{KT}{KQ.2\pi} \quad (9)$$

2.1 Model Geometri Baling-Baling Dan Data

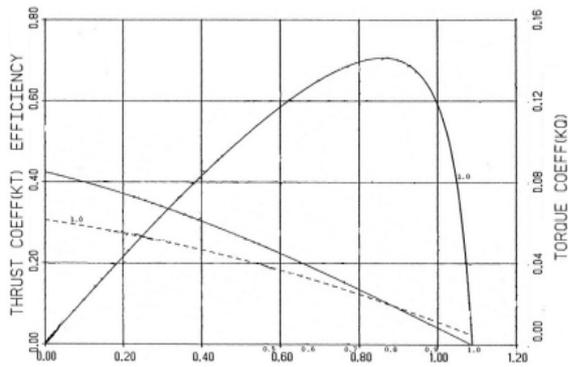
Data Model Baling-baling :

Tipe B.4.55, Jumlah Daun 4 buah, diameter 200 mm dan pitch ratio (P/D)= 1.0, rake 15°, dengan geometri baling-baling seperti pada gambar.3. [1,2,6]

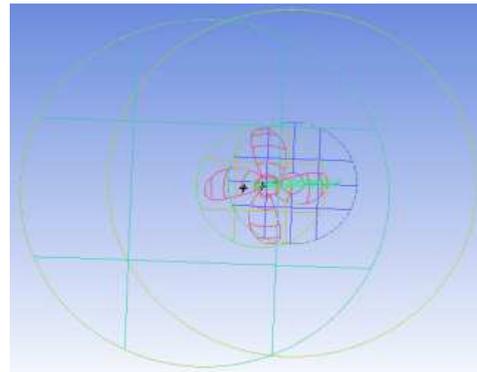


Gambar.3. Ukuran utama 3D model baling-baling B.4.55

Daya dorong suatu baling-baling yang bekerja tergantung pada parameter-parameter seperti diameter baling-baling (D), besarnya pitch (p/D), jumlah dan bentuk daun baling-baling (Z), Kecepatan (Va), Kecepatan putaran (n), Densitas fluida (ρ), Viskositas fluida (μ). Dari hasil sesuai persamaan diatas dapat dibuat diagram KT, KQ dan J untuk model propeller seperti pada gambar. 2.



Gambar.2. Open Water Diagram Wageningen B4.55.[6]



Gambar.4. Domain numerik baling-baling B.4.55 .

2.2 KONDISI BATAS DAN MODEL CFD

2.2.1 Kondisi Batas

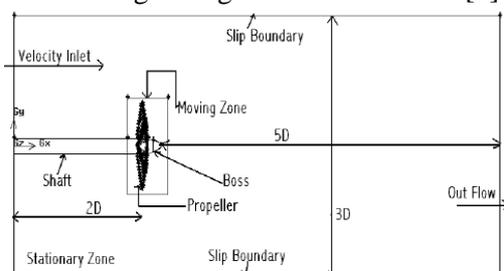
Untuk simulasi baling-baling dalam aliran steady dibagi zona perhitungan dalam dua silinder :

- Daerah Stationer : daerah ini adalah silinder dan termasuk bos, baling-baling dan daerah bergerak. Menurut (Yoshihisa Takekoshi), panjang hulu $2D$, panjang hilir $5D$ dan diameter zona $3D$, ditunjukkan dalam Gambar.4 di mana D adalah diameter baling-baling.

- Daerah berputar: panjang dan diameter daerah ini tergantung pada diameter dan bos dari baling-baling. Air dalam simulasi ini adalah aliran mampat dengan dua pendekatan yang berbeda yang akan diuji, untuk kondisi batas inlet : *Mass flow* aliran Inlet

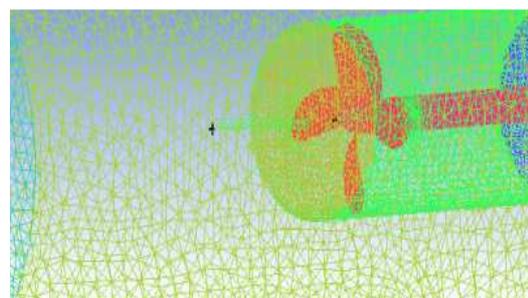
Kondisi kecepatan dan mass flow aliran inlet dipilih, di sesuaikan dengan kondisi fisik secara riil. Untuk simulasi kondisi batas outlet kita gunakan : Tekanan.

Pada pemodelan zona stasioner, karena kondisi tekanan keluar. Kita gunakan seperti gambar.4 untuk baling-baling normal *skew* B.4.5.[5]



2.3. Grid dan penentuan zona

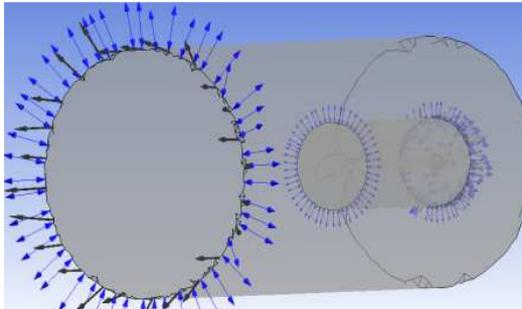
Sebuah diskritisasi geometris dari baling-baling dibuat untuk perlakuan. Sel *tetrahedral* terstruktur yang digunakan untuk mendefinisikan sebuah volume atur (simetris terhadap sumbu baling-baling). Kita tidak bisa mengatakan bahwa mesh kecil adalah baik karena kita harus mempertimbangkan waktu dan perhitungan biaya. Pada permukaan baling-baling adalah bentuk segitiga berbagai ukuran karena sel-sel di dekat *root*, dan ujung baling-baling lebih kecil dari bagian lain, dibagi menjadi beberapa daerah antara lain : zone berputar, daerah stasioner, *inlet*, *outlet wall*, *poros*, *face* dan *back*, serta *interface*. Akhirnya, semua zona perhitungan dan domain menyatu dengan *grid tetrahedral* seperti yang ditunjukkan pada gambar.6.



Gambar.6. Grid baling-baling B.4.55 dan domain CFD

2.4. Simulasi

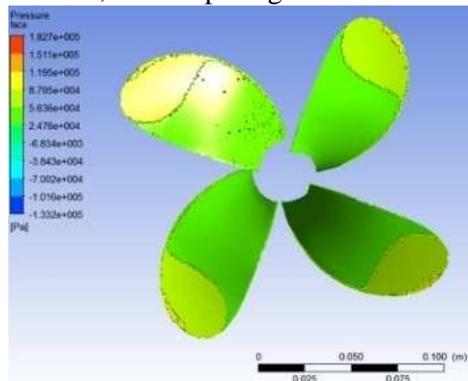
Simulasi dilakukan setelah memasukkan nilai beberapa parameter antara lain : *inlet mass flow* (kg/s), putaran (rps) untuk domain bag.berputar dan tekanan outlet seperti pada gambar.8-9.



Gambar.8. Definisi kondisi batas pada baling-baling B.4.55 normal *skew* dan domain CFD

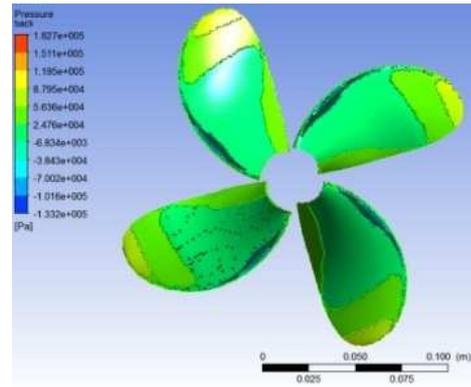
3. HASIL SIMULASI DAN ANALISA

Hasil simulasi berupa resultan gaya (N) dan torsi (Nm) untuk setiap kecepatan dan mass flow serta putaran yang disimulasi pada koordinat X, Y dan Z. Hasil yang lain yaitu menggambarkan bentuk kontur tekanan dibagian face dan back didaun baling-baling pada $J = 0.7$, terlihat pada gambar.10-11.



Average of Pressure = 49898.6 [Pa]

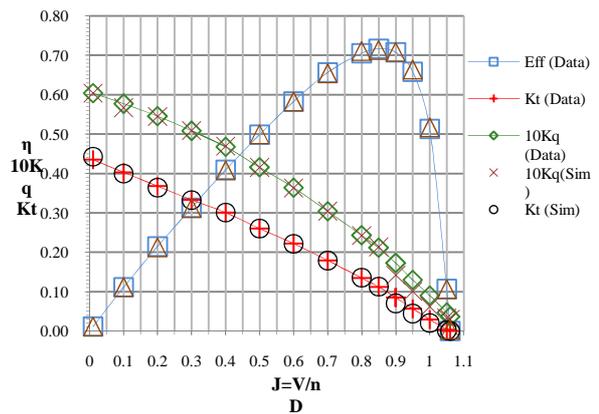
Gambar.10. Kontur tekanan pada face daun baling-baling normal skew untuk $J=0.7$.



Average of Pressure = 21833.6 [Pa]

Gambar.11. Kontur tekanan pada back daun baling-baling untuk $J=0.7$.

Hasil simulasi diatas kemudian dicatat nilai gaya dorong (N), dan Torsi (Nm)nya, dan dihitung koefisien K_t , K_q dan Efisiensi (η) pada nilai $J = 0,01-1.06$ pada putaran 10-69.5 rps. Kemudian nilai diatas dibuat grafik yang terlihat pada gambar.12.



Gambar.12. Grafik K_t , $10K_q$ dan η baling-baling normal skew (simulasi dan data)

Tabel.1. Nilai koefisien gaya dorong (K_T) baling-baling B4.55

J	Rps	V (m/s)	T (sim)	K_t data	Delta K_t (%)
0.7	37.5	5.25	402.3	0.179	0.11
0.8	50	8	541.4	0.135	-0.45
0.85	57	9.69	585.7	0.112	-1.06

Tabel.2. Nilai koefisien torsi (10Kq) dan efisiensi (η) baling-baling B.455

J	10Kq (data)	10Kq (Sim)	$\theta K\Delta$ (%)	η (Data)	η (sim)	$\eta\Delta$ (%)
0.7	0.304	0.305	-0.21	0.656	0.654	0.33
0.8	0.2433	0.2423	0.38	0.706	0.711	0.83
0.85	0.2115	0.214	-1.07	0.717	0.713	0.01

nilai simulasi numerik terhadap nilai data adalah memiliki selisih pada koefisien $\Delta Kt, \Delta 10Kq, \Delta \eta$ dari $J=0.01-0.85$ memiliki harga nilai rata-rata kurang dari 2%.

4. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi yang telah dilakukan dan analisa maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Dengan simulasi numerik dapatlah diteliti dan diprediksi karakteristik balingbaling skew seperti efisiensi (η), koefisien gaya dorong (Kt) dan torsi (Kq) dengan perbedaan kurang dari $\pm 2\%$ dibandingkan dengan hasil eksperimen.
2. Besarnya nilai parameter diatas sangat dipegaruhi oleh : Keakuratan geometri model baling-baling, Bentuk gometri domain rotating dan stasioner, Geometri dan jenis serta jumlah grid, Kondisi batas yang menjadi parameter input simulasi (material, *mass and momentum-mass flow rate, angular velocity* bagian berputar dan stasioner.
3. Nilai karakteristik simulasi baling-baling mempunyai nilai koefisien dorong (Kt) pada $J= 0.7, 0.8$ dan 0.85 mengalami perbedaan sebesar 0.11%, 0.45% dan 1.06%.
4. Nilai karakteristik simulasi baling-baling nilai koefisien torsi (10Kq) pada $J= 0.7, 0.8$ dan 0.85 mengalami kenaikan perbedaan 0.21%, 0.38% dan 1.07%.
5. Nilai karakteristik simulasi baling-baling mempunyai nilai efisiensi (η) pada $J= 0.7, 0.8$ dan 0.85 mengalami perbedaan sebesar 0.33%, 0.83% dan 0.01% . dan ($\Delta \eta$) sebesar 0.33%. Hasil validasi antara

Pada gambar. 10-11 menunjukkan bahwa tekanan average pada bagian face lebih besar dari back pada daun baling-baling.

Pada tabel 1- 2. menggambarkan besarnya nilai koefisien gaya dorong baling-baling B.455 skew normal (Kt), koefisien torsi (10Kq) dan efisiensi (η) pada $J=0.7$, menunjukkan adanya perbedaan nilai antara data dan hasil simulasi numerik dengan selisih (ΔKt) sebesar 0.11%, ($\Delta 10Kq$) sebesar 0.21%

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Carlton JS, 1994, "Marine Propeller and Propulsion", Butterworth.
- [2] Harvald, Sv, Aa, 1983, "Tahanan dan Propulsi Kapal", Airlangga University Press, Surabaya. USA: American Scientific Publishers, 2002.
- [3] ITTC(2002), "Recommended procedure and Guidelines Testing and Extrapolation Method Propulsion, Propulsor Open Water Test".
- [4] M.M. Bernitsas, D.Ray, P. Kinley, Report No.237, 1981, "KT, KQ and Efficiency Curve for the Wageningen B-Series Propellers", The University of Michigan.
- [5] Mehdi Nakisa, Mohammad Javad Abbasi, and Ahmad Mobasher Amini, (2010), "Assessment of Marine Propeller Hydrodynamic Performance in Open Water via CFD", Proceedings of MARTEC, The International Conference on Marine Technology, BUET, Dhaka, Banglades.
- [6] T.P. O'Brien 1962, "The design of Marine Screw Propeller", London.
- [7] Vladimir Krasilnikov¹, Jiaying Sun² and Karl Henning Halse³, 2009, "CFD Investigation in Scale Effect on Propellers with Different Magnitude of Skew in Turbulent Flow", First International Symposium on Marine Propulsors'09, Trondheim, Norway.