

Pemanfaatan Perpindahan Panas Alami Sebagai Energi Penggerak Kincir Angin Tipe Horizontal Di Sekitar Alat Pengereng

Angelica Ronauli Sihombing, I.G.B. Wijaya Kusuma, N. Suarnadwipa
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Pemanfaatan energi matahari yang lebih tradisional dan ekonomis adalah pada proses pengeringan. Teknik ini menggunakan metode perpindahan panas natural. Proses ini bermanfaat pada bidang pertanian, selain itu pada proses ini akan juga dapat dimanfaatkan pada kincir. Maka dari itu, tugas akhir ini akan membahas pemanfaatan energi panas matahari pada alat pengering sebagai energi penggerak kincir angin dengan menggunakan konveksi alami. Berdasarkan hal tersebut dilakukan penelitian proses perpindahan panas hingga menghasilkan kecepatan pada ruang pengering menggunakan aplikasi CFD (Computational Fluid Dynamic). Setelah mendapat hasil kemudian dilakukan pembuktian apakah tiga tipe airfoil dapat bergerak dengan menggunakan aplikasi Aerofoil. Simulasi Computational Fluid Dynamic pada ruang pengering divariasikan menjadi tiga kondisi yaitu panas, mendung dan berhujan dengan temperatur 40°C, 36°C, 26°C dan intensitas 987,64 watt/m², 756,50 watt/m², dan 390,90 watt/m² menghasilkan kecepatan yang yaitu 2.16562 m/s, 1.72046 m/s, 1.1745 m/s. Kemudian dilakukan pengujian 3 tipe airfoil yaitu NACA 4418, NACA 0012, NACA 2410 menggunakan aplikasi Aerofoil pada kecepatan 1,1 m/s dan Panjang chord 0,302 m dihasilkan koefisien lift 0,441, 0,419, 0,410 dan koefisien drag 0,00303, 0,0271, 0,00215 dimana ketiga hasil tersebut memiliki koefisien lift lebih tinggi dari koefisien drag sehingga membuktikan kincir dapat bergerak.

Kata Kunci : Konveksi alami, CFD, aerofoil, airfoil, kincir angin horizontal

Abstract

The use of solar energy that is more traditional and economical is in the drying process. This technique uses a natural heat transfer method. This process is useful in the agricultural sector, besides that this process can also be used for windmills. Therefore, this final project will discuss the utilization of solar thermal energy in drying equipment as energy to drive windmills using natural convection. Based on this, a research was carried out on the heat transfer process to produce speed in the drying chamber using the CFD (Computational Fluid Dynamic) application. After getting the results, it was done proving whether the three types of airfoil could move by using the AeroFoil application. The computational fluid dynamic simulation in the drying room is varied into three conditions, namely hot, cloudy and rainy with temperatures of 40°C, 36°C, 26°C and an intensity of 987.64 watts / m², 756.50 watts / m², and 390.90 watts / m². i.e. 2.16562 m / s, 1.72046 m / s, 1.1745 m / s. Then tested 3 types of airfoils, namely NACA 4418, NACA 0012, NACA 2410 using the Aerofoil application at a speed of 1.1 m / s and a chord length of 0.302 m resulting in a lift coefficient of 0.441, 0.419, 0.410 and a drag coefficient of 0.00303, 0.0271, 0.00215 where the three results have a higher lift coefficient than the drag coefficient, thus proving the wheel can move.

Keywords: Natural convection, CFD, aerofoil, airfoil, horizontal-axis wind turbine

1. Pendahuluan

Secara geografis, Indonesia adalah negara yang terletak di garis khatulistiwa sehingga memiliki potensi angin relatif kecil dan berubah-ubah. Dengan keadaan angin yang relatif kecil dan berubah-ubah, akan mempengaruhi kecepatan putaran kincir angin. Perubahan kecepatan angin mempengaruhi ketahanan dari sebuah kincir [1]. Hal ini menyebabkan pemanfaatan angin sebagai penggerak kincir masih belum efektif.

Letak geografis menjadi keuntungan bagi Indonesia dalam hal lama penyiaran matahari.

Energi matahari merupakan salah satu energi energi terbarukan yang mampu menjadi solusi pengganti energi fosil.

Energi matahari sudah dimanfaatkan untuk proses pengeringan dan sebagai pembangkit listrik. Proses pengeringan merupakan salah satu pemanfaatan energi matahari yang lebih tradisional dan ekonomis. Teknik ini menggunakan metode perpindahan panas natural. Proses perpindahan panas ini dapat kecepatan yang dapat bermanfaat salah satunya pada kincir. Maka dari itu, akan dilakukan pembahasan mengenai pemanfaatan energi

panas matahari pada alat pengering sebagai energi penggerak kincir angin dengan menggunakan konveksi alami.

2. Dasar Teori

2.1 Natural Convection

Konveksi alamiah (*natural convection*) adalah proses pemanasan fluida sehingga fluida tersebut berubah densitasnya yang mengakibatkan fluida tersebut dapat bergerak. Gerakan fluida ini terjadi karena adanya gaya apung (efek *buoyancy*) yang dialami apabila densitas fluida di dekat permukaan kalor berkurang akibat proses pemanasan [2].

Karakteristik konveksi alami dapat dinyatakan dengan bilangan Rayleigh, bilangan Nusselt dan bilangan Grashof (Gr). Bilangan Gr didefinisikan sebagai perbandingan antara gaya apung dengan viskositas di dalam sistem konveksi alami [3].

$$Gr = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu^2} \quad (1)$$

$$Re = \frac{\rho VL}{\mu} \quad (2)$$

Kecepatan fluida yang dihasilkan sendiri dapat dicari dari hubungan bilangan Nusselt dengan bilangan Reynold dan Prandtl.

$$Nu = C \cdot Re^m \cdot Pr^n \quad (3)$$

$$Nu = C \cdot \left[\frac{\rho V L}{\mu}\right]^m \cdot Pr^n \quad (4)$$

$$V = \sqrt[m]{\frac{Nu}{C \times Pr^n}} \times \frac{\mu}{\rho L} \quad (5)$$

Dimana :

Nu = Nusselt number

C = Konstanta

μ = Viskositas dinamis (m^2/s)

Re = Bilangan Reynold

g = gravitasi, m/s^2

β = koefisien ekspansi volume, $1/K$

L = panjang permukaan plat, m

ν = viskositas kinematika fluida, m^2/s

ρ = massa jenis fluida (kg/m^3)

V = kecepatan fluida (m/s)

L = Panjang plat (m)

2.2 Kincir Angin

Kincir angin sumbu horizontal adalah jenis kincir angin propeller dengan poros horizontal seperti baling-baling pada pesawat pada umumnya. Kincir angin ini memiliki poros utama yang sejajar dengan tanah dan arah poros utama sesuai dengan arah datangnya angin. Berdasarkan prinsipnya, kerja kincir angin tipe HAWT berdasarkan pada gaya angkat (*lift force*) energi angin [4].

Airfoil adalah bentuk suatu penampang yang dapat menghasilkan efek aerodinamika ketika dilewati fluida. Airfoil sendiri digunakan sebagai bilah/sudu pada kincir angin [4]. NACA adalah bentuk *airfoil* yang dikembangkan oleh *National Committee for Aeronautics*. Pengembangan yang dilakukan NACA adalah dengan membagi pengaruh efek kelengkungan, ketebalan dan pengujian dilakukan terhadap bilangan Reynold. Ada 6 jenis NACA yang umum digunakan saat ini yaitu NACA seri 4 digit, NACA seri 5 digit, NACA seri-1 (seri 16), NACA seri 6, NACA seri 7, dan NACA seri 8.

- *Airfoil* NACA 2412, memiliki nilai maksimum *chamber* 2%, terletak pada posisi 0,4c dari keliling *edge* dan memiliki ketebalan maksimum 12% dari *chord*.
- *Airfoil* NACA 4418, memiliki nilai maksimum *chamber* 4%, terletak pada posisi 0,4c dari keliling *edge* dan memiliki ketebalan maksimum 18% dari *chrd*
- *Airfoil* NACA 0012 memiliki 0 nilai maksimum, tidak memiliki nilai posisi dari keliling *edge* dan memiliki ketebalan maksimum 12 % dari *chord*.

Gaya drag dan lift dapat diketahui dengan rumus:

$$F_l = \frac{1}{2} \rho V_0^2 A r_c C_L \quad (6)$$

$$F_D = \frac{1}{2} \rho V_0^2 A r_c C_D \quad (7)$$

Dimana :

C_D = Koefisien drag

C_L = Koefisien lift

ρ = Massa jenis udara (kg/m^3)

A = Luas penampang (m^2)

r_c = Panjang airfoil atau chord (m)

v_0 = kecepatan udara m/s

F_D = Gaya drag (N)

F_L = Gaya lift(N)

\dot{m} = Laju Aliran Massa(kg/s)

P_T = Daya dorong

2.3 Computational Fluid Dynamics

Computational Fluid Dynamics (CFD) adalah perangkat lunak yang digunakan untuk menganalisa aliran fluida, perpindah panas seperti reaksi kimia dengan menggunakan simulasi berbasis komputer. Simulasi pada perangkat lunak ini menghasilkan solusi numerik dan dapat mengatur persamaan-persamaan hukum Newton [5].

Terdapat tiga tahapan dalam penggunaan CFD: *Pre-processo*, *Solver*, dan *Post-processor*. Pre-processor adalah tahapan yang paling awal dalam merancang dan menganalisa menggunakan CFD. Pada tahap ini dilakukan pendefinisian masalah dengan menggunakan bentuk geometri. *Solver*, proses ini merupakan proses pemecahan masalah pada CFD secara matematis melalui analisis numerik. *Post-processor*, proses ini adalah tahapan terakhir pada CFD. pada tahap ini ditampilkan seluruh hasil yang sudah dilakukan pada tahapan sebelumnya.

2.4. Aplikasi Aerofoil

Aplikasi Aerofoil adaah aplikasi yang digunakan untuk mendesign aerofoil. Input dari aplikasi ini adalah kecepatan udara dan yang menjadi *output* nya adalah koefisien gaya *lift* (Cl) dan koefisien gaya *drag* (Cd). Berikut adalah tampilan dari aplikasi *aerofoil*.

3. Metode Perancangan

3.1. Simulasi

Penelitian pada ruang pengering menggunakan aplikasi Autodesk CFD dan penelitian dilanjutkan dengan aplikasi *Aerofoil* untuk melihat koefisien drag dan lift kincir.

3.2. Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian pada adalah sebagai berikut:

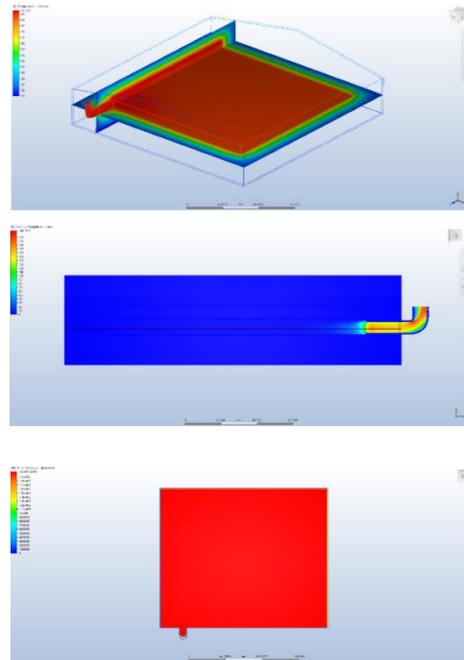
1. Pengukuran temperatur dan intensitas matahari.
2. Pembuatan desain ruang pengering.
3. Simulasi menggunakan aplikasi Autodesk CFD
4. Analisa hasil ruang pengering berupa temperatur, kecepatan, tekanan
5. Pembuatan tiga tipe *airfoil* menggunakan aplikasi Aerofoil.
6. *Input* data
7. Hasil

4. Hasil dan Pembahasan

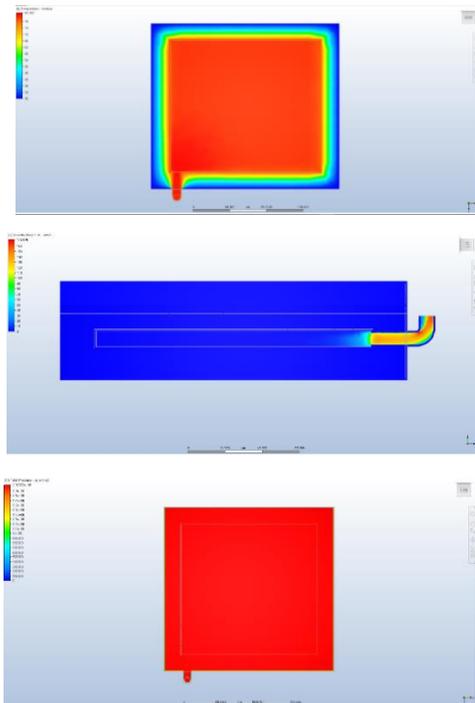
Hasil penelitian yang telah dilakukan secara simulasi pada dua aplikasi di dapat hasil sebagai berikut.

4.1. Hasil dan Pembahasan Simulasi Menggunakan CFD

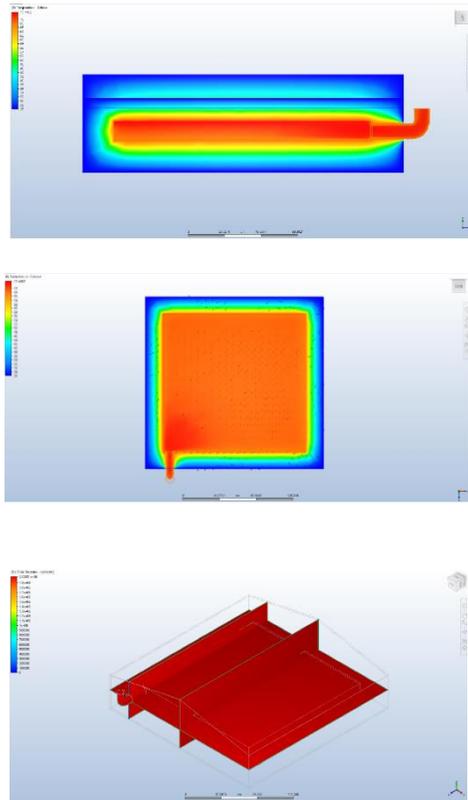
Data temperatur dan intensitas di bagi menjadi tiga kondisi yaitu panas, mendung, dan berhujan.



Gambar 1. Visualisasi Nilai Temperatur, Kecepatan dan Tekanan Kondisi Panas



Gambar 2 Visualisasi Nilai Temperatur, Kecepatan dan Tekanan Kondisi Mendung



Gambar 3 Visualisasi Nilai Temperatur, Kecepatan dan Tekanan Kondisi Mendung

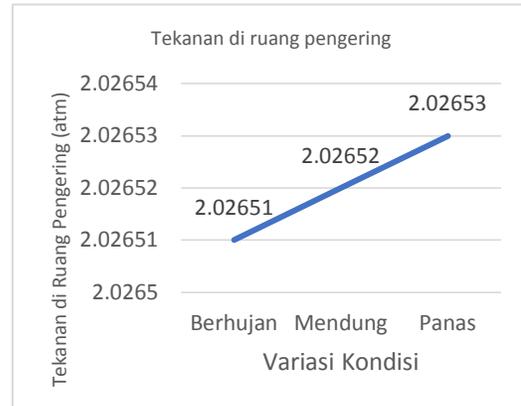
Hasil simulasi ruang pengering dengan input temperatur lingkungan dan intensitas matahari ditunjukkan pada table berikut ini

	Panas	Mendung	Hujan
Temperatur Lingkungan (°C)	40	36	26
Intensitas	987.64	756.5	390.9
Temperatur Ruang pengering (°C)	90.357	83.357	73.4662
Kecepatan keluar pengering (m/s)	2.16562	1.72046	1.1745
Tekanan di ruang pengering (atm)	2.02653	2.02652	2.02651

Dari percobaan dengan menggunakan simulasi dapat dibuktikan bahawa proses perpindahan panas dapat menghasilkan aliran kecepatan. Nilai kecepatan yang dihasilkan berbeda-beda pada setiap kondisi. Dimana kondisi yang divariasikan terdiri dari temperatur dan intensitas yang berbeda.

Dari data di atas dapat diketahui nilai kecepatan tertinggi ada pada kondisi panas dan aliran kecepatan terendah terjadi pada kondisi berhujan. Kedaan tersebut juga sejalan dengan hasil simlasi dpada tempertur di dalam ruang

pengering, dan tekanan di dalam ruang pengering.

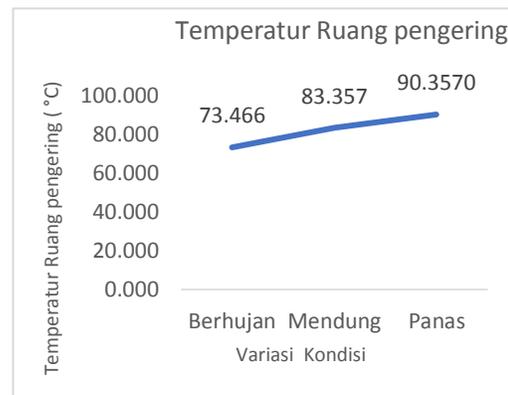


Gambar 4 Grafik Hasil Simulasi Tekanan

Dari grafik dapat diketahui bahwa semakin tinggi temperatur dan intensitas matahari tekanan juga akan semakin besar. Namun peningkatan nilai tekanan signifikan.



Gambar 5 Grafik Hasil Simulasi Kecepatan



Gambar 6 Grafik Hasil Simulasi Temperatur

Dari gambar 5 dapat diketahui bahwa semakin tinggi intensitas matahari dan temperatur lingkungan maka kecepatan yang dihasilkan semakin tinggi.

Dari gambar 6 dapat diketahui bahwa semakin tinggi temperatur lingkungan semakin tinggi pula temperatur ruang pengering. Begitu pula dengan intensitas matahari, semakin tinggi nilai intensitas matahari maka temperatur pada ruang pengering juga semakin tinggi.

4.2 Analisa Perpindahan Panas Secara Teoritis

Setelah dilakukan simulasi, maka akan di dapat kecepatan hasil simulasi. Perhitungan secara manual dapat dilakukan sebagai penguat hasil simulasi dimana pada hasil simulasi terbukti terdapat aliran fluida yang terjadi. Dengan formulasi dan nilai parameter perhitungan dapat diperoleh dari referensi, maka perhitungannya sebagai berikut:

- Menentukan bilangan Grashoff

$$Gr = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu^2} \quad (8)$$

$$Gr = 1,89 \times 10^9$$

- Menentukan bilangan Rarleigh

$$Ra = Gr \cdot Pr \quad (9)$$

$$Ra = 1,89 \times 10^9 \times 0.7$$

$$Ra = 1,320 \times 10^9$$

Setelah mendapatkan nilai Ra maka diketahui jenis aliran yang terjadi. Dari nilai tersebut dapat dikategorikan bahwa aliran adalah aliran turbulen dengan kondisi *free convection*.

- Mencari nilai kecepatan dengan bilangan Nusselt

$$Nu = C \cdot Re^m \cdot Pr^n \quad (10)$$

$$C \times Ra^{1/3} = C \cdot Re^m \cdot Pr^n$$

$$(1,320 \times 10^9)^{1/3} = Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4}$$

$$1096,81 = Re^{0,8} \cdot (0.7)^{0,4}$$

$$Re = \frac{\rho VL}{\mu}$$

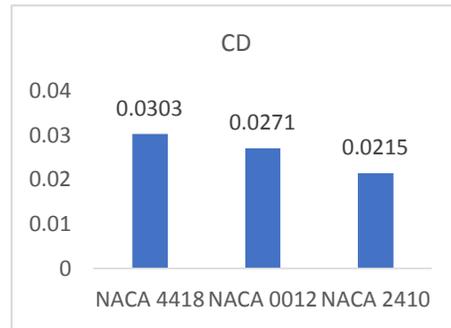
$$\left(\frac{1096,81}{0,8670}\right)^{1/0,8} = \left(\frac{1,125 \text{ kg/m}^3 \cdot v \cdot 0,1 \text{ m}}{195,33 \text{ kg/m.s}}\right)$$

$$v = 1,356 \text{ m/s}$$

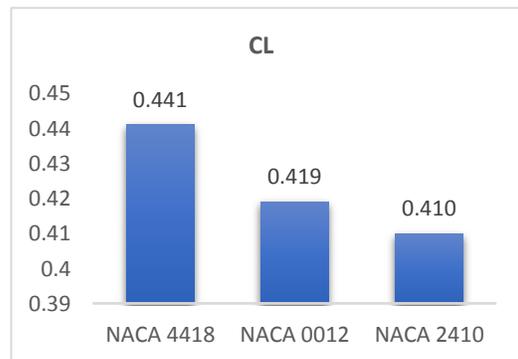
Kecepatan aliran fluida pada pipa yang terjadi karena adanya konveksi alami di ruang pengering secara teoritis adalah 1,356 m/s. Hasil tersebut membuktikan bahwa memang benar ada aliran udara yang muncul akibat adanya perpindahan panas secara natural di dalam ruang pengering.

4.3. Hasil dan Pembahasan Simulasi Airfoil

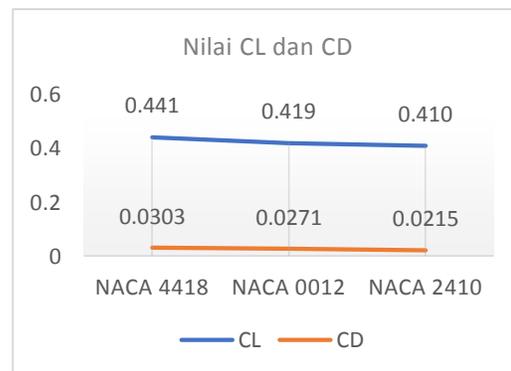
Penelitian terhadap tiga tipe Airfoil NACA yaitu NACA 4418, NACA 2410 dan NACA 0012 pada aplikasi Aerofoil akan menghasilkan nilai koefisien lift dan drag. Hasil simulasi akan di tampilkan dalam bentuk grafik untuk mempermudah Analisa.



Gambar 7 Grafik koefisien drag hasil simulasi



Gambar 8 Grafik koefisien lift hasil simulasi

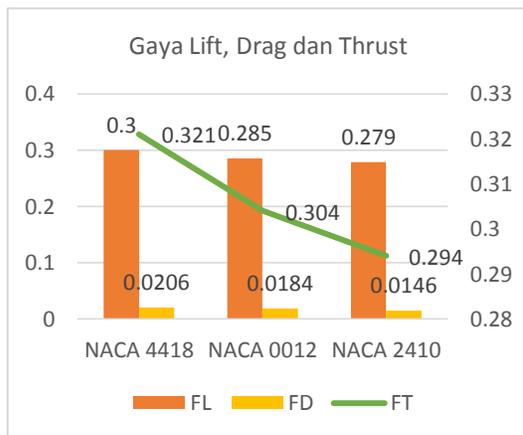


Gambar 9 Grafik besar koefisien drag dan koefisien lift hasil simulasi

Dari gambar 8 dapat diketahui bahwa dengan dengan kecepatan udara 1,1 m/s dan panjang chord 0,302 m nilai tertinggi koefisien lift dari tiga tipe *airfoil* yang diuji adalah tipe NACA 4418 yaitu 0,441. Sedangkan terendah adalah tipe NACA 2410. Nilai tertinggi koefisien *drag* dari tiga tipe *airfoil* yang diuji adalah tipe NACA 4418 yaitu 0,441. Sedangkan terendah adalah tipe NACA 2410 dengan nilai koefisien *drag* 0,0215.

Nilai koefisien hasil simulasi dapat dijadikan acuan untuk mengetahui apakah kincir dapat bergerak atau tidak. Pasa hasil simulasi pada 3 tipe NACA menunjukkan bahwa nilai dari koefisien lift lebih besar daripada nilai koefisien *drag* maka hal ini juga akan sejalan dengan gaya yang dihasilkan oleh setiap NACA. Hal ini akan dibuktikan dengan persamaan rumus gaya lift dan drag:

Dari rumus dapat diketahui bahwa nilai koefisien lift dan drag berbanding lurus dengan besar gaya lift dan gaya drag. Pada setiap NACA yang atur memiliki nilai kecepatan, massa jenis, Panjang *chord* yang sama maka yang dijadikan penentu nilai adalah koefisien drag dan liftnya. Ini jugalah yang membuktikan bahwa pada semua *airfoil* yang di uji nilai gaya lift akan lebih besar dari gaya drag. Pada kincir angin horizontal, ketika gaya lift lebih besar dari gaya drag maka kincir tersebut akan berputar.



Gambar 10 Grafik besar gaya lift, gaya drag, gaya thrust pada setiap NACA

Pemilihan kincir terbaik di dasarkan pada besarnya gaya dorong yang dapat diketahui dengan rumus $F_r = \sqrt{F_L^2 + F_D^2}$.

Untuk mengetahui besar gaya-gaya di asumsikan besar luas penampang adalah 1 m^2

($A = 1 \text{ m}^2$) sehingga di dapat hasil seperti yang di tunjukkan pada grafik berikut.

Dari Gambar 10 nilai gaya lift pada ketiga jenis NACA lebih tinggi dari gaya drag maka dari itu ketiga jenis NACA dapat di pakai pada sebagai *airfoil* pada kincir. Namun dari ketiga jenis NACA, nilai gaya dorong (Ft) NACA 4418 adalah yang tertinggi sehingga jenis *airfoil* yang paling baik digunakan di antara ketiga tipe NACA adalah NACA 4418.

5. Kesimpulan

1. Simulasi *Computational Fluid Dynamic* dilakukan pada tiga kondisi lingkungan yaitu panas, mendung dan berhujan. Temperatur kondisi panas 40°C , kondisi mendung 36°C dan kondisi berhujan 26°C . Hasil simulasi menunjukkan temperatur pada ruang pengering meningkat $90,357^\circ\text{C}$ pada kondisi panas, $83,357^\circ\text{C}$ di kondisi mendung, dan $73,4662^\circ\text{C}$ pada kondisi berhujan. Besar kecepatan yang dihasilkan pada kondisi lingkungan panas adalah $2,16562 \text{ m/s}$, kondisi lingkungan mendung $1,72046 \text{ m/s}$ dan berhujan $1,1745 \text{ m/s}$. Besar tekanan di dalam ruang pengering pada kondisi panas $2,02653 \text{ atm}$, kondisi mendung $2,02652 \text{ atm}$, dan berhujan $2,02651 \text{ atm}$. Nilai tekanan menunjukkan bahwa besar tekanan pada ruang pengering lebih besar dari tekanan atmosfer sehingga kecepatan udara dapat mengalir dari ruang pengering menuju lingkungan.
2. Dengan menggunakan kecepatan minimum yang dihasilkan oleh ruang pengering dan Panjang chord $0,3 \text{ m}$ tipe *airfoil* yang paling baik adalah NACA 4418 dengan besar C_L $0,441$ dan C_D $0,0303$.

Daftar Pustaka

- [1] Muhammad Iqbal, 2018, *Pembuatan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin Berkapasitas 100 Watt*, Tugas Akhir, Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- [2] Holman, J.P, 1984, *Perpindahan Kalor*, Edisi 5, Erlangga, Jakarta.

- [3] Incropera, Frank P., Dewwit, David P., Bergman, Theodore L., Lavine, Adrienne S., *Fundamental of Heat and Mass Transfer*, Edisi 6, Jhon Wiley & Sons, USA.
- [4] Manwell J.F., McGowan J.G., Rogers A.L., *Wind Energy Explained: Theory, Design and Application*, John Wiley & Sons.
- [5] Versteeg, 1995, *An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Fenite Volume Method*. New York.
- [6] Saputra, Maidi, *Kajian Literatur Sudu Turbin Angin Untuk Skala Kecepatan Angin Rendah*, Jurnal Mekanova, Vol.2, No. 1, hal.74-83

	<p>Angelica Ronauli Sihombing menyelesaikan studi S1 di Universitas Udayana, pada tahun 2021 dengan mengambil program studi Teknik Mesin pada tahun 2017.</p>
<p>Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan perpindahan panas, tubin, kincir dan aerodinamika.</p>	