



Pengaruh Variasi Diameter 12–14 Inchi terhadap Performa Aerodinamika Propeler NACA 0012: Simulasi Dinamika Fluida Komputasional (CFD)

Syafrie Syamsudin Affandi^{1,*}, Rizal Hanifi¹, Ujiburrahman¹, Nur Indah Wulandari Sumarsono¹

¹ Program Studi S-1 Teknik Mesin, Universitas Singaperbangsa Karawang, Jawa Barat, Indonesia

Kata kunci

propeler
NACA 0012
dron
CFD
aerodinamika

ABSTRAK

Penelitian ini menganalisis pengaruh variasi diameter propeler NACA 0012 terhadap performa aerodinamika menggunakan simulasi Dinamika Fluida Komputasional (Computational Fluid Dynamics/CFD) transien dengan metode sliding mesh melalui Ansys Fluent dan model turbulensi $k-\epsilon$ realizable. Tiga variasi diameter, yaitu 12, 13, dan 14 inci, disimulasikan pada putaran konstan 6000 rpm dan kecepatan udara masuk 2 m/s. Parameter yang dianalisis meliputi gaya dorong, torsi, efisiensi, distribusi tekanan, distribusi kecepatan, serta vorteks ujung. Hasil simulasi menunjukkan bahwa peningkatan diameter secara signifikan meningkatkan gaya dorong dari 1,44 N (12 inci) menjadi 1,96 N (13 inci) dan 2,60 N (14 inci). Namun, torsi yang dibutuhkan juga meningkat dari 0,033 N·m menjadi 0,063 N·m, sedangkan efisiensi propeler menurun dari 13,9% menjadi 13,0%. Kontur tekanan dan kecepatan mengonfirmasi bahwa kecepatan ujung bilah yang lebih tinggi pada diameter besar menghasilkan gradien tekanan yang lebih ekstrem sesuai dengan prinsip Bernoulli, tetapi juga memperkuat vorteks ujung yang mengindikasikan kerugian energi. Dengan demikian, propeler 14 inci menghasilkan gaya dorong tertinggi. Namun, pemilihan diameter optimal harus mempertimbangkan kompromi antara daya angkut dan efisiensi energi. Penelitian ini menunjukkan bahwa CFD transien efektif untuk studi komparatif geometri propeler dan memberikan dasar ilmiah bagi optimasi awal desain sistem propulsi dron.

* Penulis korespondensi:

Syafrie Syamsudin Affandi (email: syafriesyamsudin77@gmail.com)

Diterima: 6 Maret 2026

Disetujui: 15 April 2026

Dipublikasikan: 12 September 2026

1 Pendahuluan

Pesawat udara nirawak (*Unmanned Aerial Vehicle/UAV*), atau dron, merupakan pesawat tanpa awak yang digunakan untuk penginderaan jarak jauh, relai komunikasi, dan pemantauan, termasuk perekaman objek [1]. Salah satu jenis UAV yang populer ialah *quadcopter* dengan empat propeler. Wahana ini mampu menghasilkan daya angkut besar serta melakukan manuver *roll*, *pitch*, dan *yaw* dengan baik [2]. Propeler menjadi komponen penting dalam sistem propulsi *quadcopter* karena efisiensi daya dan gaya dorongnya sangat ditentukan oleh karakteristik aerodinamika [2]–[4].

Propeler merupakan airfoil berputar yang mengubah tenaga putar motor menjadi gaya dorong untuk menggerakkan pesawat di udara [5]. Diameter merupakan salah satu parameter geometri propeler yang paling berpengaruh. Studi eksperimental Jakubowski dkk. [3] menunjukkan bahwa diameter menjadi faktor dominan dalam peningkatan gaya dorong, tetapi studi tersebut belum menyertakan analisis terperinci mengenai distribusi tekanan dan kecepatan.

Dinamika Fluida Komputasional (Computational Fluid Dynamics/CFD) merupakan metode numerik yang memanfaatkan persamaan dasar dinamika fluida untuk memodelkan dan menganalisis perilaku aliran udara secara terperinci [6]. Simulasi CFD oleh Almallah dan Elnady [2] mampu memprediksi gaya dorong propeler sebesar 4,45 N pada 6000 rpm, tetapi tidak memvariasikan diameter. Airfoil NACA 0012 termasuk dalam keluarga profil empat digit dan memiliki bentuk simetris dengan ketebalan maksimum 12% dari panjang chord. Profil ini banyak digunakan dalam penelitian akademis dan aplikasi industri, termasuk pengembangan UAV [7]. Airfoil simetris

NACA 0012 dipilih karena menghasilkan gaya angkat yang lebih baik dibandingkan dengan airfoil asimetris [8]. Namun, penelitian sebelumnya hanya mengkaji variasi sudut serang, bukan diameter [8], [9].

CFD juga telah digunakan oleh Wicaksono dkk. [10] untuk menganalisis karakteristik aerodinamika tiga tipe airfoil, yaitu NACA 2412, NACA 4412, dan NACA 6412, pada variasi kecepatan aliran dan sudut serang. Metode ini juga terbukti efektif dalam berbagai studi rekayasa fluida lainnya, termasuk analisis distribusi panas dan aliran pada sistem mekanis [11].

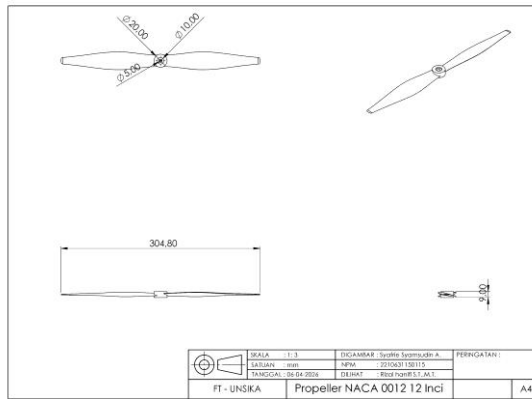
Metode sliding mesh transien lebih akurat daripada pendekatan multiple reference frame (MRF) tunak karena mampu menangkap dinamika vorteks ujung dan fluktuasi gaya dorong [12]. Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi diameter propeler NACA 0012, yaitu 12, 13, dan 14 inci, terhadap performa aerodinamika yang meliputi gaya dorong, torsi, efisiensi, serta distribusi tekanan dan kecepatan. Analisis dilakukan menggunakan CFD sliding mesh transien pada putaran 6000 rpm dan kecepatan udara masuk 2 m/s untuk memberikan dasar ilmiah bagi pemilihan diameter optimal pada sistem propulsi quadcopter.

2 Metode Penelitian

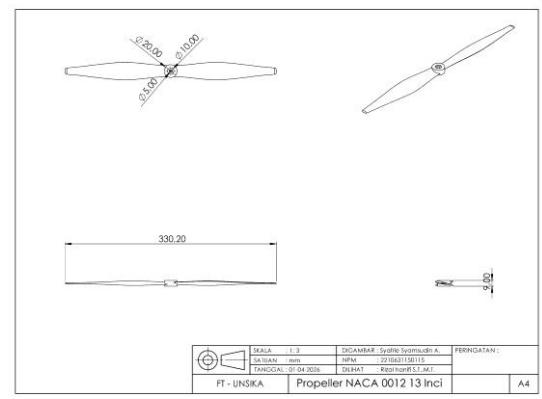
a. Rancangan Kegiatan

Rancangan penelitian menetapkan tahapan yang ditempuh untuk memecahkan permasalahan penelitian sebagai berikut:

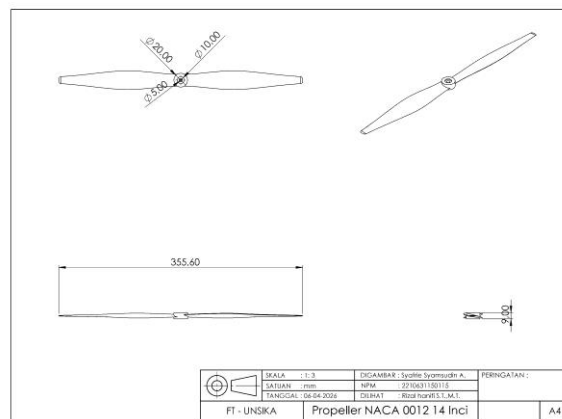
- **Observasi**
Observasi dilakukan untuk memperoleh gambaran mengenai metode validasi model CFD, referensi desain propeler, dan penentuan parameter simulasi dalam analisis aerodinamika propeler. Ketiga aspek tersebut menjadi landasan untuk mengidentifikasi hambatan teknis dan menyusun upaya perbaikan secara sistematis.
- **Identifikasi Masalah**
Identifikasi masalah dilakukan untuk memastikan bahwa isu penelitian relevan dan tepat sasaran. Tahap ini mempertimbangkan daya tarik topik, kontribusi, kebaruan, kemudahan pengukuran, kelayakan pelaksanaan, serta kepatuhan terhadap etika penelitian. Dengan demikian, rumusan masalah dapat memberikan arah yang jelas dan kontribusi yang signifikan.
- **Tinjauan Pustaka**
Tinjauan pustaka dilakukan dengan menelaah literatur ilmiah yang relevan, seperti buku teks dan jurnal penelitian, untuk memperoleh landasan teori yang kuat. Penelusuran pustaka memberikan pemahaman yang mendalam untuk memperkuat arah penelitian serta meningkatkan efektivitas dan efisiensi pelaksanaannya.
- **Pembuatan Desain Geometri**
Desain geometri dibuat dengan mempertimbangkan hasil tinjauan pustaka untuk menentukan jenis airfoil serta diameter propeler yang digunakan dalam penelitian. Geometri dirancang menggunakan perangkat lunak SolidWorks 2024 berdasarkan diameter propeler yang umum digunakan oleh tim penelitian.



(a)



(b)

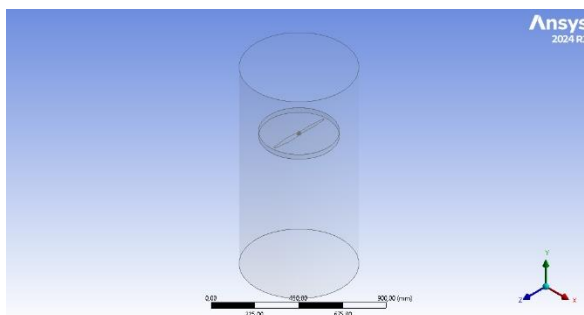


(c)

Gambar 1. Desain geometri propeler: (a) 12 inci; (b) 13 inci; dan (c) 14 inci

- Impor Geometri dan Pembuatan Elemen Kisi

Setelah pemodelan geometri selesai, geometri diimpor untuk membentuk domain, menetapkan kondisi batas (*boundary conditions*), dan membuat kisi (*mesh*). Domain dan kondisi batas merepresentasikan lingkungan terowongan angin (*wind tunnel*) secara virtual. Pembuatan kisi mendiskretisasi geometri menjadi elemen kecil agar perhitungan numerik dapat dilakukan. Penelitian ini menggunakan ukuran elemen 5 mm pada permukaan propeler untuk menangkap gradien kecepatan dan tekanan di daerah dekat dinding (*near-wall region*), serta ukuran elemen 50 mm pada domain fluida statis untuk efisiensi komputasi. Uji independensi kisi dilakukan dengan memvariasikan ukuran elemen pada domain fluida statis sebesar 25 dan 50 mm untuk memastikan bahwa hasil simulasi tidak bergantung pada ukuran kisi.



Gambar 2. Pembuatan domain fluida pada geometri



Gambar 3. Pembuatan kisi pada geometri

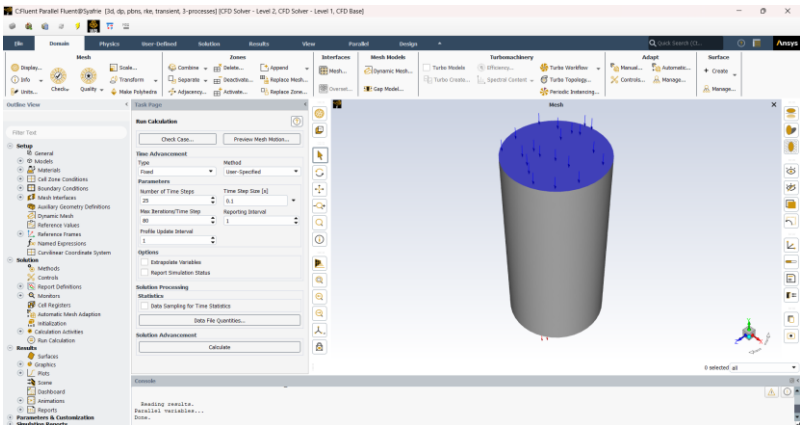
- Simulasi Dinamika Fluida Komputasional (CFD)

Tahap berikutnya ialah simulasi CFD dan evaluasi hasil. Simulasi dilakukan pada putaran propeler 6000 rpm dan kecepatan udara masuk 2 m/s. Domain komputasi dibagi menjadi zona rotasi (*rotating*

domain) yang mengelilingi propeler dan zona statis (*static domain*) yang merepresentasikan lingkungan aliran bebas. Dimensi domain statis ditentukan untuk meminimalkan pengaruh kondisi batas terhadap hasil simulasi. Rotasi propeler dimodelkan menggunakan metode sliding mesh sehingga zona rotasi bergerak relatif terhadap zona statis melalui antarmuka (*interface*) yang memungkinkan pertukaran data fluida secara dinamis pada setiap langkah waktu. Kondisi batas yang diterapkan meliputi tekanan operasi 101325 Pa, *velocity inlet* sebesar 2 m/s, *pressure outlet* dengan tekanan ukur 0 Pa, dan *no-slip wall* pada permukaan bilah propeler. Simulasi dinyatakan konvergen apabila residual persamaan kontinuitas, momentum, serta turbulensi k dan ϵ secara konsisten berada di bawah 10^{-3} .

Tabel 1. Parameter simulasi propeler

Parameter	Nilai
Kecepatan sudut propeler	6000 rpm
Gravitasi	9,81 m/s ²
Metode simulasi	Transien
Model viskos	$k-\epsilon$ (<i>realizable</i>)
Perlakuan dekat dinding	<i>scalable wall function</i>
Jenis fluida	Udara
Tekanan operasi	101325 Pa
Densitas udara	1,225 kg/m ³
Kecepatan udara masuk	2 m/s
Tekanan ukur keluar	0 Pa
Jumlah iterasi per <i>time step</i>	150
Jumlah <i>time step</i>	25



Gambar 4. Pengaturan simulasi CFD

- **Pengolahan Data**
Tahap akhir ialah pengolahan data simulasi dengan membandingkan parameter performa aerodinamika antarvariasi diameter. Parameter tersebut meliputi gaya dorong, torsi, kontur tekanan, kontur kecepatan, dan karakteristik vorteks ujung. Data gaya dorong dan torsi disajikan dalam tabel perbandingan, sedangkan distribusi tekanan dan kecepatan disajikan sebagai kontur visual untuk memudahkan analisis tren antarkonfigurasi diameter.
- b. **Variabel Penelitian**
 - Variabel bebas: diameter propeler, yaitu 12, 13, dan 14 inci.
 - Variabel terikat: gaya dorong, torsi, distribusi tekanan, dan distribusi kecepatan.
 - Variabel kontrol: kecepatan putar motor tanpa sikat konstan pada 6000 rpm, kecepatan udara masuk 2 m/s, dan jenis *airfoil* NACA 0012.
- c. **Alat dan Bahan Penelitian**
Alat yang digunakan untuk membuat geometri, menjalankan simulasi, dan mengolah data meliputi:
 1. Laptop Acer Nitro 5 dengan prosesor Intel® Core™ i5-11400H, RAM 16 GB, SSD 1 TB, dan HDD 1 TB.
 2. Ansys Workbench 2024 R1.

3. SolidWorks 2024.

4. Microsoft Excel 2021.

Bahan yang digunakan dalam penelitian meliputi:

1. Buku Referensi

Buku referensi digunakan untuk memperoleh landasan teori yang sesuai dengan penelitian.

2. Jurnal

Jurnal digunakan sebagai sumber hasil penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian ini.

3. Sumber Internet

Sumber internet digunakan untuk memperoleh data pendukung penelitian.

d. Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup ditetapkan agar pembahasan penelitian tetap terarah. Batasan penelitian ini meliputi:

1. Variasi diameter propeler yang digunakan ialah 12, 13, dan 14 inci.

2. Analisis CFD dilakukan menggunakan perangkat lunak Ansys Workbench 2024.

3. Kecepatan rotasi dipertahankan konstan pada seluruh variasi simulasi.

4. Model turbulensi udara yang digunakan ialah $k-\epsilon$.

e. Prosedur Penelitian

Penelitian ini merancang dan menganalisis propeler dron secara teoretis melalui eksperimen berbasis simulasi menggunakan perangkat lunak. Prosedur penelitian meliputi:

1. Menyiapkan alat dan bahan penelitian.

2. Menyiapkan data perencanaan.

3. Membuat geometri menggunakan SolidWorks 2024.

4. Menyiapkan Ansys 2024 R1.

5. Mengimpor geometri serta memodelkan domain, kondisi batas, dan kisi.

6. Menjalankan simulasi menggunakan Ansys Fluent 2024 R1.

Persamaan dalam penelitian ini menjadi dasar perhitungan komputasi oleh perangkat lunak. Persamaan gaya dorong digunakan untuk menafsirkan gaya dorong pada setiap variasi diameter propeler. Persamaan Bernoulli digunakan untuk menganalisis kontur tekanan, sedangkan persamaan efisiensi digunakan untuk menghitung efisiensi setiap variasi propeler. Persamaan yang digunakan dijelaskan sebagai berikut.

1. Hukum Kekekalan Momentum

Hukum kekekalan momentum merupakan penerapan langsung Hukum Kedua Newton yang menyatakan bahwa laju perubahan momentum suatu sistem sama dengan jumlah gaya eksternal yang bekerja pada sistem tersebut [11].

$$\Sigma F = \frac{dp}{dt} = \frac{d(mV)}{dt} \quad (1)$$

Keterangan:

ΣF = Resultan gaya yang bekerja pada sistem (N)

m = Massa sistem (kg)

V = Kecepatan fluida (m/s)

P = Momentum linear (kg·m/s)

2. Persamaan Navier–Stokes

Persamaan Navier–Stokes merupakan dasar mekanika fluida yang menggambarkan hubungan antara gaya, kecepatan, tekanan, dan viskositas aliran. Persamaan ini diperoleh dari penerapan Hukum Kedua Newton pada elemen fluida dan digunakan untuk menjelaskan aliran viskos dan inkompresibel. Penyelesaian analitis persamaan Navier–Stokes hampir tidak mungkin dilakukan pada aliran turbulen. Oleh karena itu, penyelesaian dilakukan secara numerik melalui CFD dengan model turbulensi, seperti *Reynolds-Averaged Navier–Stokes* (RANS) atau *Large Eddy Simulation* (LES), untuk mengaproksimasi fluktuasi turbulen. Persamaan Navier–Stokes dinyatakan sebagai berikut.

$$\frac{\partial v}{\partial t} + (v \cdot \nabla)v = -\frac{1}{\rho} \nabla P - \nabla \phi + \frac{\partial \eta}{\partial p} \nabla^2 v \quad (2)$$

Keterangan:

v = Kecepatan fluida (m/s)

P = Tekanan (Pa)

Φ = Potensial gravitasi (m/s²)

ρ = Massa jenis udara (kg/m^3)

η = Viskositas ($\text{Pa}\cdot\text{s}$)

3. Model Turbulensi $k-\varepsilon$

Model standar $k-\varepsilon$ yang diperkenalkan oleh Launder dan Spalding merupakan model turbulensi dua persamaan yang banyak digunakan dalam aplikasi teknik. Model ini didasarkan pada hipotesis viskositas pusaran Boussinesq yang menghubungkan tegangan Reynolds dalam persamaan RANS dengan gradien kecepatan rata-rata melalui viskositas pusaran μ_t [13].

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho\varepsilon V_i) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right] + C_{1\varepsilon} \rho \frac{k}{\varepsilon} + (G_K + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + S\varepsilon \quad (3)$$

Keterangan:

k = Energi kinetik turbulen

ε = Tingkat disipasi

G_K = Produksi energi kinetik turbulen oleh gradien kecepatan rata-rata.

G_b = Produksi energi kinetik turbulen karena gaya apung.

$C_{1\varepsilon}$ = Konstanta

$C_{2\varepsilon}$ = Konstanta

$C_{3\varepsilon}$ = Konstanta

σ_ε = Bilangan Prandtl

4. Hukum Kedua Newton

$$F = m \times a \quad (4)$$

Keterangan:

F = Gaya (N)

m = Massa (kg)

a = Percepatan (m/s^2)

5. Hukum Bernoulli

Hukum Bernoulli menyatakan bahwa pada aliran fluida inkompresibel dan nonviskos yang bergerak tunak, jumlah energi tekanan, energi potensial, dan energi kinetik per satuan volume tetap konstan di sepanjang garis arus [11]. Gaya dorong propeler dihasilkan oleh perbedaan tekanan antara sisi atas dan sisi bawah bilah yang berbentuk airfoil. Kondisi ini mempercepat fluida di belakang bilah. Secara dinamis, prinsip kerja propeler dapat dijelaskan melalui Hukum Bernoulli yang berkaitan dengan perbedaan tekanan dan Hukum Ketiga Newton mengenai aksi-reaksi [14].

Persamaan Bernoulli dinyatakan sebagai berikut:

$$P_1 + \rho gh_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \rho gh_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 \quad (5)$$

Karena $h_1 \approx h_2$, persamaan untuk *airfoil* menjadi:

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 \quad (6)$$

$$P_2 - P_1 = \frac{1}{2} \rho (v_1^2 - v_2^2) \quad (7)$$

Keterangan:

P_1 = Tekanan udara di atas *airfoil* (Pa)

P_2 = Tekanan udara di bawah *airfoil* (Pa)

ρ = Massa jenis udara (kg/m^3)

g = Percepatan gravitasi (m/s^2)

v = Kecepatan fluida (m/s)

h = Ketinggian permukaan (m)

Karena tekanan merupakan gaya per satuan luas permukaan, persamaan menjadi:

$$\frac{F_1}{A} - \frac{F_2}{A} = \frac{1}{2} \rho (v_1^2 - v_2^2) \quad (8)$$

$$F_{lift} = \frac{1}{2} \rho A (v_1^2 - v_2^2) \quad (9)$$

Keterangan:

F_{lift} = Gaya dorong yang dihasilkan *airfoil* (N)

F_1 = Gaya yang terjadi diatas *airfoil* (Pa)

F_2 = Gaya yang terjadi di bawah *airfoil* (Pa)

ρ = Massa jenis udara (kg/m^3)

v = Kecepatan fluida (m/s)

A = Luas permukaan *airfoil* (m)

6. Efisiensi Propeler

Efisiensi propeler didefinisikan sebagai perbandingan daya dorong dengan daya torsi. Nilai ini menunjukkan perbandingan antara daya dorong yang dihasilkan dan daya mesin yang diberikan. Putra dan Rayhan [15] mendefinisikan persamaan efisiensi propeler sebagai berikut:

$$C_T = \frac{T}{\rho n^2 D^4} \quad (10)$$

$$C_Q = \frac{Q}{\rho n^2 D^5} \quad (11)$$

$$J = \frac{V}{nD} \quad (12)$$

$$\eta = \frac{C_T J}{2\pi C_Q} \quad (13)$$

Keterangan:

C_T = Koefisien gaya dorong

C_Q = Koefisien torsi

J = Rasio maju

T = Gaya dorong yang dihasilkan (N)

η = Efisiensi propeler

Q = Torsi yang dihasilkan (N·m)

V = Kecepatan relatif (m/s)

n = Kecepatan sudut propeler (rps)

D = Diameter propeler (m)

ρ = Densitas udara (kg/m³)

3 Hasil dan Pembahasan

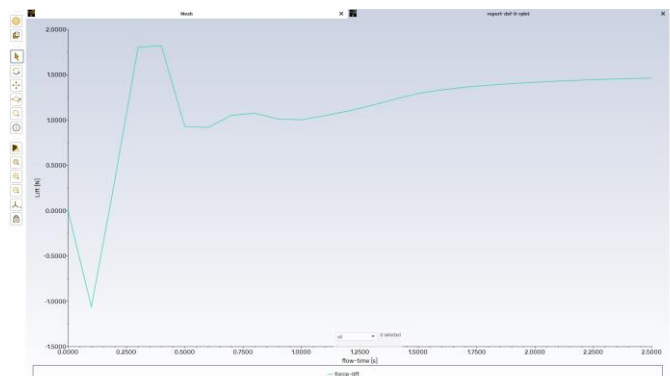
a. Hasil

Seluruh domain didiskretisasi menggunakan perangkat pembuat kisi dengan ukuran elemen maksimum 25 dan 50 mm. Untuk uji independensi kisi, analisis lengkap diulang pada kedua ukuran elemen tersebut dengan putaran 6000 rpm. Perbandingan hasil kedua ukuran kisi disajikan pada Tabel 2.

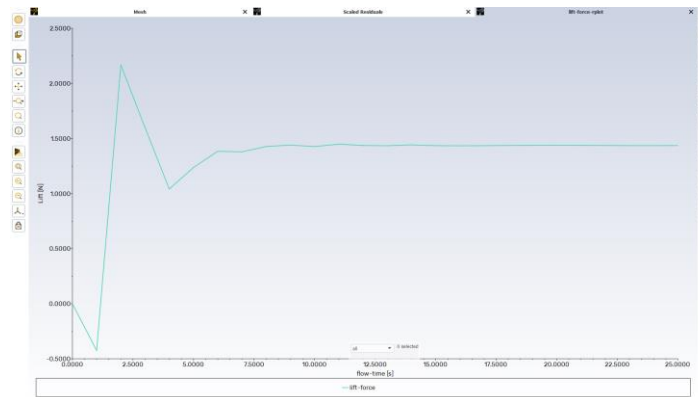
Tabel 2. Gaya dorong propeler 12 inci pada variasi ukuran elemen kisi

No.	Ukuran elemen (mm)	Jumlah elemen	Gaya dorong (N)
1	25	1004029	1,41
2	50	552225	1,44

Gambar 5 dan 6 menunjukkan gaya dorong propeler 12 inci pada putaran 6000 rpm dengan ukuran elemen kisi masing-masing 25 dan 50 mm. Tabel 2 menunjukkan bahwa gaya dorong pada kedua ukuran kisi tidak berbeda secara signifikan. Oleh karena itu, analisis selanjutnya menggunakan ukuran elemen 50 mm untuk seluruh variasi diameter propeler guna menghemat waktu simulasi.



Gambar 5. Gaya dorong propeler 12 inci pada 6000 rpm dengan ukuran elemen kisi 25 mm



Gambar 6. Gaya dorong propeler 12 inci pada 6000 rpm dengan ukuran elemen kisi 50 mm

Tabel 3 menyajikan gaya dorong dan torsi hasil simulasi untuk setiap variasi diameter propeler.

Tabel 3. Gaya dorong dan torsi pada setiap variasi diameter propeler

No.	Diameter (inci)	Gaya dorong (N)	Torsi (N·m)
1	12	1,44	0,033
2	13	1,96	0,047
3	14	2,60	0,063

Efisiensi propeler ditentukan melalui koefisien gaya dorong (C_T), koefisien torsi (C_Q), dan rasio maju (J). Parameter yang digunakan meliputi gaya dorong dan torsi pada Tabel 3, densitas udara (ρ) sebesar $1,225 \text{ kg/m}^3$, kecepatan aliran (V) 2 m/s , serta kecepatan putar 6000 rpm atau sekitar 100 rps . Diameter propeler dikonversi dari satuan inci menjadi meter untuk setiap variasi, yaitu 12, 13, dan 14 inci. Persamaan (10) digunakan untuk menghitung C_T , Persamaan (11) untuk menghitung C_Q , Persamaan (12) untuk menghitung J , dan Persamaan (13) untuk menghitung efisiensi.

Analisis Efisiensi Propeler

$$C_T = \frac{1,44 \text{ N}}{1,225 \text{ kg/m}^3 \times (100 \text{ rps})^2 \times (0,3048 \text{ m})^4} = 0,01362$$

$$C_Q = \frac{0,033 \text{ N} \cdot \text{m}}{1,225 \text{ kg/m}^3 \times (100 \text{ rps})^2 \times (0,3048 \text{ m})^5} = 0,00102$$

$$J = \frac{2 \text{ m/s}}{100 \text{ rps} \times 0,3048 \text{ m}} = 0,06562$$

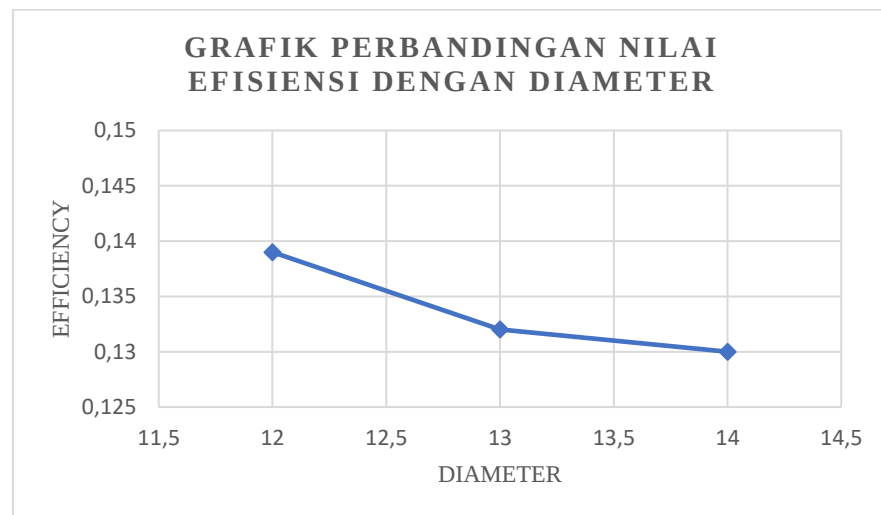
$$\eta = \frac{0,01362 \times 0,06562}{2\pi \times 0,00102} = 0,13945 = 13,9 \%$$

Efisiensi propeler berdiameter 13 dan 14 inci dihitung menggunakan Persamaan (10)–(13), dan hasilnya disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Efisiensi setiap variasi diameter propeler

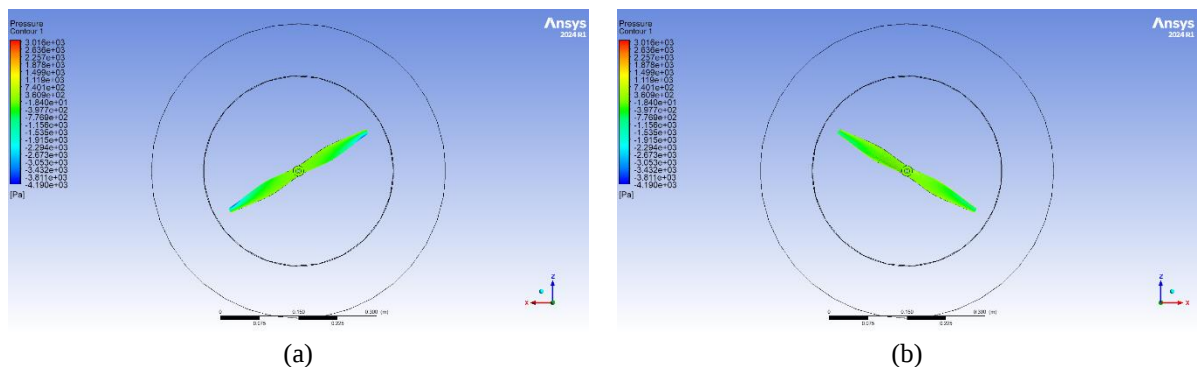
No.	Diameter (inci)	Koefisien gaya dorong (C_T)	Koefisien torsi (C_Q)	Rasio maju (J)	Efisiensi (%)
1	12	0,01362	0,00102	0,06562	13,9
2	13	0,01346	0,00098	0,06057	13,2
3	14	0,01327	0,00091	0,05624	13,0

Berdasarkan Tabel 4, perbandingan antara diameter propeler dan efisiensi disajikan dalam grafik pada Gambar 7.

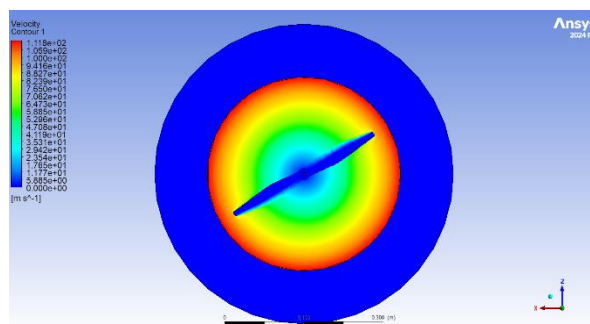


Gambar 7. Perbandingan diameter dan efisiensi

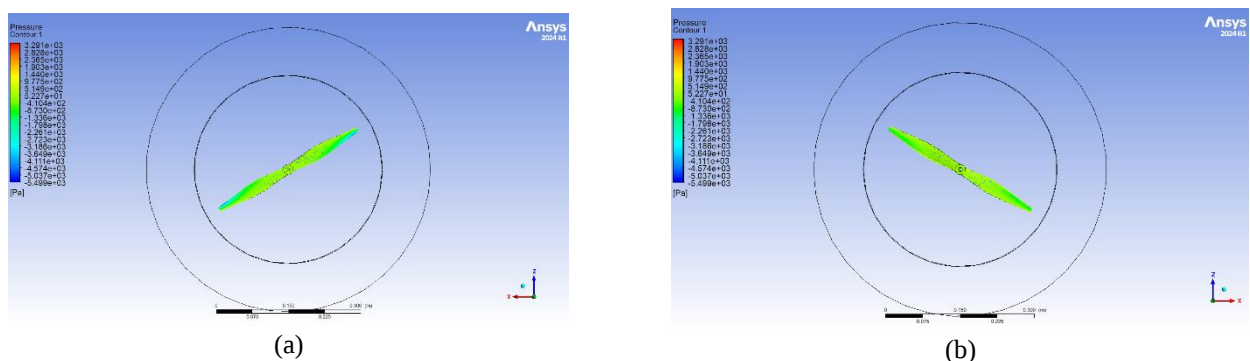
Gambar 8, 10, dan 12 menunjukkan distribusi tekanan pada permukaan propeler. Hasil simulasi memperlihatkan bahwa tekanan pada permukaan atas propeler lebih rendah daripada tekanan pada permukaan bawahnya. Gambar 9, 11, dan 13 menunjukkan distribusi kecepatan aliran di sekitar propeler. Kecepatan aliran meningkat ketika jarak terhadap ujung propeler semakin dekat.



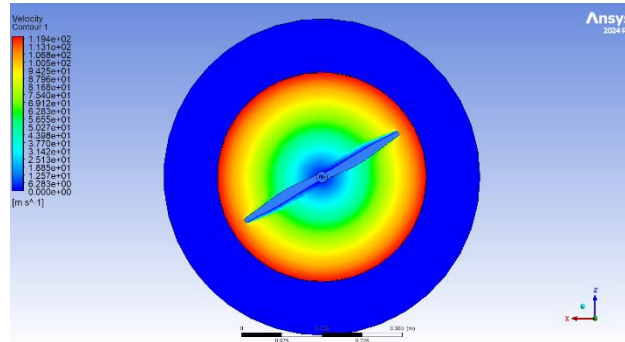
Gambar 8. Kontur tekanan propeler 12 inci: (a) tampak atas; (b) tampak bawah



Gambar 9. Kontur kecepatan propeler 12 inci

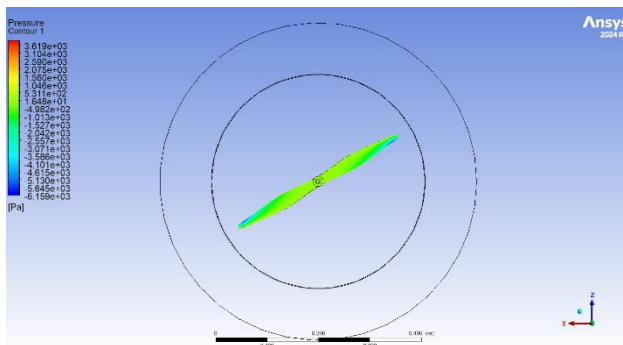


Gambar 10. Kontur tekanan propeler 13 inci: (a) tampak atas; (b) tampak bawah

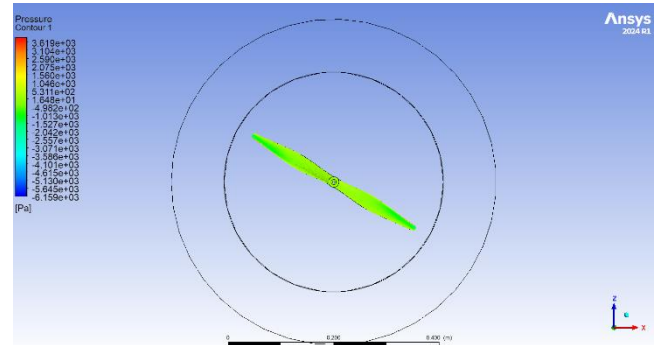


(a)

Gambar 11. Kontur kecepatan propeler 13 inci

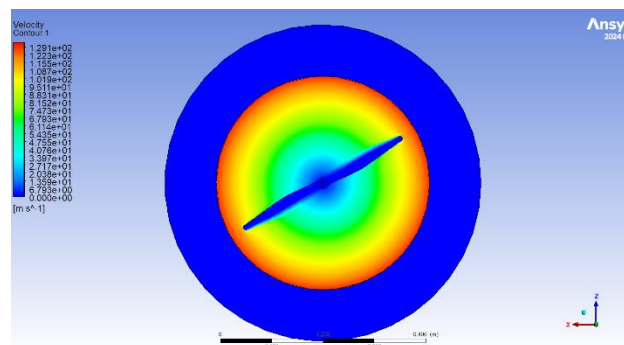


(a)



(b)

Gambar 12. Kontur tekanan propeler 14 inci: (a) tampak atas; (b) tampak bawah



Gambar 13. Kontur kecepatan propeler 14 inci

b. Pembahasan

Hasil simulasi menunjukkan korelasi positif antara peningkatan diameter propeler dan gaya dorong. Propeler 14 inci menghasilkan gaya dorong 2,60 N, meningkat 32,7% dari propeler 13 inci (1,96 N) dan 80,6% dari propeler 12 inci (1,44 N). Tren ini sesuai dengan temuan Jakubowski dkk. [3] bahwa diameter merupakan parameter paling dominan terhadap gaya dorong.

Kontur tekanan pada Gambar 8, 10, dan 12 menunjukkan perbedaan tekanan yang signifikan antara sisi atas bertekanan rendah dan sisi bawah bertekanan tinggi pada seluruh variasi diameter, sesuai dengan prinsip Bernoulli pada Persamaan (6). Tekanan maksimum pada sisi bawah meningkat seiring dengan pertambahan diameter karena kecepatan tangensial ujung bilah lebih tinggi pada putaran yang sama. Kondisi tersebut menurunkan tekanan pada sisi atas dan meningkatkan tekanan pada sisi bawah.

Kontur kecepatan pada Gambar 9, 11, dan 13 mengonfirmasi bahwa kecepatan aliran maksimum di sekitar propeler meningkat seiring dengan pertambahan diameter. Aliran berkecepatan tinggi pada sisi isap memperkuat daerah bertekanan rendah dan meningkatkan momentum aliran, sesuai dengan Persamaan Navier–Stokes pada Persamaan (2).

Peningkatan diameter juga meningkatkan torsi yang dibutuhkan, dari 0,033 N·m pada diameter 12 inci menjadi 0,047 N·m pada diameter 13 inci dan 0,063 N·m pada diameter 14 inci. Torsi yang lebih tinggi mengharuskan motor menghasilkan daya mekanis yang lebih besar sehingga konsumsi daya listrik meningkat.

Meskipun gaya dorong meningkat, efisiensi justru menurun. Berdasarkan Tabel 4, efisiensi propeler 12 inci sebesar 13,9%, propeler 13 inci sebesar 13,2%, dan propeler 14 inci sebesar 13,0%. Kondisi ini menunjukkan bahwa peningkatan gaya dorong tidak sebanding dengan peningkatan torsi atau daya masukan. Propeler 14 inci menghasilkan gaya dorong tertinggi per putaran, tetapi rasio gaya dorong terhadap dayanya lebih rendah, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 7.

Diameter yang lebih besar memperkuat intensitas vorteks ujung bilah. Kondisi ini mengindikasikan kerugian energi karena sebagian energi putaran terdisipasi sebagai pusaran dan berkontribusi terhadap penurunan efisiensi. Oleh karena itu, pemilihan diameter optimal harus mempertimbangkan kompromi antara daya angkut, torsi, dan efisiensi.

Metode sliding mesh mampu menangkap dinamika aliran, seperti vorteks ujung, yang tidak dapat direpresentasikan oleh simulasi MRF tunak. Namun, karena jumlah langkah waktu terbatas, yaitu 25 langkah waktu $\times$ 150 iterasi atau 3750 iterasi, grafik gaya dorong masih berfluktuasi hingga akhir simulasi. Dengan demikian, kondisi tunak periodik belum sepenuhnya tercapai dan nilai yang dilaporkan bersifat komparatif pada fase transien awal.

Meskipun demikian, tren peningkatan gaya dorong dan torsi seiring dengan pertambahan diameter teramati secara konsisten dan selaras dengan prinsip aerodinamika. Temuan ini tetap dapat digunakan untuk perbandingan dan optimasi awal desain. Penelitian selanjutnya disarankan memperpanjang durasi simulasi hingga fluktuasi mereda agar diperoleh nilai tunak periodik yang lebih akurat.

Secara keseluruhan, propeler 14 inci menghasilkan gaya dorong tertinggi, tetapi juga memiliki torsi terbesar dan efisiensi terendah. Propeler 12 inci menawarkan efisiensi tertinggi dengan daya angkut terkecil. Pemilihan diameter harus didasarkan pada prioritas aplikasi, yaitu daya angkut atau efisiensi energi. CFD transien efektif untuk optimasi awal, tetapi validasi eksperimental menggunakan terowongan angin atau bangku uji tetap diperlukan.

4 Kesimpulan

Berdasarkan simulasi CFD sliding mesh transien pada propeler NACA 0012 dengan variasi diameter 12, 13, dan 14 inci pada putaran 6000 rpm dan kecepatan udara masuk 2 m/s, peningkatan diameter secara signifikan meningkatkan gaya dorong dari 1,44 N menjadi 2,60 N dan torsi dari 0,033 N·m menjadi 0,063 N·m. Namun, efisiensi menurun dari 13,9% menjadi 13,0% akibat vorteks ujung yang lebih kuat. Kontur tekanan dan kecepatan mengonfirmasi bahwa diameter yang lebih besar menghasilkan gradien tekanan yang lebih ekstrem sesuai dengan prinsip Bernoulli, tetapi juga memerlukan daya mekanis yang lebih tinggi. Tidak ada diameter yang paling unggul secara mutlak. Propeler 14 inci sesuai untuk misi dengan kebutuhan daya angkut besar, dengan konsekuensi konsumsi daya yang tinggi, sedangkan propeler 12 atau 13 inci lebih efisien untuk misi berdaya tahan lama. Metode CFD sliding mesh transien efektif untuk studi komparatif dinamis. Namun, keterbatasan langkah waktu menyebabkan hasil penelitian ini lebih bersifat komparatif-kualitatif sehingga masih memerlukan validasi eksperimental melalui terowongan angin atau bangku uji.

5 Referensi

- [1] D. W. Santoso and A. N. Putra, "Design and Analysis the Strength of the Structure Fixed Wing Vertical Take Off-Landing UAV," *Conference SENATIK STT Adisutjipto Yogyakarta*, vol. 4, Nov. 2018, doi: 10.28989/senatik.v4i0.232.
- [2] S. Hamada, A. Aboul, F. Automotive, S. H. Almallah, A. O. Elnady, and A. Okasha Elnady, "CFD Analysis of Full Quadcopter International Journal of Advanced Multidisciplinary Research and Studies CFD Analysis of Full Quadcopter," Dec. 2022. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/365999969>
- [3] A. Jakubowski, A. Kubacki, B. Minorowicz, and A. Nowak, "Analysis thrust for different kind of propellers," *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 350, pp. 85–90, 2015, doi: 10.1007/978-3-319-15796-2_9.

- [4] H. Zhu, Z. Jiang, H. Zhao, S. Pei, H. Li, and Y. Lan, "Aerodynamic Performance of Propellers for Multicopter Unmanned Aerial Vehicles: Measurement, Analysis, and Experiment," *Shock and Vibration*, vol. 2021, 2021, doi: 10.1155/2021/9538647.
- [5] D. Kusumoaji, A. Aziz, I. Rismayanti, and I. A. F. Nahak Pusat Riset Teknologi Penerbangan -Badan Riset dan Inovasi Nasional, "Analisis Pemilihan Propeller Untuk Pesawat Tanpa Awak Analysis of Propeller Selection for Unmanned Aircraft," 2024.
- [6] W. Febrian, M. Anggara, and F. Dzil Ikram, "Analisis Distribusi Panas pada Variasi Posisi Pipa dan Diameter Pipa Penghantar Panas terhadap Efisiensi Pengeringan Rengginang Menggunakan Computational Fluid Dynamic (CFD)," *Jurnal Flywheel*, vol. 14, no. 2, pp. 36–49, 2023.
- [7] A. F. Mouad, A. K. K. Ala, and A. B. Abdelhadi, "Aerodynamic Performance Analysis of NACA 0012 and NACA2412 Airfoils," *Libyan Journal of Engineering Science and Technology (LJEST)*, pp. 34–38, Jul. 2025.
- [8] Sarjito, "STUDI KARAKTERISTIK AIRFOIL NACA 2410 DAN NACA 0012 PADA BERBAGAI VARIASI ANGLE OF ATTACK," *MEDIA MESIN*, vol. 11, no. 1, pp. 15–22, 2010.
- [9] M. Faiz Masjan, A. Sapit, and S. Kariem Shater, "Journal of Complex Flow Aerodynamics Drone Propeller Analysis by using Computational Fluid Dynamics," *JCF Journal of Complex Flow*, vol. 3, no. 2, pp. 12–16, 2021, [Online]. Available: www.fazpublishing.com/jcf
- [10] M. F. A. Wicaksono, G. A. Pohan, and I. T. Hidayath, "ANALISA AERODINAMIKA AIRFOIL PESAWAT DENGAN PENDEKATAN COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC DAN WIND TUNNEL," vol. 13, no. 1, pp. 21–35, 2022.
- [11] Y. A. Çengel and J. M. Cimbala, *FLUID MECHANICS FUNDAMENTALS AND APPLICATIONS FOURTH EDITION*, 4th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2018.
- [12] C. Paz, E. Suárez, C. Gil, and J. Vence, "Assessment of the methodology for the CFD simulation of the flight of a quadcopter UAV," *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol. 218, Nov. 2021, doi: 10.1016/j.jweia.2021.104776.
- [13] N. P. H. Abeyagunawardana, I. U. Atthanayake, and T. M. D. N. Tennekoon, "CFD Analysis of Transition & Turbulent Flow Through Pipes," *Engineer: Journal of the Institution of Engineers, Sri Lanka*, vol. 59, no. 1, pp. 47–58, Feb. 2026, doi: 10.4038/engineer.v59i1.7732.
- [14] AslamShaikh, "STUDY OF PROPELLER DESIGN PARAMETERS," *International Journal of Innovation in Engineering, Research and Technology [IJERT]*, pp. 1–7, Oct. 2020.
- [15] B. A. Putra and A. Rayhan, "Analisis Efisiensi Propeler Dengan Desain Bilah Melingkar," 2023.