

ANALISIS KECEPATAN KELUARAN ANGIN KONDENSOR AC TERHADAP JENIS–JENIS *BLADE* GENERATOR LISTRIK DENGAN KOMPUTASI FLUIDA DINAMIK

*Analysis of AC Condensor Wind Output Speed to Types of Electric Blade Generator with
Computational Fluid Dynamics*

Wahid Wahyu Saputro¹, Gian Villany Golwa^{1*}

¹ Teknik Mesin, Universitas Mercubuana, Jl. Raya, RT.4/RW.1, Meruya Selatan, Kec. Kembangan, Daerah Khusus Ibukota Jakarta 11650, Indonesia.

* Email Korespondensi : gianvgolwa@mercubuana.ac.id

Artikel Info - : Diterima : 21-06-2023; Direvisi : 01-12-2023; Disetujui : 14-12-2023

ABSTRAK

Energi listrik banyak digunakan untuk keperluan rumah tangga dan industri, sehingga kebutuhan energi listrik tiap tahun akan terus meningkat. Untuk itu perlu dikembangkan sistem pembangkit energi listrik yang berasal dari energi terbarukan seperti angin. Saat ini, pemanfaatan angin yang terbuang dari kondensor *air conditioner* (AC) belum banyak diketahui oleh masyarakat. Hembusan angin tersebut dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik, maka perlu dilakukan pembuatan *blade* generator listrik tenaga angin dari keluaran kondensor. *Blade* yang akan didesain adalah model *three blade*, sehingga diharapkan dapat memutar generator secara optimal. Tujuan dari penelitian ini adalah Mendesain jenis *three blade* yang dapat mengoptimalkan putaran motor/generator listrik dan mendapatkan jumlah putaran maksimal dengan desain *three blade* karena desain ini memberikan stabilitas yang lebih baik dan lebih efisiensi. Salah satu cara desain pembuatannya adalah dengan membuat variasi simulasi dengan *computational fluid dynamics* (CFD) agar dapat mengetahui desain *blade* yang tepat untuk memutar generator dan mengetahui hembusan angin keluaran kondensor AC yang melintasi *blade*. Dalam penelitian ini dilakukan sebanyak tiga kali simulasi untuk mendapatkan hasil yang maksimal, yaitu 390 rpm dengan suhu 42 °C dengan *velocity* 10,7 m/s dan *pressure* 34,4 Pa. Untuk dapat mengetahui efektivitas kecepatan keluaran angin kondensor AC dengan desain *three blade*.

Kata Kunci: Laju Aliran Udara, Jenis *Blade*, *Air Conditioner*, *Computational Fluid Dynamic*

ABSTRACT

Electrical energy is widely used for household and industrial purposes, so the need for electrical energy will continue to increase every year. Therefore, it is necessary to develop an electrical energy generation system that comes from renewable energy such as wind. Currently, not much is known about the use of wasted wind from air conditioner (AC) condensers. The blow of wind can be used to produce electrical energy, so it is necessary to make wind-powered electric generator blades from the condenser output. The blade that will be designed is a three-blade model, so it is hoped that it can rotate the generator optimally. The purpose of this research is to design a three-blade type that can optimize the rotation of the electric motor/generator and get the maximum number of revolutions with a three-blade design because this design provides better stability and more efficiency. One way of making the design is to make simulation variations with computational fluid dynamics (CFD) in order to find out the right blade design to rotate the generator and find out the wind blowing from the air conditioner (AC) condenser that crosses the blade. In this study, three simulations were carried out to get maximum results, namely 390 rpm at 42 °C with a velocity of 10.7 m/s and a pressure of 34.4 Pa. To be able to determine the effectiveness of the AC condenser wind output speed with a three-blade design.

Keywords: Air Flow Rate, Blade Type, Air Conditioner, Computational Fluid Dynamic

1. Pendahuluan

Energi angin merupakan salah satu energi alternatif yang bersifat berkelanjutan sehingga mampu memenuhi kebutuhan energi jangka panjang, yaitu angin yang di ekstrak menggunakan turbin angin. Dengan karakteristik kecepatan angin tersebut, Indonesia dinilai cocok untuk menggunakan pembangkit daya turbin angin sekala kecil sampai menengah [1]. Indonesia merupakan wilayah potensial untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga angin karena termasuk negara kepulauan dengan 2/3 wilayahnya merupakan lautan dan mempunyai garis pantai yang sangat Panjang. Prinsip konversi energi angin menjadi energi listrik yaitu dengan berputarnya baling-baling putaran yang menyebabkan generator ikut berputar sehingga menjadi energi listrik [2, 3].

Dengan generator tersebut energi mekanik dari baling-baling angin diubah menjadi energi listrik. Pemanfaatan energi listrik ini secara luas telah digunakan untuk kebutuhan rumah tangga, komersial, instansi pemerintah, industri dan lain-lain [4]. Oleh sebab itu memiliki banyak potensi untuk bisa dimanfaatkan. Salah satunya adalah pemanfaatan angin yang terbuang sia-sia dari kondensor *air conditioner* (AC) yang belum banyak diketahui oleh masyarakat bahwa energi angin yang keluar dari *exhaust* AC bisa di manfaatkan untuk menjadi energi listrik [5, 6].

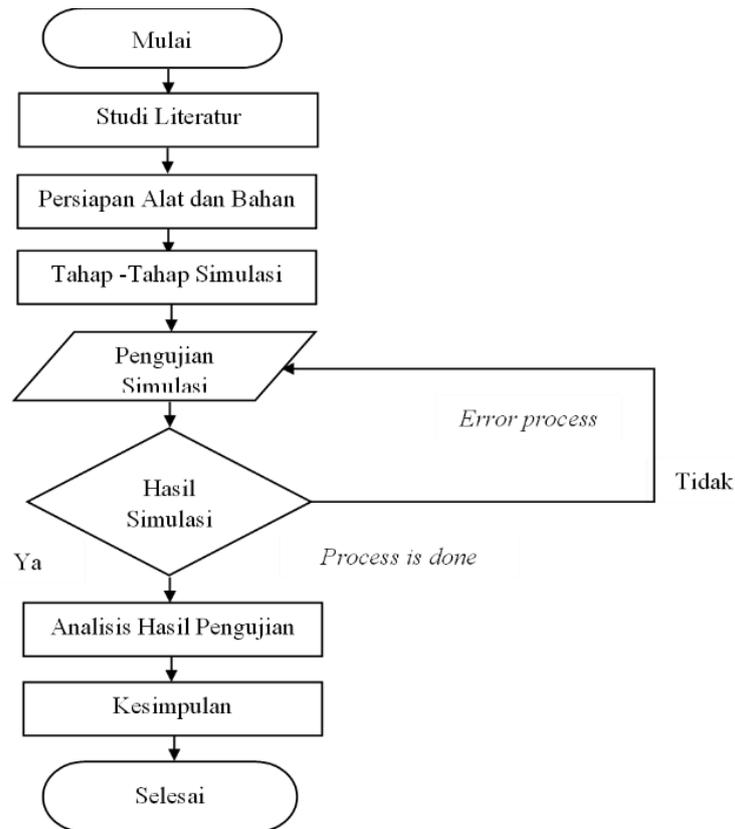
Angin *exhaust* AC merupakan sumber daya alternatif yang prospektif, karena sumber energi yang dapat diperbarui dan tidak menimbulkan polusi [7]. Maka dari itu dibutuhkan sebuah desain *blade* yang dapat memanfaatkan angin dari luaran *exhaust* AC. Desain *blade* pembangkit listrik tenaga angin luaran *exhaust* AC ini sudah diteliti pada penelitian sebelumnya [8]. Dari hasil penelitian yang dilakukan sebelumnya sudah dapat dipastikan bahwa angin luaran *exhaust* AC dapat dimanfaatkan dan dapat menghasilkan energi listrik. Tetapi masih dibutuhkan pengembangan lebih untuk pembuatan desain *blade* agar dapat digunakan dengan sempurna dan dapat dipasarkan ke masyarakat [9, 10].

Dari latar belakang di atas tujuan dari penelitian ini adalah memanfaatkan energi angin keluaran yang terbuang dari *exhaust* AC dan Membuat desain *three blade* untuk mendapatkan jumlah putaran maksimal dengan menggunakan ANSYS [11]. Dari penelitian terdahulu masih memiliki beberapa kekurangan berupa dimensi, bentuk, dan kecepatan yang tinggi untuk menghasilkan energi mekanik yang cukup. Maka dibutuhkan pengembangan lebih lanjut yaitu dengan desain *three blade* karena desain ini memberikan stabilitas yang lebih baik dan lebih efisiensi [12].

2. Metodologi Penelitian

2.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian analisis kecepatan keluaran angin kondensor AC terhadap jenis-jenis *blade* generator listrik dengan komputasi fluida dinamik ini dirancang sesuai dengan diagram alir penelitian pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.2 Alat dan Bahan

2.2.1 Alat

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode *computational fluid dynamic* (CFD). Oleh karena itu, untuk mendukung dalam memperoleh data penelitian diperlukan alat bantu simulasi, alat ukur, perangkat keras dan perangkat lunak diantaranya:

- Laptop Acer *Swift* SF314-71 Intel (R) Core (TM) i5-12500H (16CPUs), -2,5GHz dan RAM 16 GB
- Software ANSYS 2023 R1
- Tachometer* adalah sebuah alat pengujian yang dirancang untuk mengukur kecepatan rotasi dari sebuah objek, seperti alat pengukur dalam sebuah mobil yang mengukur putaran per menit (rpm) dari poros engkol mesin. Gambar 2 merupakan *Tachometer* dengan spesifikasi sebagai berikut:
 - 5 digit 18 mm (0,6") LCD
 - Accuracy: $\pm(0,05\%+1 \text{ digit})$
 - Sampling time: 0,8 sec (over 60 rpm)
 - Range select: Auto-ranging
 - Range pengukuran: 2,5~99,999 rpm
 - Jarak pengukuran: 50~500 mm
 - Sumber daya: Baterai 1,5V AA 3x



Gambar 2. Tachometer

- d. *Anemometer thermometer digital* adalah alat untuk mengukur kecepatan dan temperatur udara dengan akurasi kecepatan udara kurang lebih 5%. Alat ini digunakan untuk mengukur kecepatan dan temperatur pada *inlet* untuk parameter *input* simulasi. Gambar 3 merupakan *Anemometer thermometer digital* dengan spesifikasi sebagai berikut:
- Rentang kecepatan udara: 0 ~ 45 m/s
 - Kisaran suhu udara: 0~ 45 °C, 32 °F~ 113 °F
 - Rentang aliran udara: 0 ~ 999900 m³/s
 - Resolusi: 0,1 m/s, 0,1 °C
 - Akurasi suhu: ± 2 °C
 - Akurasi kecepatan udara: ± 3 %, ± 0,1 dgts



Gambar 3. Anemometer Thermometer Digital

2.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan untuk penelitian adalah unit kondensor jenis AC *split* dengan besaran 2PK yang dimana keluaran dari angin tersebut yang akan kami teliti besaran alirannya terhadap *design ducting* yang akan dibuat. Gambar 4 merupakan unit kondensor AC *split* 2 PK.



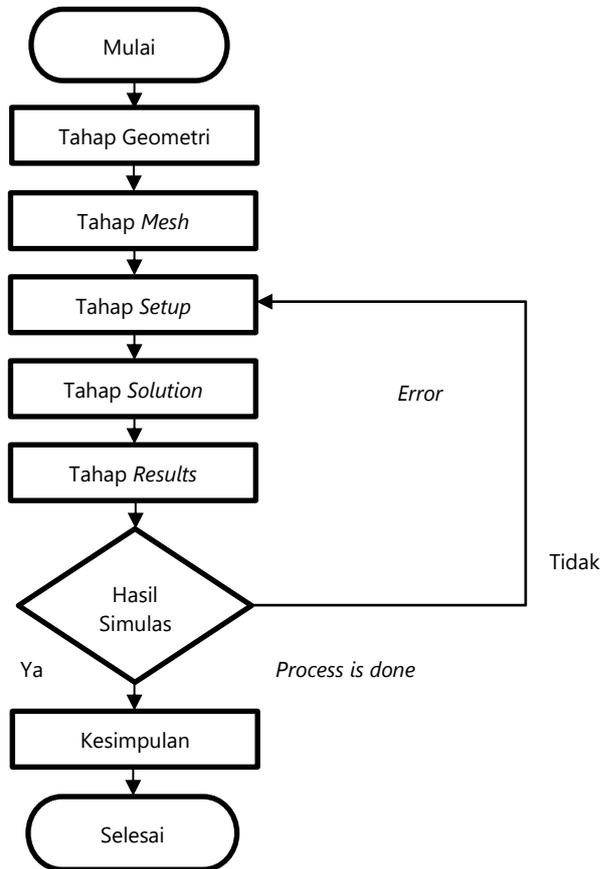
Gambar 4. Unit Kondensor AC *Split* 2 PK

Tabel 1. Hasil Pengukuran Keluaran Angin Kondensor AC

Parameter	Simulasi 1	Simulasi 2	Simulasi 3
Kecepatan putaran (rpm)	189	285	390
Suhu (°C)	38	40	42
Velocity (m/s)	6,4	6,5	6,6

2.3 Diagram Alir Simulasi

Penelitian analisis kecepatan keluaran angin kondensor AC terhadap jenis-jenis *blade* generator listrik dengan komputasi fluida dinamik ini dirancang sesuai dengan diagram alir simulasi pada Gambar 5.



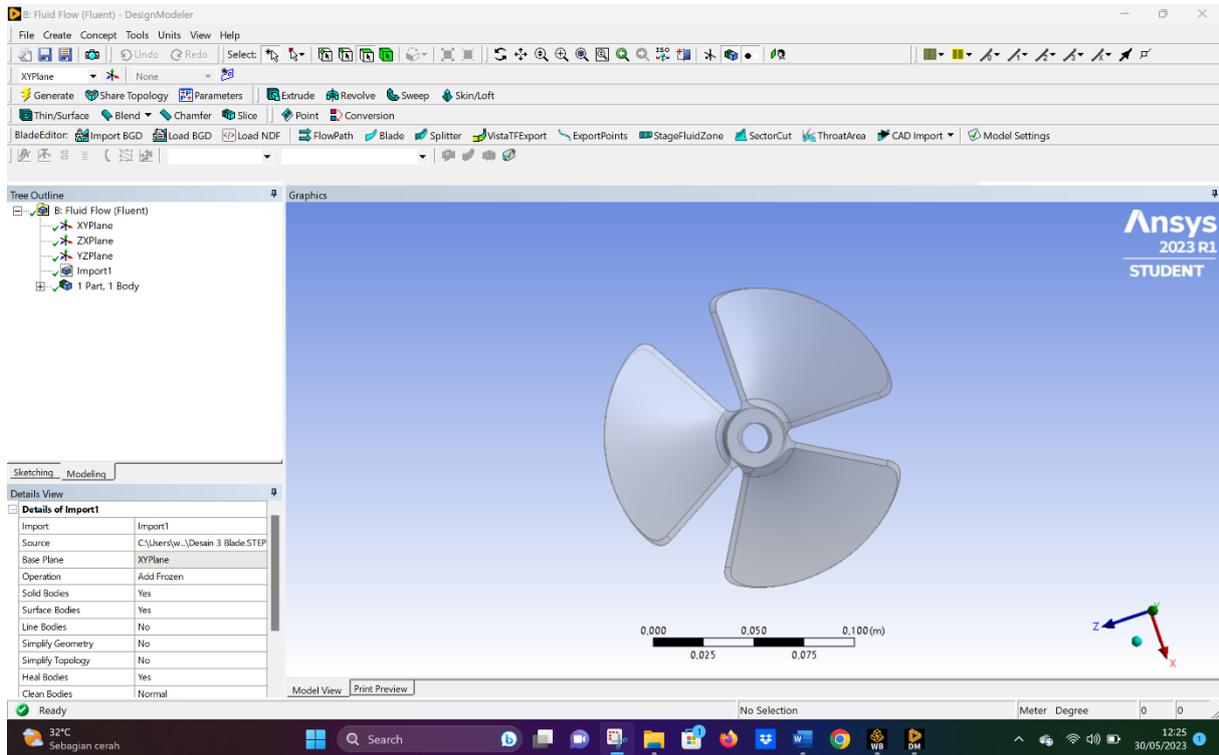
Gambar 5. Diagram Alir Simulasi

2.4 Penjelasan Diagram Alir Simulasi

Proses simulasi *desain three blade* dengan metode ANSYS *fluent* yang terdiri dari tahapan *geometri*/pembuatan *desain blade* dan selanjutnya tahapan *meshing*, tahapan *setup*, tahapan *solution* dan terakhir tahapan *results*.

2.4.1. Tahapan Geometri

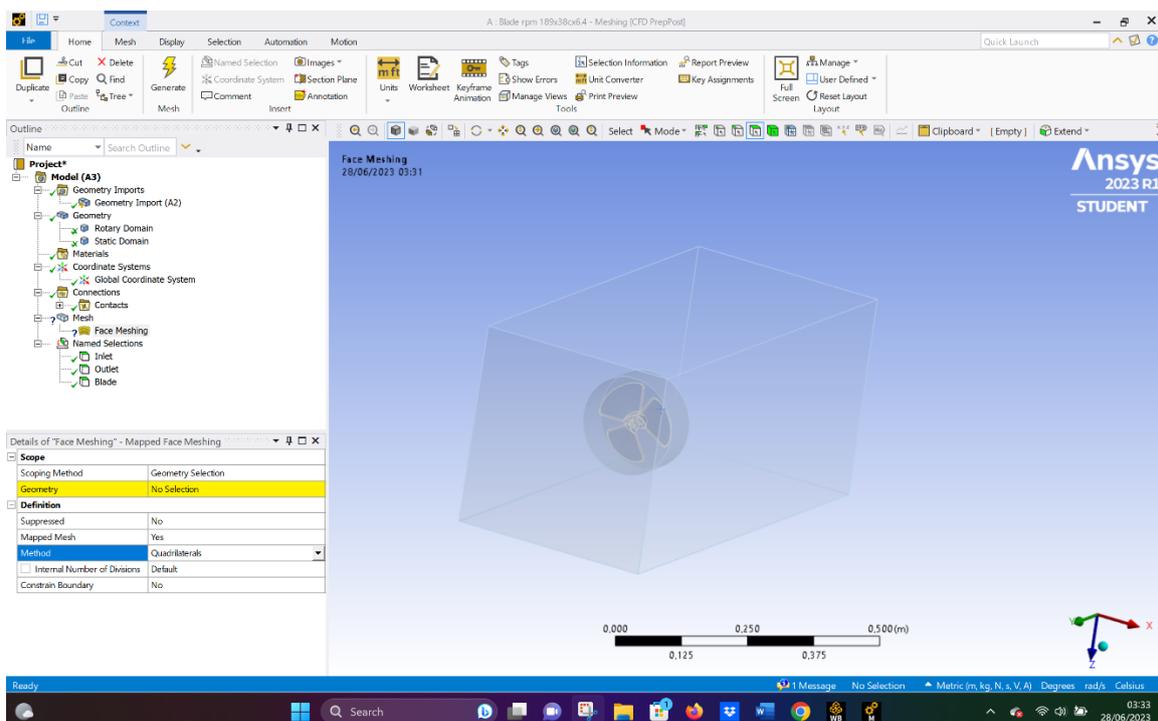
Tahapan geometri adalah proses memasukkan permodelan *blade* yang sebelumnya sudah dibuat pada *software solidworks* dan kemudian di *import* ke dalam *software ANSYS fluent* untuk proses pembuatan *blade* dan simulasi di tahapan geometri seperti yang terlihat pada Gambar 6. Untuk *men-setting* beberapa modeling yang ada pada tahap geometri ini.



Gambar 6. Proses Simulasi Tahapan Geometri

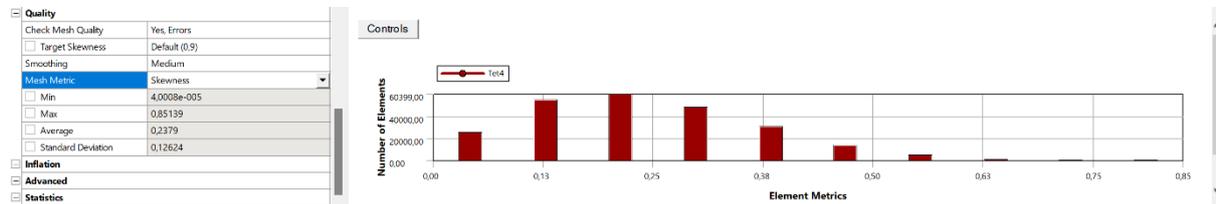
2.4.2. Tahapan Meshing

Meshing merupakan pembagian objek menjadi bagian-bagian yang lebih kecil seperti yang terlihat pada Gambar 7. Semakin kecil *meshing* yang dibuat maka hasil perhitungan akan semakin teliti namun membutuhkan daya komputasi yang besar. Pada tahap ini menggunakan jenis *mesh quadrilaterals* dan pengaturan strategi *meshing* atau pencacahan objek.



Gambar 7. Jenis Meshing Quadrilaterals

Hasil *meshing* yang didapatkan dari tahap ini akan menjadi acuan perhitungan ditahap selanjutnya dan hasil *quality meshing* jika nilai *skewness*-nya kecil maka semakin baik dan sebaliknya jika hasil *orthogonal quality* semakin besar maka semakin baik seperti yang terlihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Nilai *Skewness*

2.4.3. Tahapan Setup

Tahapan *setup* merupakan tahap dimana dilakukan beberapa *setting* parameter terkait permasalahan yang akan dianalisis pada desain *three blade* dengan simulasi 1, simulasi 2, dan simulasi 3 dan Langkah-langkah untuk *setting* parameter-nya meliputi *general*, *model*, *material*, *cell zone condition*, *boundary condition*, *reference value*, *method*, dan *initialization*. Untuk parameter *setting* bisa dilihat pada Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Data Parameter *Setup*

Parameter	Simulasi 1	Simulasi 2	Simulasi 3
<i>General</i>	<i>Transient</i>	<i>Transient</i>	<i>Transient</i>
Model	<i>k-epsilon</i>	<i>k-epsilon</i>	<i>k-epsilon</i>
Material	<i>Fluid (Air) and Solid (Aluminium)</i>	<i>Fluid (Air) and Solid (Aluminium)</i>	<i>Fluid (Air) and Solid (Aluminium)</i>
<i>Cell Zone Condition</i>	<i>Rotary Domain and Static Domain</i>	<i>Rotary Domain and Static Domain</i>	<i>Rotary Domain and Static Domain</i>
<i>Boundary Condition</i>	<i>Inlet</i>	<i>Inlet</i>	<i>Inlet</i>
<i>Reference Value</i>	<i>Rotary Domain</i>	<i>Rotary Domain</i>	<i>Rotary Domain</i>
<i>Methods</i>	<i>Simple</i>	<i>Simple</i>	<i>Simple</i>
<i>Initialization</i>	<i>Hybrid Initialization</i>	<i>Hybrid Initialization</i>	<i>Hybrid Initialization</i>

2.4.4. Tahapan Solution

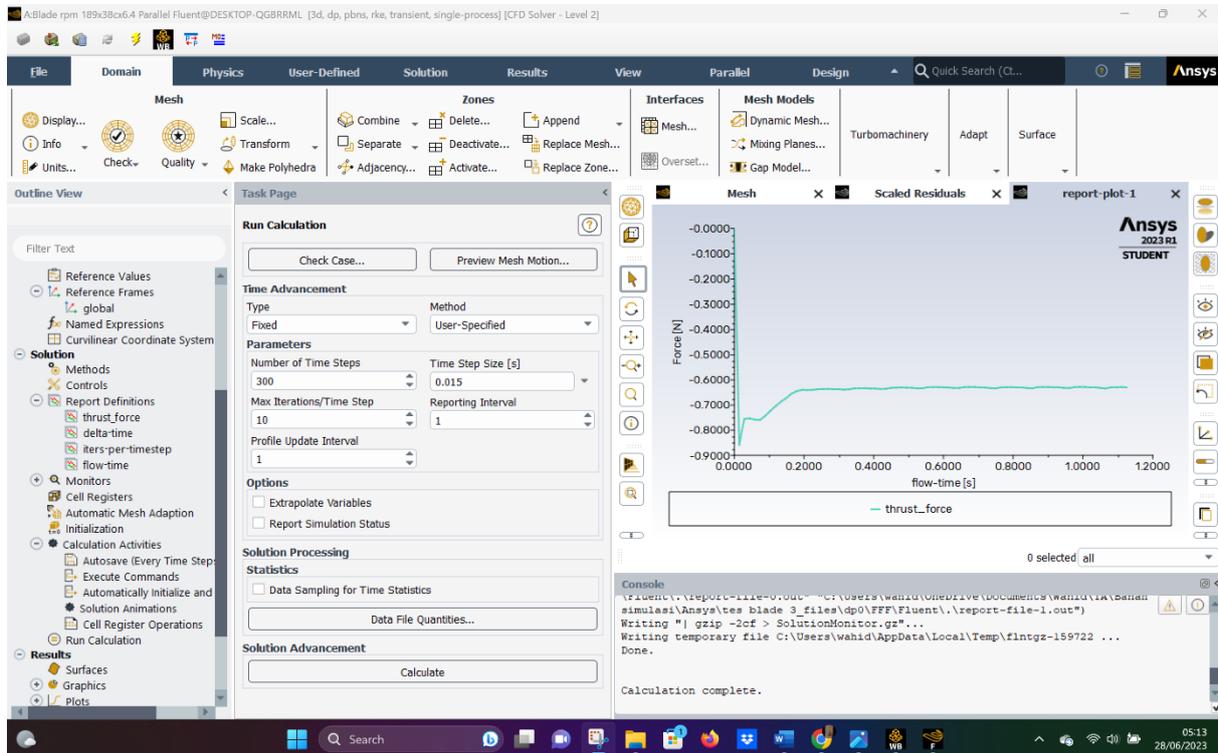
Tahapan *solution* merupakan tahapan lanjutan dari tahapan *setup*, untuk tahapan *solution* sendiri sebenarnya bisa di *setting* bersamaan dengan tahap *setup*. Pada tahap ini akan ditampilkan sebuah gambar yang berisi tentang informasi mengenai simulasi.

2.4.5. Tahapan Results

Pada tahap *results* ini merupakan tahapan terakhir dalam simulasi ANSYS *fluent* atau sering disebut dengan *CFD post*. Pada tahapan ini menampilkan hasil dari simulasi yang berupa gambar dan juga video animasi tentang simulasi tersebut.

3. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Setelah melakukan *setting* parameter-parameter dan memasukkan asumsi-asumsi di tahap-tahap ANSYS *fluent*, dan dilakukan sebanyak tiga kali simulasi dengan ANSYS *students* 2023 R1 serta *run calculation* dilakukan sebanyak 100 *calculation* dengan 0,015 s dan *max iteration* sebanyak 10 dan dilakukan sampai *complete calculation* atau sudah *kovergen*. Maka hasil yang diperoleh adalah seperti yang terlihat pada Gambar 9.



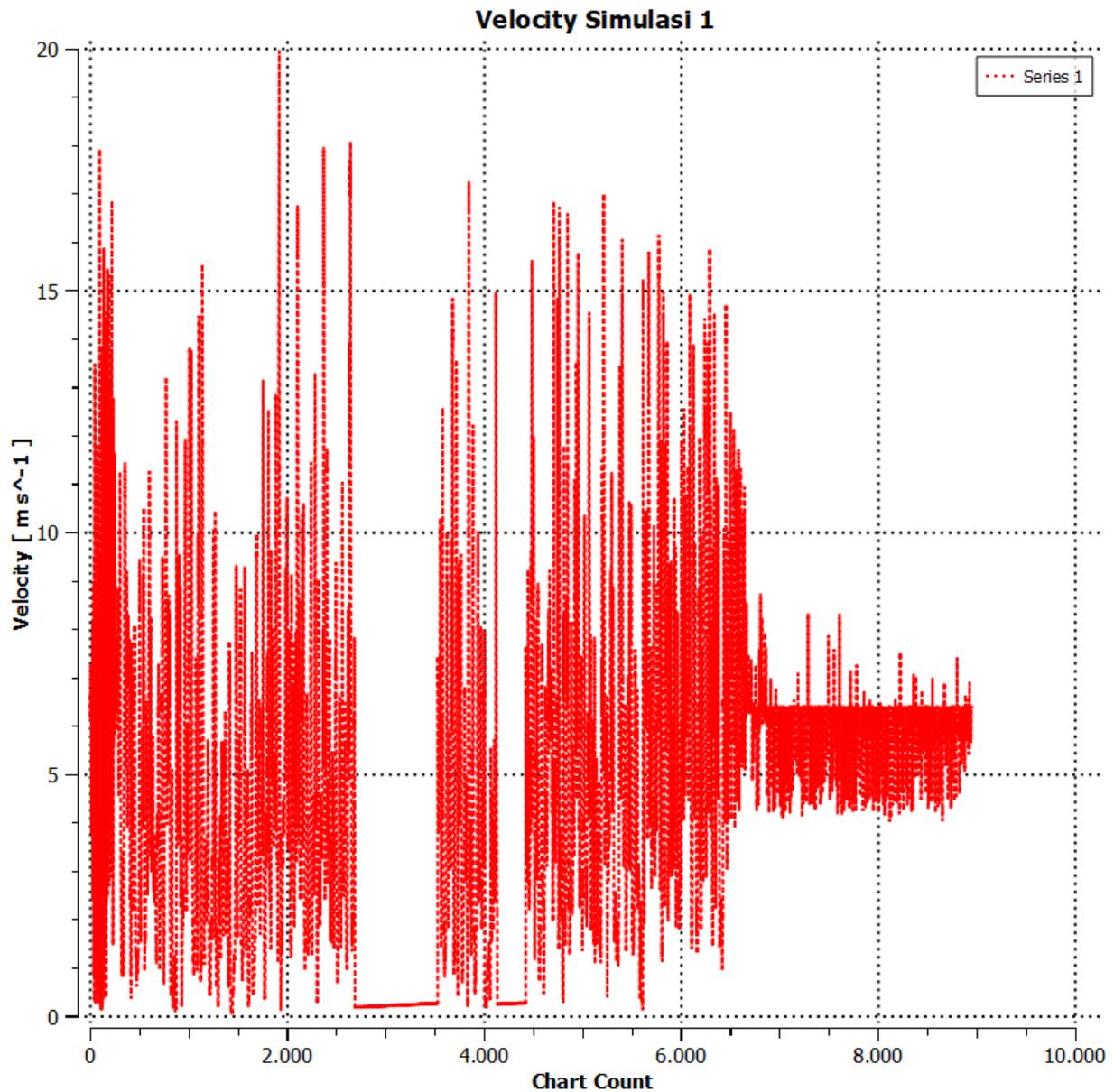
Gambar 9. Run Calculation sampai Complete Calculation atau Konvergen

3.1. Simulasi Pertama

Pada simulasi pertama ini menggunakan parameter-parameter yang sudah disetting dibagian *setup* dengan menggunakan 189 rpm dengan suhu 38 °C dan *velocity* 6,4 m/s dan *run calculation* dilakukan sebanyak 100 *calculation* dengan 0,015 s dan *max iteration* sebanyak 10 dan dilakukan sampai selesai *calculation* atau sudah konvergen maka hasil yang di dapat adalah bahwa *chart thrust force* (grafik gaya dorong) pada awal *flow time* (waktu aliran), *force* (gaya dorong) mengalami peningkatan yang tinggi dan pada *flow time* (0,2000-1,6000 s), *force* stabil diangka (-0,6500 N).

Pada *contour pressure* (tekanan kontur) pada Gambar 10 menunjukkan bahwa *blade* berwarna merah atau *maximum* dan pada tekanan statis menunjukkan angka 32,4 Pa dan angka *minimum* -51,1 Pa dan *pathlines pressure* (tekanan jalur) menunjukkan *blade* pada bagian *inlet* adalah berwarna merah dan menghasilkan laju angin berwarna hijau dan kuning dan saat angin sampai pada bagian *outlet*, angin didominasi warna kuning pada gambar tersebut.

Untuk *contour velocity* (kecepatan kontur) menunjukkan bahwa *blade* pada simulasi ini berwarna biru atau *minimum* dan pada kecepatan kontur menunjukkan angka 9,98 m/s dan angka *minimum* 0 m/s dan pada *pathlines velocity* (kecepatan jalur) menunjukkan *blade* pada bagian *inlet* adalah berwarna biru dan menghasilkan laju angin berbagai warna sampai pada bagian *outlet*.

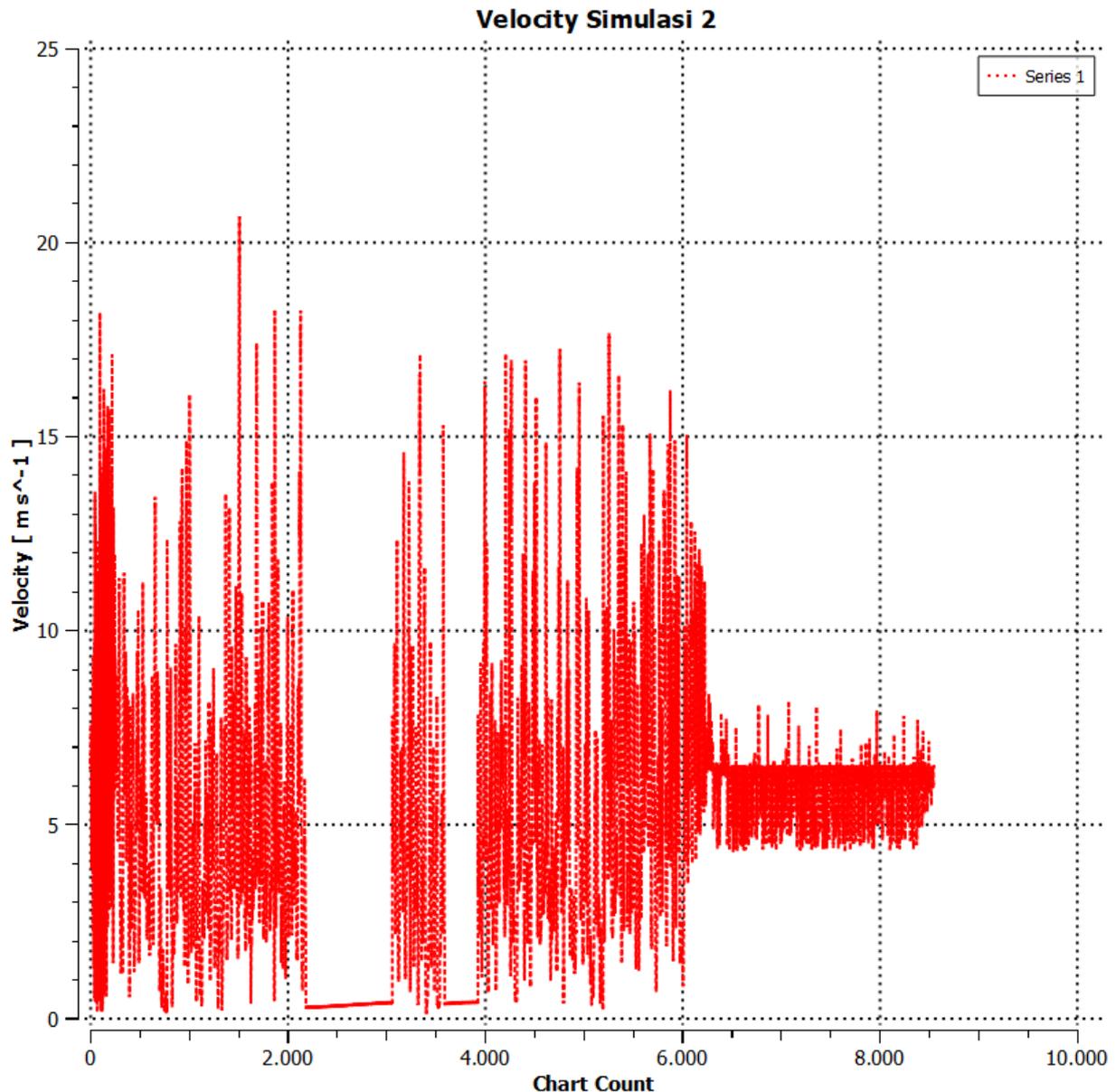
**Gambar 10.** Grafik Velocity Simulasi 1

3.2. Simulasi Kedua

Pada simulasi kedua ini menggunakan parameter-parameter yang sudah disetting pada bagian *setup* dengan menggunakan 189 rpm dengan suhu 38 °C dan *velocity* 6,4 m/s dan *run calculation* dilakukan sebanyak 100 *calculation* dengan 0,015 s dan *max iteration* sebanyak 10 dan dilakukan sampai selesai *calculation* atau sudah konvergen maka hasil yang di dapat adalah bahwa *chart thrust force* (grafik gaya dorong) pada awal *flow time* (waktu aliran), *force* (gaya dorong) mengalami peningkatan yang tinggi dan pada *flow time* (0,3000-1,6000 s), *force* stabil diangka (-0,6700 N).

Contour pressure (tekanan kontur) pada Gambar 11 menunjukkan bahwa *blade* berwarna merah atau *maximum* dan pada tekanan statis menunjukkan angka 33,0 Pa dan angka *minimum* -67,9 Pa dan *pathlines pressure* (tekanan jalur) menunjukkan *blade* pada bagian *inlet* adalah berwarna merah dan menghasilkan laju angin berbagai warna dan saat angin sampai pada bagian *outlet*, angin didominasi warna *orange* pada Gambar 11 tersebut.

Untuk *contour velocity* (kecepatan kontur) menunjukkan bahwa *blade* pada simulasi ini berwarna biru atau *minimum* dan pada kecepatan kontur menunjukkan angka 10,4 m/s dan angka minimum 0 m/s dan pada *pathlines velocity* (kecepatan jalur) menunjukkan *blade* pada bagian *inlet* adalah berwarna biru dan menghasilkan laju angin berbagai warna sampai pada bagian *outlet*.



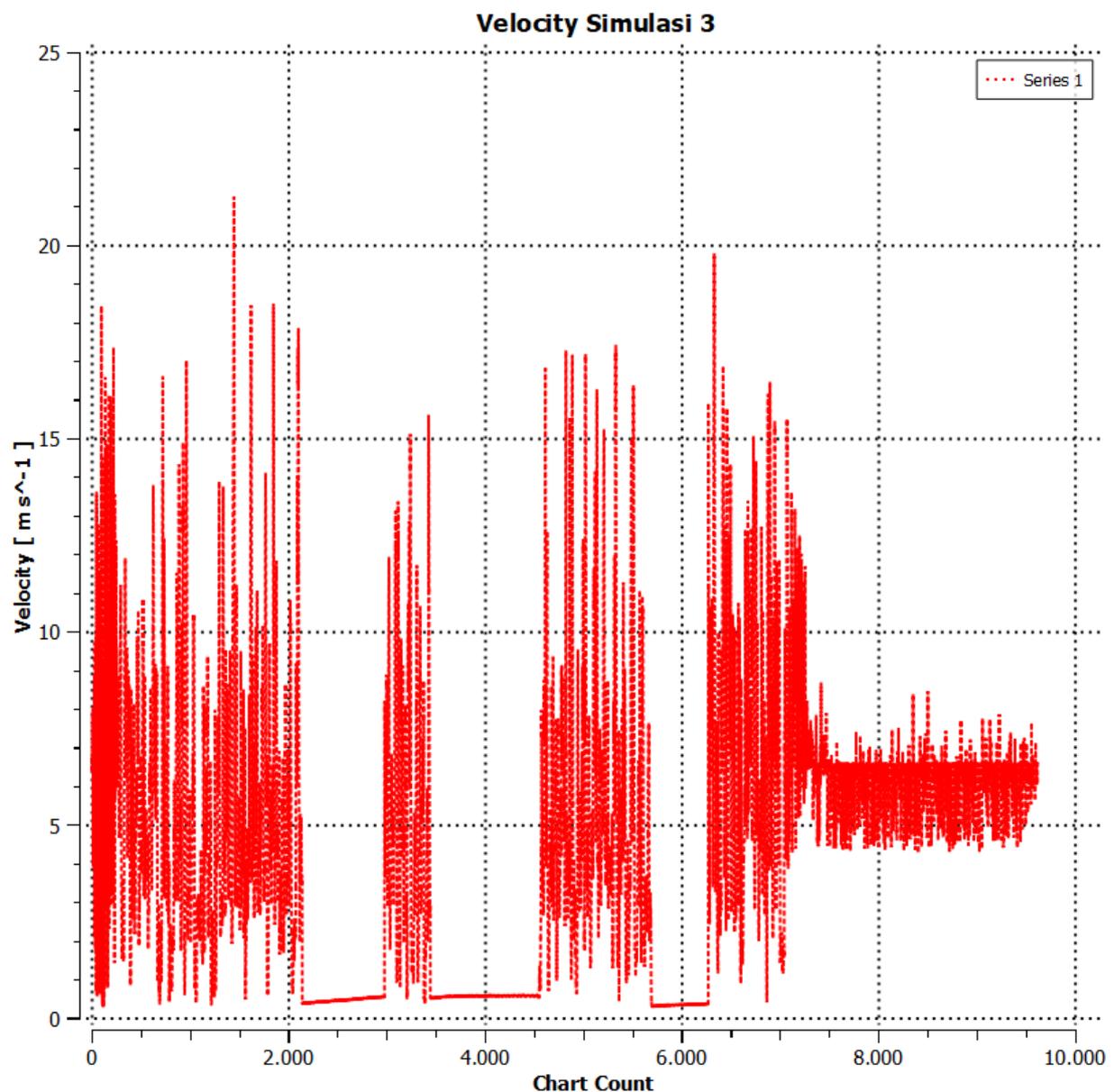
Gambar 11. Grafik Velocity Simulasi 2

3.3. Simulasi Ketiga

Pada simulasi ketiga ini menggunakan parameter-parameter yang sudah di-setting pada bagian *setup* dengan menggunakan 189 rpm dengan suhu 38 °C dan *velocity* 6,4 m/s dan *run calculation* dilakukan sebanyak 100 *calculation* dengan 0,015 s dan *max iteration* sebanyak 10 dan dilakukan sampai selesai *calculation* atau sudah konvergen maka hasil yang di dapat adalah bahwa *chart thrust force* (grafik gaya dorong) pada awal *flow time* (waktu aliran), *force* (gaya dorong) mengalami peningkatan yang tinggi dan pada *flow time* (0,4000-1,6000 s), *force* stabil diangka (-0,6800 N).

Contour pressure (tekanan kontur) pada Gambar 12 menunjukkan bahwa *blade* berwarna merah atau *maximum* dan pada tekanan statis menunjukkan angka 34,4 Pa dan angka *minimum* -75,5 Pa dan *pathlines pressure* (tekanan jalur) menunjukkan *blade* pada bagian *inlet* adalah berwarna merah dan menghasilkan laju angin didominasi warna berwarna kuning dan *orange* dan saat angin sampai pada bagian *outlet*, angin didominasi warna *orange* pada Gambar 12 tersebut.

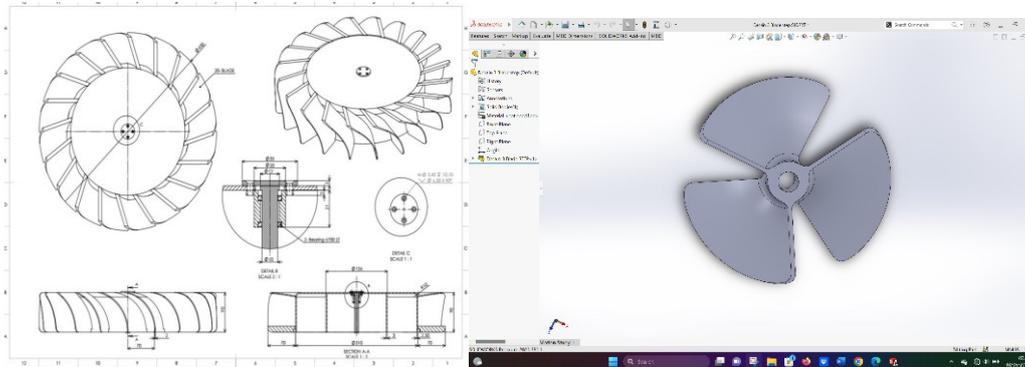
Untuk *contour velocity* (kecepatan kontur) menunjukkan bahwa *blade* pada simulasi ini berwarna biru atau *minimum* dan pada kecepatan kontur menunjukkan angka 10,7 m/s dan angka *minimum* 0 m/s dan pada *pathlines velocity* (kecepatan jalur) menunjukkan *blade* pada bagian *inlet* adalah berwarna biru dan menghasilkan laju angin berbagai warna sampai pada bagian *outlet*.



Gambar 12. Grafik Velocity Simulasi 3

Setelah mendapatkan data analisis di atas maka didapatkan hasil yang dapat dimaksimalkan dan terwujudnya tujuan dari penelitian ilmiah ini. Penelitian ini membandingkan desain *blade* sebelumnya

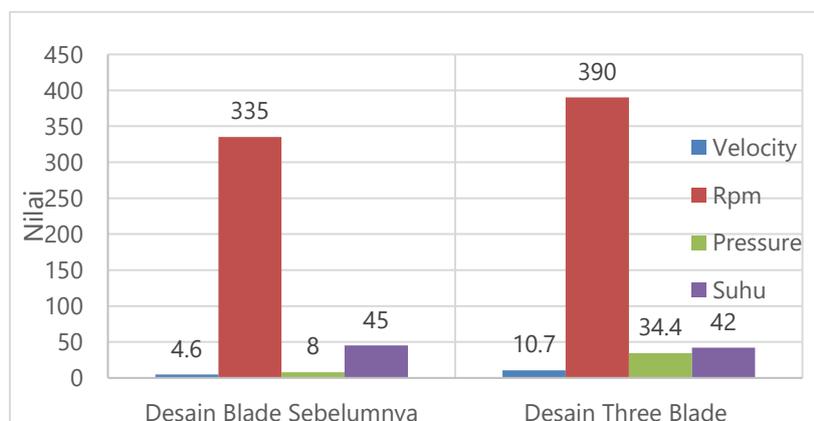
dengan *three blade* karena desain *three blade* dapat memberikan stabilitas yang lebih baik dan lebih efektif dibandingkan dengan *blade* lainnya (lihat Gambar 13 dan Tabel 3).



Gambar 13. Desain Blade Sebelumnya dan Three Blade

Tabel 3. Hasil Perbandingan *Blade*

No	Parameter	Desain <i>Blade</i> Sebelumnya	Desain <i>Three Blade</i>
1	Velocity (m/s)	4,6	10,7
2	Kecepatan putaran (rpm)	335	390
3	Pressure (Pa)	8	34,4
4	Suhu (°C)	45	42



Gambar 14. Grafik Perbandingan *Desain Blade* Sebelumnya dan *Three Blade*

Pada Gambar 14 di atas bisa dilihat bahwa perbandingan desain *blade* sebelumnya dan *three blade* menunjukkan perbandingan desain *blade* sebelumnya mendapatkan hasil kecepatan 335 rpm dengan suhu 45 °C dengan *velocity* 4,6 m/s dan *pressure* 8 Pa. Sedangkan pada desain *three blade* mendapatkan hasil kecepatan maksimal 390 rpm, suhu 42 °C, *velocity* 10,7 m/s dan *pressure* 34,4 Pa.

4. Kesimpulan

Dari hasil simulasi didapatkan beberapa kesimpulan antara lain:

1. Energi angin keluaran yang terbuang dari *exhaust AC* dapat dimanfaatkan dan dapat menghasilkan energi listrik untuk menyimpan dan mengemat listrik dengan menggerakkan *generator* yang ada pada *kondensor AC* dengan mengubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik.
2. *Desain three blade* setelah dianalisis dengan ANSYS *fluent* dan mendapatkan putaran maksimal yaitu 390 rpm, suhu 42°C, *velocity* 10,7 m/s, dan *pressure* 34,4 Pa.

5. Daftar Pustaka

- [1] A. Fadila, I. Zakaria, M. Fauzan, S. Sahid, and S. Supriyo, "Rancang Bangun Turbin Angin Tipe Darrieus Tiga Sudu Rangkap Tiga dengan Profil NACA 0006," *Eksergi*, vol. 15, no. 3, pp. 102-114, 2020, doi: 10.32497/eksergi.v15i3.1785.
- [2] M. I. Abdullah, "Analisis Rancang Bangun Pembangkit Listrik Generasi 3 Tenaga Angin Luaran Exhaust AC Menggunakan Metode Vdi 2221," Universitas Mercu Buana, Jakarta, 2023.
- [3] D. Chandra, D. E. P. Maharani, F. Banna, N. A. Ramadhani, F. G. Sumarno, and M. D. Surindra "Rancang Bangun Turbin Angin Savonius-Darrieus Tipe Cebong," *Prosiding Seminar Nasional NCIET*, vol. 1, no. 1, 2020, doi: 10.32497/nciet.v1i1.169.
- [4] T. Hidayat, "Analisis Efektifitas Desain Sudu pada Generator Listrik Tenaga Angin Kondensor dari Air Conditioner dengan Computational Fluid Dynamics (CFD) ," Universitas Mercu Buana, Bekasi, 2020.
- [5] G. V. Golwa, F. Anggara, and I. Hidayat, "Studi Potensi Listrik dari Hembusan Angin Luaran Air Conditioner," *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, vol. 18, no. 2, pp. 53-58, 2023, <https://doi.org/10.36289/jtmi.v18i2.464>.
- [6] J. Setiawan, S. Darmawan, and H. Tanujaya, "Komparasi Simulasi CFD Pada Turbin Cross-Flow dengan Model Turbulen k- ϵ STD dan RNG k- ϵ ," *Jurnal Asimetri: Jurnal Ilmiah Rekayasa & Inovasi*, vol. 4, no. 2, pp. 153–162, 2022, doi: 10.35814/asiimetrik.v4i1.3100.
- [7] M. C. Putra, A. Intang, and R. Rusnandi, "Pengaruh Perubahan Kecepatan Aliran Udara Terhadap Performansi AC 2 PK," *TEKNIKA: Jurnal Teknik*, vol. 6, no. 2, pp. 209–216, 2019, <http://dx.doi.org/10.35449/teknika.v6i2.117>.
- [8] F. Fahrudin, F. Wahyuni, and D. Oktavitasari, "Studi Eksperimen Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Kinerja Wind Turbine Crossflow," *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 16, no. 2, pp. 218–224, 2021, <http://dx.doi.org/10.32497/jrm.v16i2.2555>.
- [9] I. P. Widiarta, M. Suarda, M. Sucipta, and I. G. K. Sukadana, "Simulasi CFD Pertukaran Udara di Ruang Tindakan Klinik Kesehatan," *Jurnal METTEK*, vol. 8, no. 2, pp. 83–92, 2022.
- [10] S. P. Sari, D. K. Saputra, and D. Donawan, "Analisis Energi Listrik dari Panas Kondensor Air Conditioner dengan Insulasi dan Generator Termoelektrik," *Jurnal Asimetri: Jurnal Ilmiah Rekayasa & Inovasi*, vol. 1, no. 2, pp. 65–72, 2019, <https://doi.org/10.35814/asiimetrik.v1i2.822>.
- [11] F. Anggara, "Numerical Study: Comparison The Effect of Ratio Length and Diameter Guide Vane of Air Flow on Outlet Ducting," *Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika*, vol. 5, no. 2, pp. 150–159, 2020, <https://doi.org/10.20527/sjmeKinematika.v5i2.178>.
- [12] K. Kusman and M. S. K. T. S. Utomo, "Simulasi Persebaran Gas Buang dan Partikulat dari Cerobong Asap pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) di Jepara Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamics (CFD) dengan Variasi Kecepatan Udara," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 5, no. 2, pp. 106–114, 2017.