



Analisa Turbulensi Terhadap Jarak antara *Airfoil* pada *Propeller* dengan Metode *Computational Fluid Dynamic*

Maful Suranto ^{a*}, Desta Rifky Aldara ^b, Izzul Fikry ^c, Achdri Fauzi Nugraha Oloan ^d, Riyan Bagus Prihandanu ^e

^a Jurusan Teknik Perkapalan, Politeknik Negeri Bengkalis

^b Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Negeri Madura

^c Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

^d Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Banyuwangi

^e Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

E-mail koresponden: maful@polbeng.ac.id

Abstract

A propeller is a type of rotor used to generate thrust or power, commonly found in ships, aircraft, and power generation systems such as wind turbines. The design of propellers has evolved from traditional screw shapes to modern blade forms, with key parameters such as foil, skew, pitch, and rake being continuously refined to achieve optimal efficiency. One of the leading institutions in propeller development is the Maritime Research Institute Netherlands (MARIN), which has introduced various propeller series, including the B-series, Ka-series, as well as the more recent C-series and D-series. The fundamental working principle of a propeller involves converting rotational energy into thrust in a fluid medium, following Bernoulli's principle and Newton's laws to create pressure differences across the blade surfaces. These pressure differences can lead to cavitation—formation of vapor bubbles due to pressure drops—which may cause material damage, vibration, noise, and reduced propeller efficiency. Balancing efficiency and comfort presents a design challenge. This study proposes the determination of the distance between foils to the propeller blade, based on the NACA 0012 airfoil profile, and analyzes its performance using Computational Fluid Dynamics (CFD) to identify the most efficient design. Results indicate that placing the foil in the middle and front positions yields the highest lift force of 7550 N, while positioning the foil at the rear produces the highest drag force of 4016 N.

Keywords: Cavitation, Propeller, Airfoil, Computational Fluid Dynamics (CFD)

Abstrak

Propeller adalah baling-baling yang digunakan untuk menghasilkan daya dorong atau tenaga, seperti pada kapal, pesawat, dan pembangkit listrik (misalnya kincir angin). Desain *propeller* berkembang dari bentuk *screw* menjadi daun dengan berbagai parameter seperti *foil*, *skew*, *pitch*, dan *rake*, yang terus dikembangkan untuk mencapai efisiensi optimal. Salah satu lembaga yang aktif dalam pengembangan ini adalah MARIN (Maritime Research Institute Netherlands), yang telah menghasilkan berbagai seri *propeller* seperti B-series, Ka-series, hingga C- dan D-series. Prinsip kerja *propeller* adalah mengubah tenaga rotasi menjadi daya dorong dalam fluida, menggunakan prinsip *Bernoulli* dan hukum *Newton* untuk menghasilkan perbedaan tekanan pada permukaan daun. Perbedaan tekanan ini bisa menyebabkan kavitasi munculnya gelembung gas akibat penurunan tekanan yang berdampak buruk seperti kerusakan daun, getaran, dan kebisingan, serta menurunkan efisiensi. Masalah efisiensi dan kenyamanan menjadi tantangan tersendiri bagi desainer. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan penentuan jarak antar *foil* pada daun *propeller* (berbasis NACA 0012) dan dianalisis menggunakan CFD untuk mencari desain paling efisien. Dari hasil penelitian, konfigurasi *foil* di tengah dan depan menghasilkan gaya angkat (*lift*) tertinggi sebesar 7550 N, sementara *foil* di belakang menghasilkan hambatan (*drag*) tertinggi sebesar 4016 N.

Kata Kunci: Cavitation, Propeller, Airfoil, Computational Fluid Dynamics (CFD)

1. PENDAHULUAN

Baling-baling merupakan alat berputar yang biasa digunakan sebagai sumber tenaga dalam pembangkit listrik seperti turbin angin dan juga dimanfaatkan sebagai penghasil daya dorong, umumnya pada kapal maupun pesawat terbang. Perkembangan baling-baling dimulai dari bentuk menyerupai sekrup hingga menjadi bentuk daun seperti saat ini. Pada dasarnya, bentuk daun baling-baling ditentukan oleh ukuran *foil*, *skew*, *pitch*, *rake*, dan lainnya. Dari berbagai bentuk tersebut, banyak lembaga melakukan pengembangan untuk mencapai efisiensi maksimum. Salah satu lembaga tersebut adalah *Netherlands Ship Model Basin* (N.S.M.B.) yang telah mengembangkan berbagai tipe baling-baling seperti B-series, Ka-series, Taylor, Gawn, SSPA, dan MAU sejak 1932 di bawah naungan *Maritime Research Institute Netherlands* (MARIN). Baru-baru ini, MARIN menggandeng industri dalam proyek bersama bernama *Joint Industry Project* (JIP) untuk menciptakan dua tipe baru, yaitu C-series untuk CPP dan D-series untuk ducted CPP pada tahun 2012.

Secara prinsip, baling-baling bekerja dengan mengubah energi rotasi menjadi dorongan (*thrust*) dalam media fluida seperti air atau udara. Daun baling-baling berfungsi seperti sayap pesawat dalam menghasilkan gaya angkat, mengikuti prinsip *Bernoulli* dan hukum gerak *Newton* guna menciptakan perbedaan tekanan antara sisi depan dan belakang. Perbedaan kecepatan pada *foil* memicu perbedaan tekanan yang dapat menyebabkan turbulensi sebagai pemicu awal kavitasi. Kavitasi merupakan fenomena terbentuknya gelembung-gelembung gas pada daun baling-baling karena tekanan yang turun sementara suhu tetap, mengakibatkan penguapan walaupun belum mencapai 100°C. Jika kavitasi terjadi, maka dapat menimbulkan kerusakan seperti lubang atau patahnya material daun, mengurangi efisiensi dan menghasilkan getaran serta kebisingan yang mengganggu kenyamanan. Karena adanya getaran dan suara tersebut, dibutuhkan standar kenyamanan yang sering kali mengorbankan efisiensi. Konflik antara efisiensi dan kenyamanan ini membuat desainer harus menyeimbangkan antara performa kavitasi dan efisiensi, serta menuntut pemilik membayar lebih untuk perawatan baling-baling. Oleh karena itu, diperlukan keseimbangan antara efisiensi dan kenyamanan baling-baling melalui Analisa Turbulensi Terhadap Jarak antar *Airfoil* pada *Propeller* dengan Metode *Computational Fluid Dynamic* (CFD). Judul ini diangkat berdasarkan hipotesis hukum kekekalan energi dan hukum *momentum*. Dengan penambahan *foil* tersebut, diharapkan dapat diperoleh jumlah daun dan jarak optimal untuk efisiensi terbaik dari baling-baling.

Pada referensi terdahulu, dibahas beberapa modifikasi pada daun baling-baling, seperti penambahan *preswirl*, *fin* pada *bos* baling-baling, sirip pada *airfoil*, dan *vortex generator*. Dalam penelitian ini, penulis ingin mengetahui pengaruh penambahan foil terhadap aliran fluida pada baling-baling, dampak terhadap kavitasi pada daunnya, serta hasil efisiensi setelah foil ditambahkan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Computational Fluid Dynamics* (CFD).

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Momentum

Momentum suatu objek diartikan sebagai ukuran seberapa sulit menghentikan gerakan dari objek tersebut. Dalam bentuk matematis, momentum merupakan hasil perkalian antara massa dan kecepatan dari objek. Apabila dalam suatu sistem tidak terdapat gaya eksternal total yang bekerja, maka *momentum* total sistem akan tetap (konstan sepanjang waktu), sehingga laju perubahan *momentum* total menjadi nol. [1]

$$p = m v \quad (1)$$

Dimana :

p = *momentum* (kg m/s)
m = massa benda (kg)
v = kecepatan benda (m/s)

Temuan ini disebut sebagai hukum kekekalan *momentum*. Hukum ini sangat berguna saat membahas kejadian tumbukan. Ketika dua benda mengalami tumbukan, keduanya akan saling mendekat, berinteraksi secara kuat, lalu menjauh kembali. Interaksi kuat antar benda hanya terjadi selama proses tumbukan berlangsung. Apabila gaya eksternal yang bekerja jauh lebih kecil daripada gaya interaksi saat tumbukan, maka pengaruh gaya eksternal bisa diabaikan. Bila setelah tumbukan energi kinetik total kedua benda tetap sama, maka tumbukannya bersifat elastik sempurna. Namun jika energi kinetiknya setelah tumbukan lebih kecil daripada sebelumnya, maka tumbukannya bersifat tidak elastik. Jika seluruh energi relatif hilang dan benda bergerak bersama dengan kecepatan serupa, maka tumbukan dikatakan tidak elastik sempurna.

Koefisien restitusi (e) adalah ukuran dari sifat keelastikan suatu tumbukan, didefinisikan sebagai perbandingan antara kecepatan relatif saat saling menjauh dan kecepatan relatif saat saling mendekat [2]. Untuk tumbukan yang benar-benar elastik, nilai $e = 1$; untuk tumbukan tidak elastik nilainya $0 < e < 1$; sedangkan pada tumbukan tidak elastik sempurna, $e = 0$.

Hukum kekekalan *momentum* adalah sebagai berikut:

$$p = p'$$

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v'_1 + m_2 v'_2 \quad (2)$$

1. Lenteng sempurna

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v'_1 + m_2 v'_2$$

$$v_2 - v_1 = v'_1 - v'_2 \quad (3)$$

2. Lenteng sebagaian

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v'_1 + m_2 v'_2$$

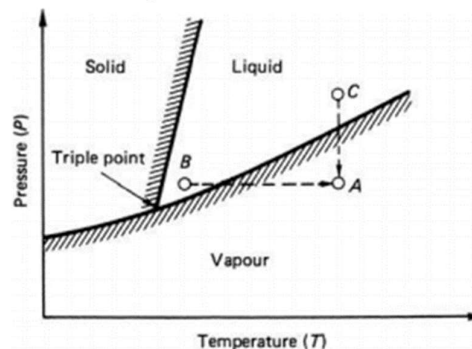
$$v_2 - v_1 = (v'_1 - v'_2) e \quad (4)$$

3. Tidak lenteng

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = (m_1 + m_2) v' \quad (5)$$

2.2. Kavitasi

Kavitasi merupakan munculnya atau terbentuknya gelembung-gelembung gas pada bagian daun baling-baling akibat tekanan yang menurun, sementara suhu tetap, sehingga menyebabkan terjadinya penguapan meskipun air biasanya mendidih atau menguap pada suhu 100 derajat *Celsius*. Kavitasi itu sendiri adalah proses terbentuknya gelembung udara karena tekanan yang sangat rendah, bahkan berada di bawah tekanan uap [3]. Seperti ditunjukkan pada gambar 1, hubungan antara suhu dan tekanan digambarkan sebagai berikut:

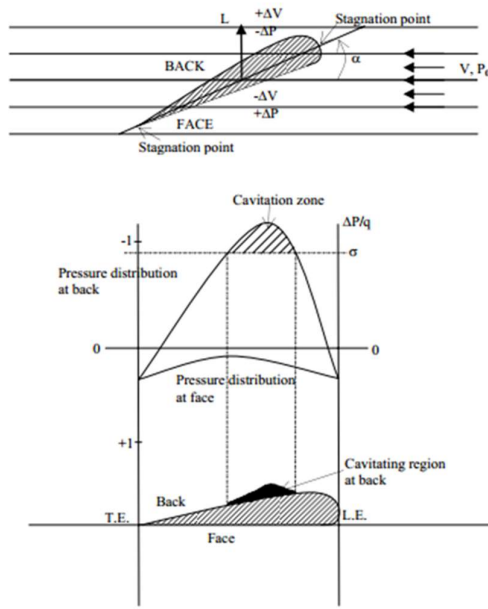


Gambar 1. Tekanan Terhadap Suhu

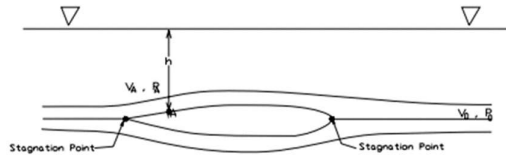
Laboratorium pengujian kavitasi biasanya membuat gambar sketsa atau mengambil foto dari pola kavitasi yang muncul. Dari hasil tersebut, penjelasan yang diberikan sering kali berdasarkan pengamatan visual, yaitu adanya bentuk kavitasi seperti uap (*cloud*), busa (*foam*), kabut (*mist*), lembaran (*sheet*), gelembung, buih (*froth*), bercak (*spot*), garis (*streak*), dan bentuk lainnya. [4]

Kerugian kavitasi meliputi:

1. Penurunan efisiensi *propeller*.
2. Menurunnya kecepatan akibat gangguan pada sistem *propulsor*.
3. Kerusakan atau erosi pada bahan *propeller*.
4. Dua jenis erosi yang terjadi: keausan/pengasaran dan *pitting* (burrik).
5. Timbulnya getaran.
6. Menimbulkan kebisingan.



Gambar 2. Tekanan dan Aliran Udara pada Foil



Gambar 3. Perbedaan Tekanan

Yaitu menggunakan rumus:

$$P_a \leq P_v$$

atau

$$\frac{p_0 - p_a}{\frac{1}{2} \rho v^2} \geq \frac{p_0 - p_v}{\frac{1}{2} \rho v^2}$$

(6)

Di mana p_0 dan V adalah tekanan dan kecepatan fluida, sedangkan p_a dan V_a adalah tekanan dan kecepatan pada titik A. Tekanan di dalam air dihitung menggunakan Persamaan Bernoulli:

$$p_0 + \frac{1}{2} \rho V^2 = p_a + \frac{1}{2} \rho V_a^2$$

atau

$$p_0 - p_a = \frac{1}{2} \rho V_a^2 - \frac{1}{2} \rho V^2$$

(7)

Dengan mensubstitusi persamaan 1 ke persamaan 2, diperoleh hasil:

$$\frac{p_0 - p_a}{\frac{1}{2} \rho v^2} = \frac{\frac{1}{2} \rho V_a^2 - \frac{1}{2} \rho V^2}{\frac{1}{2} \rho v^2}$$

atau

$$\frac{\Delta p}{q} \geq \frac{p_0 - p_v}{\frac{1}{2} \rho v^2} \quad (8)$$

Dimana σ adalah angka kavitasi dan C_p adalah koefisien tekanan, dengan definisi sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{p_0 - p_v}{\frac{1}{2} \rho v^2}$$

dan

$$C_p = \frac{\Delta p}{q} \quad (9)$$

Dimana p_0 adalah tekanan di kedalaman ditambah tekanan atmosfer, yaitu:

$$\sigma = \frac{p_{atm} + p_h - p_v}{\frac{1}{2} \rho v^2}$$

With $p_h = \rho g h$

(10)

Karena angka kavitasi (σ) konstan meskipun terjadi perubahan pada C_p , kavitasi akan terjadi berdasarkan persamaan berikut:

Kavitasi terjadi jika

$$\sigma \leq \frac{\Delta p}{q} \quad (11)$$

Kavitasi tidak terjadi apabila memenuhi persamaan berikut:

$$\sigma > \frac{\Delta p}{q} \quad (12)$$

Empat model kavitasi dipertimbangkan yaitu *Kunz*, *Merkle*, *Schnerr-Sauer*, dan *Zwart*. Namun, hanya tiga yang digunakan dalam perangkat lunak, yaitu *Kunz*, *Merkle*, dan *Schnerr-Sauer*, yang sudah tersedia di OpenFOAM. Model *Zwart* ditambahkan karena merupakan salah satu model standar pada perangkat lunak komersial. [5]

1. Kunz et al. 2000 [6]

Pada pemodelan kavitasi ini difokuskan pada jenis *sheet cavitation*, di mana Re merepresentasikan perubahan dari cair (*liquid*) ke uap (*vapor*), sedangkan Rc menggambarkan perubahan dari uap kembali ke cair.

$$Re = \frac{C_{dest} \rho v \alpha \min [0, p - p_{Sat}]}{\rho l \frac{U_\infty^2}{2} t_\infty}$$

$$Rc = \frac{C_{prod} \rho v \alpha^{1/2} (1 - \alpha)}{t_\infty}$$

(13)

Dimana:

$C_{dest} = 1000$

$C_{prod} = 1000$

U_∞ adalah kecepatan dan waktu *free stream* biasanya didefinisikan dengan rumus d/U_∞ , di mana d adalah skala panjang, seperti diameter badan (*body diameter*).

2. Merkle et al. 2006 [7]

Dimana permodelan formula yang digunakan.

$$\begin{aligned} Re &= k_v \frac{\rho_v \alpha_l}{t_\infty} \min \left[1, \max \left(\frac{p^{\text{Sat}} - p}{k_p p_v}, 0 \right) \right] \\ Rc &= k_l \frac{\rho_v \alpha_v}{t_\infty} \min \left[1, \max \left(\frac{p - p^{\text{Sat}}}{k_p p_v}, 0 \right) \right] \end{aligned} \quad (14)$$

3. Schnerr-Sauer-Yuan 2001 [8]

Dimana permodelan untuk model bergelembung.

$$\begin{aligned} Re &= \frac{\rho_v \rho_l}{\rho} \alpha_v (1 - \alpha_v) \frac{3}{R_b} \sqrt{\frac{2}{3} \frac{p^{\text{Sat}} - p}{\rho_l}} \\ Rc &= \frac{\rho_v \rho_l}{\rho} \alpha_v (1 - \alpha_v) \frac{3}{R_b} \sqrt{\frac{2}{3} \frac{p - p^{\text{Sat}}}{\rho_l}} \end{aligned} \quad (15)$$

Dengan formula *radius* gelembung:

$$R_b = \left(\frac{\alpha_v}{1 - \alpha_v} \frac{3}{4\pi n} \right)^{1/3} \quad (16)$$

Konstanta yang perlu ditentukan adalah jumlah gelembung uap per volum cairan (n), dengan nilai $1,5 \times 10^{14} \text{ nuclei/m}^3$.

4. Zwart et al. 2004 [9]

Seperti model *Schnerr-Sauer*, model *Zwart* didasarkan pada persamaan *Rayleigh-Plesset* yang disederhanakan untuk memperhitungkan efek *nonequilibrium*. Agar interaksi gelembung kavitasi lebih akurat, densitas situs nukleasi harus menurun seiring peningkatan fraksi volum uap.

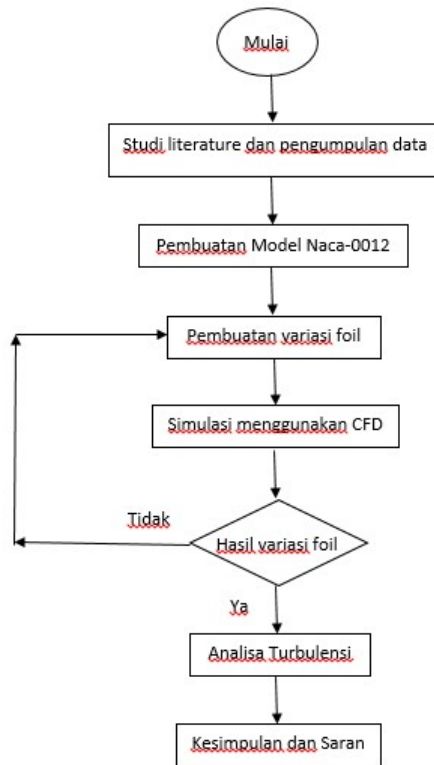
Oleh karena itu, nilai r_v asli diganti dengan $r_{\text{nuc}} \times (1 - r_v)$

- $R_b = 10\text{--}6\text{m}$ (*Nucleation site radius*)
- $R_{\text{nuc}} = 5 \cdot 10^{-4}$
- $F_{\text{vap}} = 50$
- $F_{\text{cond}} = 0.01$

$$\begin{aligned} Re &= F_{\text{vap}} \frac{3r_{\text{nuc}}(1 - \alpha_v)}{R_b} \rho_v \sqrt{\frac{2}{3} \frac{p^{\text{Sat}} - p}{\rho_l}} \\ Rc &= F_{\text{cond}} \frac{3\alpha_v}{R_b} \rho_v \sqrt{\frac{2}{3} \frac{p - p^{\text{Sat}}}{\rho_l}} \end{aligned} \quad (17)$$

3. METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini untuk menjelaskan urutan yang akan dilakukan dalam penelitian ini untuk mencapai tujuan yang akan ditetapkan. Metodologi yang digunakan mencakup pendekatan penelitian, jenis dan sumber data, metode pengumpulan data, serta teknik analisis yang diterapkan. Dengan penjelasan sistematis mengenai metode yang digunakan, diharapkan penelitian ini dapat dilakukan secara terukur, valid, dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.



Gambar 4. Aliran Diagram

3.1. Tinjauan Literatur dan data

Tinjauan literatur atau referensi sangat dibutuhkan untuk memperdalam pemahaman terhadap permasalahan yang dihadapi. Studi literatur ini dilakukan dengan cara mengumpulkan serta mempelajari berbagai referensi dari buku, jurnal, internet, wawancara, dan juga hasil diskusi, serta untuk data diperoleh melalui proses pengumpulan tersendiri..

3.2. Pembuatan Naca-0012 dan variasi foil

Pembuatan naca-0012 bisa di apatkan di “https://turbmodels.larc.nasa.gov/naca0012_val.html ”

3.3. Pengujian permodelan menggunakan CFD

Pengujian ini dilakukan pada naca-0012

3.4. Penarikan data kesimpulan dan saran

Pada tahap ini, kesimpulan diambil dari hasil analisis dan saran diberikan sebagai acuan.

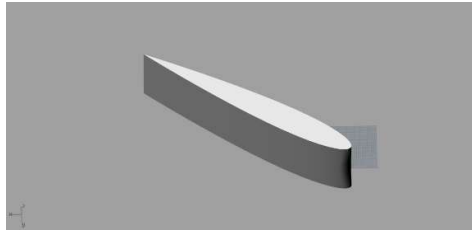
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Model

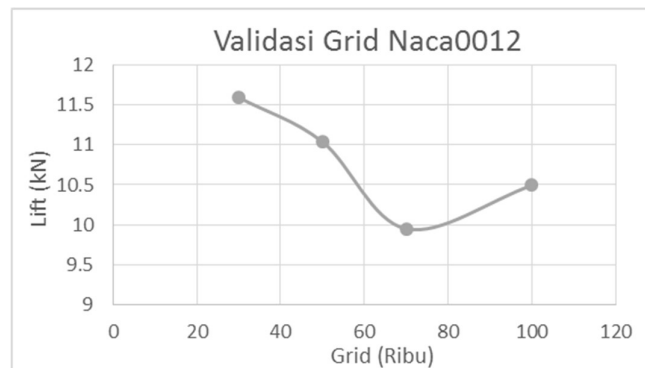
Pemodelan Naca-0012 berdasarkan pemodelan dari Naca-0012 bersumber dari https://turbmodels.larc.nasa.gov/naca0012_val.html digunakan polinomial dengan panjang *cord* 0.645 meter dan sudut 30 derajat serta digunakan pada kecepatan 10 m/s sebagai berikut:

$$y = +0.594689181*[0.298222773*\text{sqrt}(x) - 0.127125232*x - 0.357907906*x^2 + 0.291984971*x^3 - 0.105174606*x^4]$$

Dihasilkan bentuk sebagai berikut:



Gambar 5. Keadaan normal

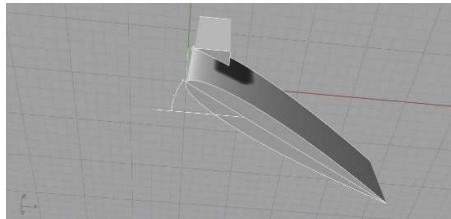


Gambar 6. Validasi Grid Naca0012

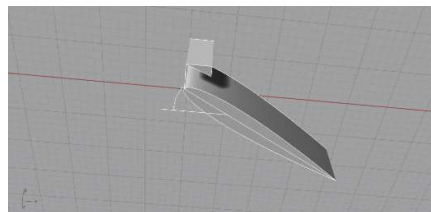
Dari gambar 6 diatas didapatkan grid yang digunakan adalah 70 ribu yang mendekati dengan perhitungan, sedangkan pada validasi nilai error terkecil pada sudut 10 dengan error 0.9% sedangkan error terbesar pada sudut 15 yaitu 4.6% pada masing masing ukuran grid 70 ribu yang terpilih.

Pemodelan Foil

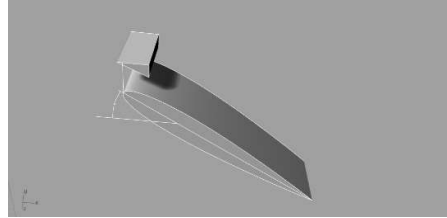
Pemodelan pada penambahan *foil* dengan ukuran panjang 0.08 m dan tinggi 0.035 m dengan kemiringan 30 derajat dengan diatas *foil* 0.85 m dengan variasi penempatan *foil* ± 0.014 m dengan sebagai berikut:



Gambar 7. Posisi bagian belakang



Gambar 8. Posisi bagian tengah

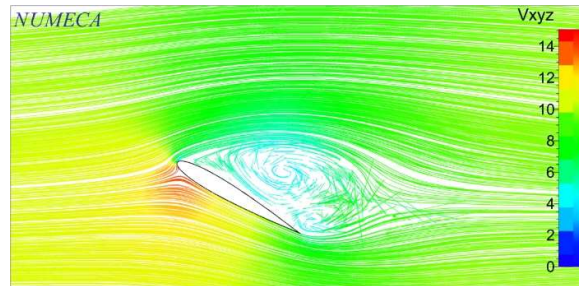


Gambar 9. Posisi bagian depan

4.2 Analisa dari hasil Simulasi CFD

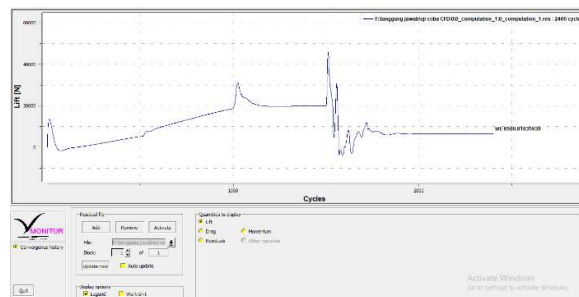
Pada hasil dari simulasi CFD adalah sebagai berikut:

1. Keadaan Normal



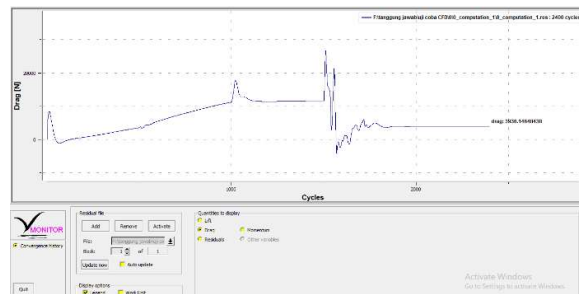
Gambar 10. Aliran Keadaan Normal

Pada keadaan Naca-0012 normal terjadi turbulensi yang akan menyebabkan kavitasi seperti gambar di atas.



Gambar 11. Lift Keadaan Normal

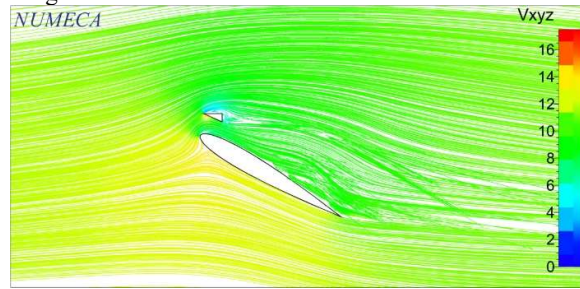
Pada keadaan normal dengan kecepatan 10 m/s menghasilkan *lift* sebesar 6508 N



Gambar 12. Drag Keadaan Normal

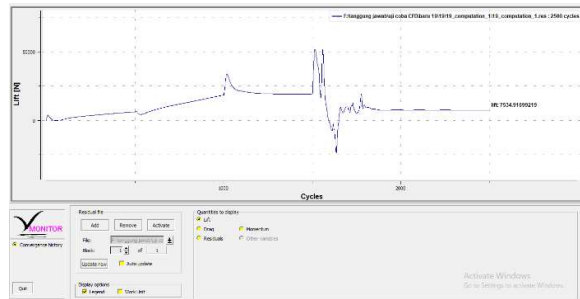
Pada keadaan normal dengan kecepatan 10 m/s menghasilkan *drag* sebesar 3936 N

2. Keadaan Belakang



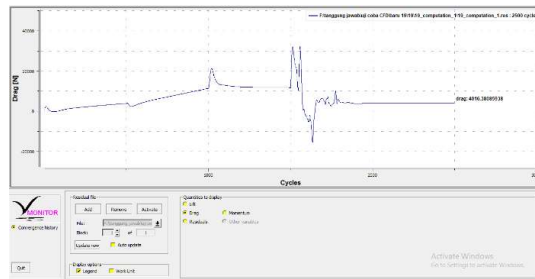
Gambar 13. Aliran Keadaan *Foil* di belakang

Pada penambahan *foil* dengan posisi di belakang sedikit terjadi turbulensi aliran seperti gambar di atas.



Gambar 14. Lift Keadaan *Foil* Belakang

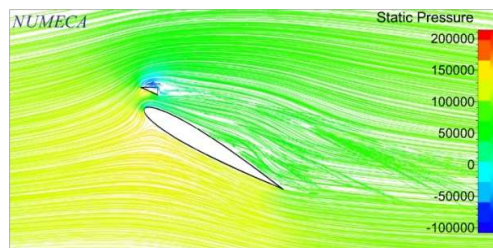
Pada penambahan *foil* dengan posisi di belakang dengan kecepatan 10 m/s menghasilkan *lift* sebesar 7534 N lebih tinggi dari keadaan normal di karenakan molekul fluida tidak menumbuk kembali ke bagian Naca-0012 *low pressure*



Gambar 15. Drag Keadaan *Foil* Belakang

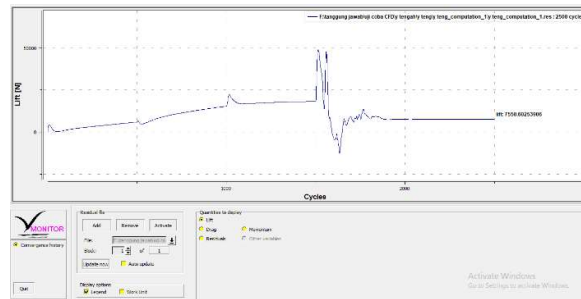
Pada penambahan *foil* dengan posisi di belakang dengan kecepatan 10 m/s menghasilkan *drag* sebesar 4016 N lebih tinggi dari keadaan normal di karenakan molekul fluida tidak menumbuk kembali ke bagian Naca-0012 *low pressure*

3. Keadaan Tengah



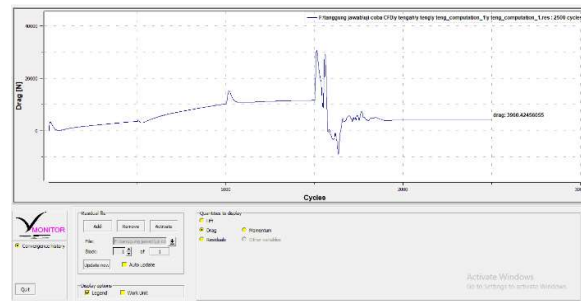
Gambar 16. Aliran Keadaan *Foil* di Tengah

Pada penambahan *foil* dengan posisi di tengah sedikit terjadi turbulensi aliran seperti gambar di atas.



Gambar 17. Lift Keadaan Foil Tengah

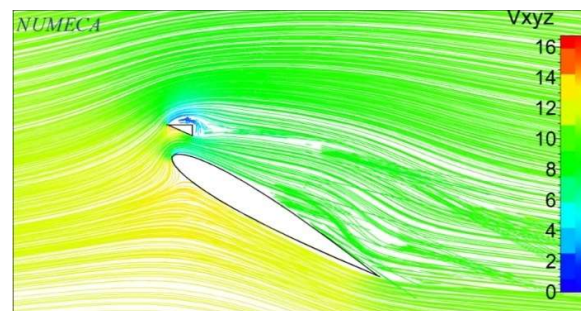
Pada penambahan *foil* dengan posisi di tengah dengan kecepatan 10 m/s menghasilkan *lift* sebesar 7550 N lebih tinggi dari keadaan normal di karenakan molekul fluida tidak menumbuk kembali ke bagian Naca-0012 *low pressure*



Gambar 18. Drag Keadaan Foil Tengah

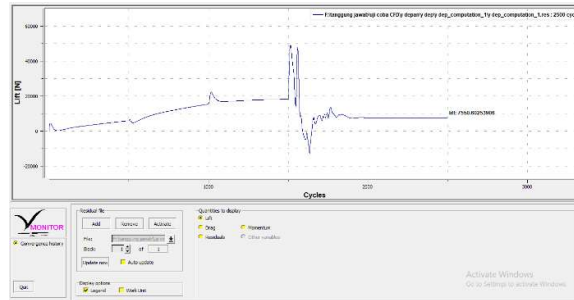
Pada penambahan *foil* dengan posisi di tengah dengan kecepatan 10 m/s menghasilkan *drag* sebesar 3960 N lebih tinggi dari keadaan normal di karenakan molekul fluida tidak menumbuk kembali ke bagian Naca-0012 *low pressure*

4. Keadaan Depan



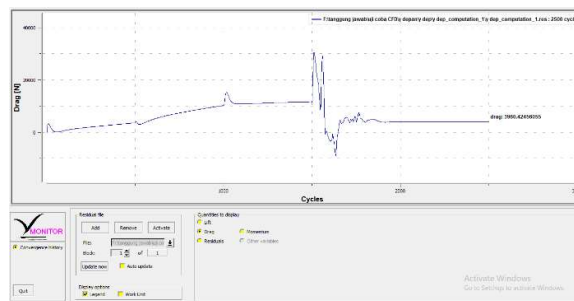
Gambar 19. Aliran Keadaan Foil di Depan

Pada penambahan *foil* dengan posisi di depan sedikit terjadi turbulensi aliran sepeerti gambar di atas.



Gambar 20. *lift* Keadaan *Foil* Depan

Pada penambahan *foil* dengan posisi di depan dengan kecepatan 10 m/s menghasilkan *lift* sebesar 7550 N lebih tinggi dari keadaan normal di karenakan molekul fluida tidak menumbuk kembali ke bagian Naca-0012 *low pressure*



Gambar 21. *Drag* Keadaan *Foil* Depan

Pada penambahan *foil* dengan posisi di depan dengan kecepatan 10 m/s menghasilkan *drag* sebesar 3960 N lebih tinggi dari keadaan normal di karenakan molekul fluida tidak menumbuk kembali ke bagian Naca-0012 *low pressure*

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan simulasi analisis data serta penjabaran yang telah di bahas sebelumnya, maka selanjutnya dilakukan pengambilan data kesimpulan dengan sebagai berikut:

1. Keadaan Normal

Lift = 6508 N

Drag = 3936 N

2. Keadaan *Foil* di Belakang

Lift = 7534 N

Drag = 4016 N

3. Keadaan *Foil* di Tengah

Lift = 7550 N

Drag = 3960 N

4. Keadaan *Foil* di Depan

Lift = 7550 N

Drag = 3960 N

Dari masing-masing model dapat disimpulkan *Lift* tertinggi pada keadaan *foil* di tengah dan depan dengan nilai 7550 N, sedangkan *drag* tertinggi pada keadaan *foil* di belakang dengan nilai 4016 N, dengan hasil hal ini maka dapat dijadikan untuk mempertimbangkan antara jenis *foil* dan menentukan jumlah daun propeller untuk mengantisipasi kemungkinan terjadinya kavitasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Utari and E. C. Prima, "Analisis Hukum Kekekalan Momentum Model Tumbukan Kelereng dengan Gantungan Ganda menggunakan Analisis Video Tracker," *J. Pendidik. Fis. dan Keilmuan*, vol. 5, no. 2, p. 83, 2019, doi: 10.25273/jpfb.v5i2.4145.
- [2] A. Fruleux, R. Kawai, and K. Sekimoto, "Momentum transfer in nonequilibrium steady states," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 108, no. 16, pp. 1–5, 2012, doi: 10.1103/PhysRevLett.108.160601.
- [3] J. Carlton, *Marine Propellers and Propulsion*, 2007th ed. Oxford: Elsevier Ltd, 2007.
- [4] S. Wahyudi, R. Arief, and P. Syamrahmadi, "PERANCANGAN DAN PENGAMBARAN PROPELLER DENGAN PENDEKATAN SOFTWARE HYDROCOMP PROPCAD Slamet," *Syntax Lit. J. Ilm. Indones.*, vol. 7, no. 2, 2022, doi: <https://doi.org/10.36418/syntax-literate.v7i2.6289>.
- [5] L. Hanimann, L. Mangani, E. Casartelli, and M. Widmer, "Steady-state cavitation modeling in an open source framework: Theory and applied cases," *Open Arch. 16th Int. Symp. Transp. Phenom. Dyn. Rotating Mach. ISROMAC 2016*, pp. 1–10, 2019.
- [6] R. F. Kunz *et al.*, "A preconditioned Navier-Stokes method for two-phase flows with application to cavitation prediction," *Comput. Fluids*, vol. 29, no. 8, pp. 849–875, 2000, doi: 10.1016/S0045-7930(99)00039-0.
- [7] C. L. Merkle, D. Li, and V. Sankaran, "Multi-disciplinary computational analysis in propulsion," *Collect. Tech. Pap. - AIAA/ASME/SAE/ASEE 42nd Jt. Propuls. Conf.*, vol. 4, no. July, pp. 2651–2674, 2006, doi: 10.2514/6.2006-4575.
- [8] M. Danil Arifin, D. Faturachman, and F. Octaviani, "Analisa Pengaruh Perubahan Pitch Ratio dan Jumlah Blade Terhadap Kavitasi Pada Controllable Pitch Propeller (CPP) Mohammad Danil Arifin 1, Danny Faturachman 1, Fanny Octaviani 2 1," *Univ. Darma Persada*, vol. iX, no. 2, pp. 1–11, 2020, [Online]. Available: <http://repository.unsada.ac.id/id/eprint/1351>
- [9] P. J. Zwart, A. G. Gerber, and T. Belamri, "A two-phase flow model for predicting cavitation dynamics," *5th Int. Conf. Multiph. Flow*, vol. 152, no. January 2004, p. 152, 2004.