

Perancangan awal *wind tunnel* untuk pengujian turbin angin

Alexander Matthew¹, Levin Halim¹

¹Teknik Elektro Konsentrasi Mekatronika, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan
Jl. Ciembuleuit No. 94 Bandung 40141

*Email korespondensi: halimlevin@unpar.ac.id

Abstrak

Seiring berkurangnya pasokan sumber daya alam yang berkaitan dengan minyak bumi semakin menipis maka langkah yang dapat diambil adalah beralih ke sumber energi terbarukan yang dapat meminimalisir permasalahan yang ada. Sumber energi terbarukan sendiri memiliki beberapa jenis yaitu tenaga surya, air, dan angin. Yang dimana yang akan dibahas lebih lanjut pada jenis angin yang dinilai cukup potensial jika dikembangkan di Indonesia. Untuk dapat menghasilkan energi listrik yang berasal dari angin maka diperlukan juga Wind Turbine yang digunakan sebagai alat penunjang. Pengembangan Wind Turbine masih sangat perlu dilakukan karena Wind Turbine sendiri perlu disesuaikan dengan keadaan penempatan dan kondisi tempat yang hendak menggunakan Wind Turbine. Selain itu untuk melakukan pengujian Wind Turbine sendiri cukup sulit karena bergantung pada keadaan alam yang tidak menentu dan posisi dari penempatan Wind Turbine itu sendiri. Untuk itu Wind Tunnel dapat digunakan untuk menunjang penelitian dan pengembangan dari Wind Turbine. Wind Tunnel sendiri memiliki beberapa jenis yang disesuaikan dengan keperluan dan kebutuhan yang diinginkan. Pada pembahasan kali ini, Wind Tunnel yang dibahas adalah tipe Subsonic yang dimana memiliki Mach Number < 1 . Dengan menggunakan Wind Tunnel sendiri diharapkan penelitian dan proses analisis dari Wind Turbine dapat terbantu dan dapat lebih mudah ditemukan hal-hal apa saja yang perlu dilakukan pengembangan. Sebagai penunjang perancangan Wind Tunnel juga digunakan Software Solidworks yang dapat digunakan untuk sebagai penunjang pada proses perancangan Wind Tunnel yang diinginkan, karena dapat juga digunakan untuk melakukan simulasi.

Kata kunci: Energi Terbarukan, Wind Turbine, Wind Tunnel.

Abstract

As the supply of natural resources related to petroleum is dwindling, the step that can be taken is to switch to renewable energy sources that can minimize existing problems. Renewable energy sources themselves have several types, namely solar, water, and wind power. Which will be discussed further on the type of wind that is considered quite potential if developed in Indonesia. To be able to produce electrical energy from the wind, a Wind Turbine is also needed which is used as a supporting tool. The development of the Wind Turbine is still very necessary because the Wind Turbine itself needs to be adjusted to the conditions of placement and the conditions of the place that wants to use the Wind Turbine. In addition, to test the Wind Turbine itself is quite difficult because it depends on the uncertain natural conditions and the position of the placement of the Wind Turbine itself. For this reason, the Wind Tunnel can be used to support the research and development of the Wind Turbine. Wind Tunnel itself has several types that are tailored to the desired needs and needs. In this discussion, the Wind Tunnel discussed is a Subsonic type which has a Mach Number < 1 . By using the Wind Tunnel itself, it is hoped that the research and analysis process of the Wind Turbine can be helped and it can be easier to find what things need to be developed. As a support for Wind Tunnel design, Solidworks software is also used which can be used to support the desired Wind Tunnel design process, because it can also be used to simulate.

Keywords: Renewable Energy, Wind Turbine, Wind Tunnel.

1. Pendahuluan

Pemanasan global yang terus meningkat dan berkurangnya ketersediaan bahan bakar fosil menjadi salah satu masalah yang cukup serius untuk masa sekarang dan untuk masa yang akan datang kedepannya. Seiringnya perkembangan zaman yang cukup pesat, perkembangan teknologi juga berkembang dengan cukup pesat dan cepat yang membutuhkan beberapa sumber daya alam dan

memberikan dampak untuk lingkungan yang ada. Penggunaan bahan bakar fosil sebagai tenaga listrik adalah salah satu masalah global. Hal ini dibuktikan dengan tingkat pertumbuhan konsumsi bahan bakar fosil untuk tenaga listrik yang lebih cepat dibandingkan pertumbuhan populasi dunia [1].

Bahan bakar fosil ini banyak digunakan oleh industri-industri besar yang membutuhkan sumber energi yang besar juga, tetapi sumber energi yang

digunakan sendiri semakin lama semakin menipis dan semakin terbatas. Pemerintah Indonesia sendiri sudah mulai melihat permasalahan ini dan merencanakan Pengolahan Energi Nasional (RUEN) yang dimana didalamnya membahas mengenai peningkatan kontribusi Energi Baru Terbarukan (EBT) yang direncanakan akan mencapai 23% pada tahun 2025 dan mencapai 31% pada tahun 2050 [2].

Energi terbarukan sendiri dapat memanfaatkan beberapa vektor yaitu dengan memanfaatkan panas matahari dengan menggunakan panel surya, memanfaatkan angin dengan menggunakan Turbin Angin, dan dapat dengan memanfaatkan aliran air dengan menggunakan turbin air. Indonesia diperkirakan mempunyai potensi energi angin yang dapat membangkitkan listrik sebesar 9300 MW. Namun, dapat dikatakan bahwa penggunaan energi angin di Indonesia tergolong lambat. Hingga tahun 2020 PLTB baru terpasang sekitar 135 MW, dimana semuanya berada di provinsi sulawesi selatan yaitu 75 MW di daerah Sidrap dan sebesar 60 MW di daerah Janeponto. Sehingga pemanfaatan energi angin di Indonesia masih menjadi tantangan nasional [2]. Dengan demikian untuk potensi pemanfaatan energi angin di Indonesia bisa dibilang memiliki potensi yang cukup menjanjikan jika kedepannya akan digunakan menjadi salah satu sumber energi terbarukan yang digunakan.

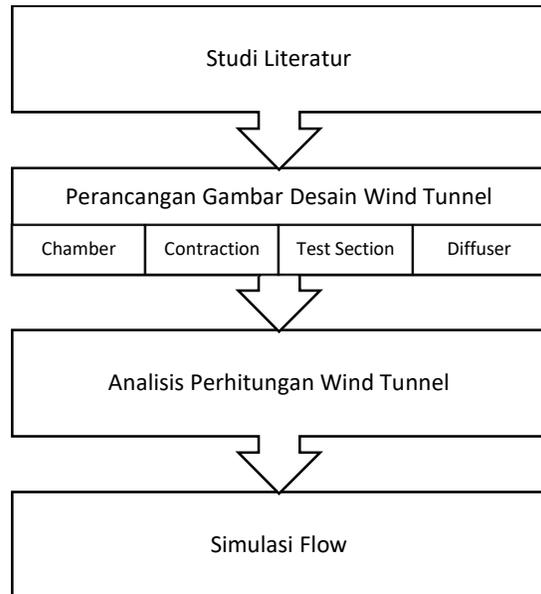
Untuk penggunaan energi angin sendiri tentunya membutuhkan Turbin Angin yang digunakan sebagai alat yang digunakan untuk dapat melakukan konversi energi angin menjadi energi listrik yang dapat digunakan. Untuk menghasilkan Turbin Angin yang sesuai dengan kebutuhan dan dapat digunakan untuk penerapan dilapang, diperlukan proses analisis dan penelitian untuk bentuk, jenis dan ragam variasi yang diterapkan pada Turbin Angin agar menghasilkan Turbin Angin yang dapat dengan nyata digunakan dan diterapkan. Untuk pengujian Turbin Angin sendiri cukup sulit karena sangat bergantung dari intensitas kecepatan angin yang dimana kecepatan angin tidak menentu dan karena tidak dapat mendapatkan kecepatan angin yang konstan, pengujian Turbin Angin juga biasanya tidak akan maksimal. Untuk itu agar dapat membantu dan mendukung proses pengujian terhadap Turbin Angin dapat memanfaatkan *Wind Tunnel* sebagai alat bantu untuk pengujian sifat aerodinamika Turbin Angin yang ingin diuji. *Wind Tunnel* sendiri banyak digunakan untuk pengujian sifat aerodinamika pada aspek penting dikehidupan, seperti pengujian pesawat terbang, mobil, dan sebagainya [3].

Kajian ini bertujuan untuk melakukan perancangan *Wind Tunnel* yang akan dimanfaatkan untuk menguji performansi Turbin Angin atau *Wind Turbine*. *Wind Turbine* yang akan ditinjau untuk diuji oleh *Wind Tunnel* merupakan *Wind Turbine* yang terdapat pada kajian sebelumnya [1], [4]–[6].

Dengan penggunaan *Wind Tunnel* sebagai media pengujian, pengujian terhadap suatu *Wind Turbine* akan lebih mudah untuk mendapatkan data-data hasil yang diinginkan seperti performansi dari *Wind Turbine* terhadap kecepatan tertentu yang diterapkan pada *Wind Tunnel*.

2. Metode

Tata kerja kajian yang telah dilakukan dapat dilihat pada **Error! Reference source not found.**



Gambar 1. Flowchart Metodologi Kajian

Berdasarkan *flowchart* yang telah dijabarkan, adapun tata kerja kajian yang dilakukan:

1. Studi Literatur
Melakukan studi literatur dengan mencari beberapa referensi terkait *Wind Tunnel*.
2. Perancangan Gambar *Wind Tunnel*
Melakukan penggambaran desain dari *Wind Tunnel*, termasuk bagian penting seperti: *chamber*, *contraction*, *test section*, dan *diffuser*
3. Analisis Perhitungan *Wind Tunnel*
Melakukan perhitungan dan analisis untuk mendapatkan sepsfikasi dari setiap bagian dari *Wind Tunnel*.
4. Simulasi Flow
Melakukan simulasi flow pada perangkat lunak *Solidworks* untuk mendapatkan gambaran aliran udara yang ada pada *Wind Tunnel*

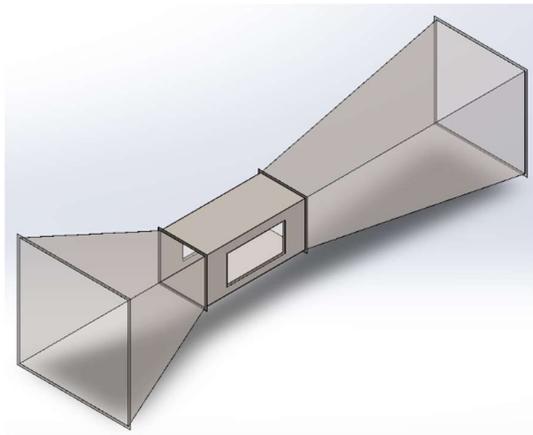
3. Hasil dan Pembahasan

Wind Tunnel merupakan alat yang digunakan untuk mem- bantu melakukan riset dan kajian terhadap suatu objek tertentu. *Wind Tunnel* pertama dibangun oleh Frank H. Wenham pada tahun 1871 yang

merupakan anggota *Aeronautical Society Great Brain*. *Wind Tunnel* sendiri biasa digunakan untuk menguji karakteristik Aerodinamis suatu objek. Kegunaan *Wind Tunnel* sendiri yaitu untuk dapat menjadi media pengujian dan penelitian dalam bidang aerodinamika, yang dapat menghasilkan udara dengan kecepatan aliran konstan dan seragam dengan tingkat turbulensi yang rendah [7].

Wind Tunnel banyak diterapkan pada pengujian beberapa aspek penting yang sering kita temui sehari-hari, contohnya adalah sifat aerodinamis dari suatu pesawat, mobil, bangunan atau pun object tertentu yang ingin diteliti. Dengan menggunakan *Wind Tunnel* sendiri, dapat membantu pekerjaan dan proses penelitian mengenai sifat aerodinamis dan dapat melihat tekanan udara pada suatu *Object* yang sedang diteliti. *Wind Tunnel* memiliki beberapa komponen penyusun yaitu *Contraction/Nozzle*, *Settling Chamber*, *Test Section*, dan *Diffuser*.

Hasil perancangan awal *Wind Tunnel* secara keseluruhan diperlihatkan oleh **Error! Reference source not found.**



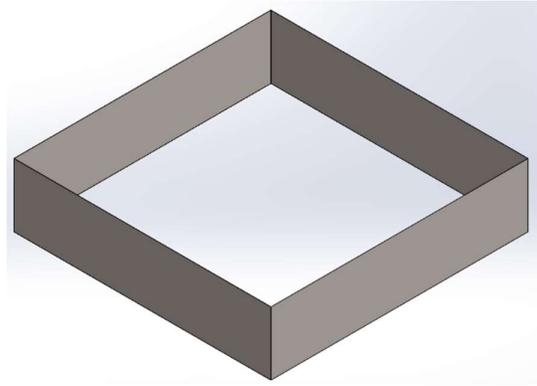
Gambar 2. Desain Keseluruhan *Wind Tunnel*

Settling Chamber

Settling Chamber merupakan bagian yang digunakan untuk menyesuaikan aliran udara agar, aliran udara yang masuk kedalam *Test Section* memiliki turbulensi yang minim.

Bagian ini terdapat pada bagian paling awal pada *Wind Tunnel* dan selain itu pada *Settling Chamber* juga terdapat *Honeycomb* dan jala yang digunakan untuk membantu meluruskan udara yang masuk sehingga memiliki turbulensi yang rendah [8].

Hasil perancangan awal *Wind Tunnel* bagian *settling chamber* diperlihatkan oleh **Error! Reference source not found.**

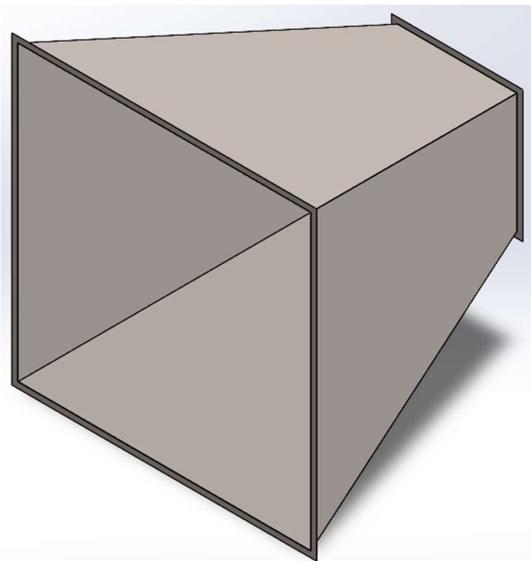


Gambar 3. Desain *Settling Chamber*

Contraction/Nozzle

Contraction/Nozzle merupakan bagian yang digunakan untuk mempercepat aliran udara yang masuk kedalam *Test Section*, selain itu bagian ini juga berguna untuk mengurangi turbulensi udara yang masuk kedalam *Test Section* [9]. Pada bagian ini, seperti pada bagian sebelumnya, diterapkan *Settling Chamber* sebagai ruang pertama yang akan dilalui oleh aliran angin yang dihasilkan dari *Fan* yang digunakan.

Hasil perancangan awal *Wind Tunnel* bagian *contraction* diperlihatkan oleh **Error! Reference source not found.**



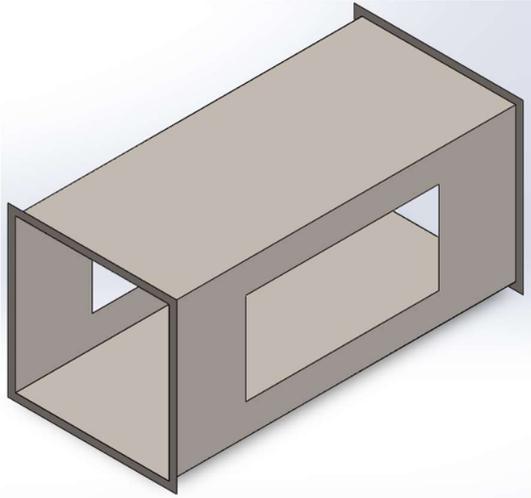
Gambar 4. Desain *Contraction*

Test Section

Test Section merupakan bagian dimana model uji atau dalam kasus ini adalah Turbin Angin ditempatkan dan dilakukan pengujian [9].

Pada bagian ini *Object* yang akan dilakukan pengujian akan diletakkan dan dilakukan pengukuran untuk sifat aerodinamis dari data tekanan udara yang

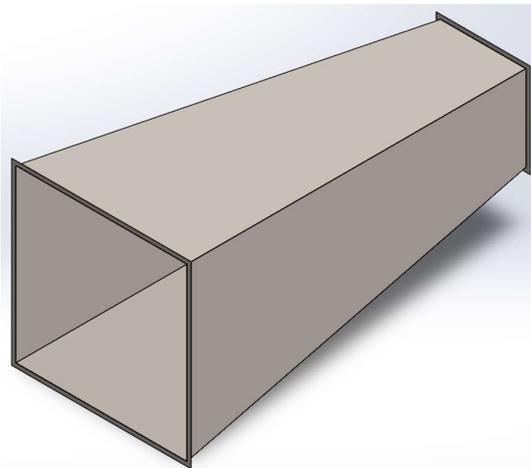
terjadi pada bagian tertentu yang diamati. Pada umumnya tekanan udara paling besar akan terbentuk pada bagian *Test Section* ini karena merupakan bagian inti dari suatu *Wind Tunnel*. Hasil perancangan awal *Wind Tunnel* bagian *test section* diperlihatkan oleh **Error! Reference source not found.**



Gambar 5. Desain *Test Section*

Diffuser

Diffuser merupakan bagian yang berfungsi untuk pen- gendalian udara pada *Test Section* agar tidak terjadi pelepasan aliran/*flow detachment*, selain itu *Diffuser* digunakan untuk *recovery* tekanan statik untuk meningkatkan efisiensi pada *Wind Tunnel* [9]. Hasil perancangan awal *Wind Tunnel* bagian *test section* diperlihatkan oleh **Error! Reference source not found.**



Gambar 6. Desain *Diffuser*

Secara keseluruhan mekanisme kerja pada *Wind Tunnel* berfokus kepada motor penggerak pada *Exhaust Fan* yang berputar yang terhubung dengan baling-baling untuk menghisap udara dari lingkungan ke dalam *Wind Tunnel*.

Putaran *Exhaust Fan* menyebabkan aliran udara dengan kecepatan tertentu mengalir melalui *Wind Tunnel* namun aliran udara yang dihasilkan *exhaust fan* belum laminar, kemudian aliran udara tersebut masuk ke dalam *Contraction* melalui *honeycomb* lalu aliran udara menjadi laminar.

Setelah melewati *contraction* maka kecepatan aliran udara perlahan meningkat, maka aliran udara tersebut masuk kedalam *test section*, dan setelah melewati *Test Section* maka kecepatan aliran meningkat. Setelah melewati *Test Section*, aliran udara masuk kedalam diffuser, dan setelah melewati *diffuser* kecepatan aliran udara perlahan menurun. Kemudian aliran udara tersebut terbuang ke lingkungan.

Analisis Perhitungan *Wind Tunnel*

Analisis perhitungan yang dilakukan untuk mendapatkan spesifikasi, terutama dimensi dari setiap bagian dari *Wind Tunnel*. Perlu diketahui bahwa, *Wind Tunnel* dirancang untuk mengakomodasi wind turbine yang telah dibuat pada [1]. Oleh karena itu, semua perhitungan mengacu kepada dimensi yang ada pada kajian tersebut.

Settling Chamber

Settling chamber dibuat sedemikian rupa menyesuaikan *wind turbine* dari [1] dengan masing-masing sisi sebesar 2,8284 m. Sehingga menghasilkan:

$$\text{Luas } A = \text{sisi } A \times \text{sisi } A \quad (1)$$

$$\text{Luas } A = 2,8284 \times 2,8284 = 7,9998 \text{ m}^2$$

$D = 0,1$ m, merupakan diameter dari honeycomb yang digunakan

$$F_c = 6 - 8 \text{ (dipilih } 7)$$

$$\text{Panjang} = 0,7 \text{ m}$$

Sisi *Contraction*

Sisi *contraction* pada bagian dengan ukuran luas lebih besar menghasilkan:

$$C_a = A \times 6 = 6 \text{ m}^2$$

$$H = \sqrt{6} = 2,4495 \text{ m}$$

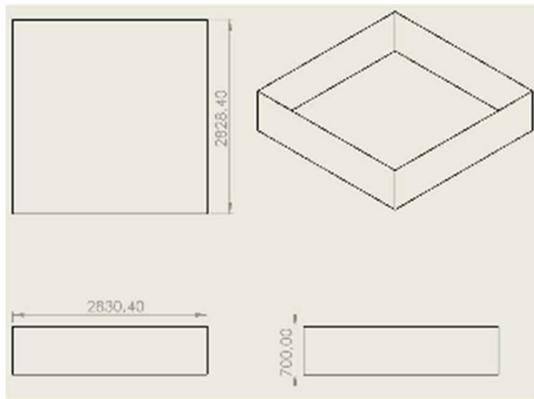
Panjang *Contraction*

Panjang *contraction* dibuat sedemikian rupa menyesuaikan *wind turbine* dari [1] sehingga

menghasilkan panjang dari perhitungan geometri sederhana:

$$Ln = 2 \times \frac{1}{2} \times 2,4495 \times 1 = 2,4495 \text{ m}$$

Perhitungan sudah disesuaikan untuk ukuran dan koefisien yang diterapkan pada perhitungan ukuran *Wind Tunnel* contohnya untuk F_c sebagai range pada ukuran *honeycomb* dipilih 7 sebagai range tengah yang digunakan untuk penentuan ukuran. Penampang dari perancangan awal *Wind Tunnel* bagian *contraction* diperlihatkan oleh **Error! Reference source not found..**



Gambar 7. Penampang Desain *Contraction*

Sisi *Test Section*

Luas sisi *Test Section* dapat dihitung dengan persamaan geometri sederhana sebagai berikut:

$$A = 1 \text{ m} \times 1 \text{ m} = 1 \text{ m}^2$$

Panjang *Test Section*

$$A = \pi \frac{Dh^2}{4} \quad (2)$$

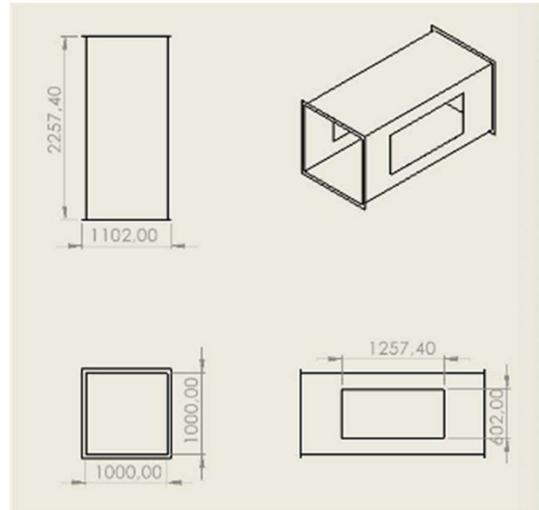
$$Dh^2 = \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}} \quad (3)$$

Perhitungan luas dari test section dihitung menggunakan persamaan (2) yang diturunkan menjadi persamaan (3), sehingga menghasilkan:

$$Dh = 1,1287 \text{ m}$$

$$Ls = 2 \times 1,1287 = 2,2574 \text{ m}$$

Penampang dari perancangan awal *Wind Tunnel* bagian *test section* diperlihatkan oleh **Error! Reference source not found..**



Gambar 8. Penampang Desain *Test Section*

Fan Area (F_a)

Luas *Fan Area* (F_a) dengan dapat dihitung dengan persamaan geometri sederhana sebagai berikut:

$$F_a = A \times 2 = 1 \times 2 = 2 \text{ m}^2$$

$$F_a = \frac{\pi}{4} Df^2 \quad (4)$$

Perhitungan dari fan area dihitung menggunakan persamaan (4) sehingga menghasilkan:

$$Df = 1,5962 \text{ m} = 63 \text{ inch}$$

$$Ar = 2 \times Df = 2 \times 1,5962 = 3,1924 \text{ m}$$

Luas Penampang Kecil Diffuser

$$A = 1 \text{ m} \times 1 \text{ m} = 1 \text{ m}^2$$

Luas Penampang Besar Diffuser

$$A = 2 \text{ m} \times 2 \text{ m} = 4 \text{ m}^2$$

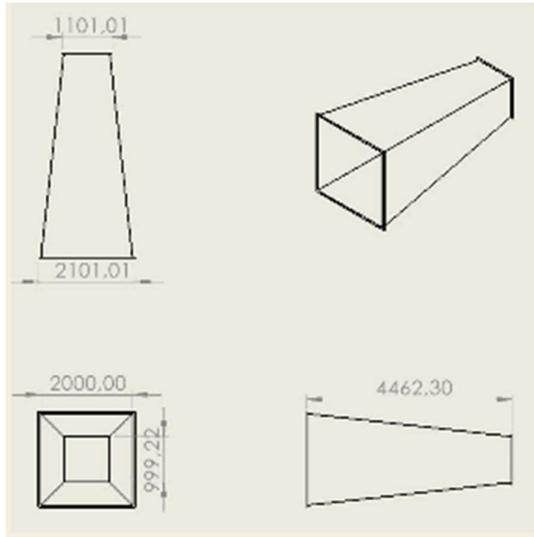
Panjang Diffuser

Panjang dari *diffuser* dihitung dengan menggunakan persamaan (5) berikut.

$$Ld = R1 \left(\frac{Ar^{1/2} - 1}{\tan \theta} \right) \quad (5)$$

$$Ld = 4,4623 \text{ m}$$

Penampang dari perancangan awal *Wind Tunnel* bagian *diffuser* diperlihatkan oleh **Error! Reference source not found..**



Gambar 9. Penampang Desain Diffuser

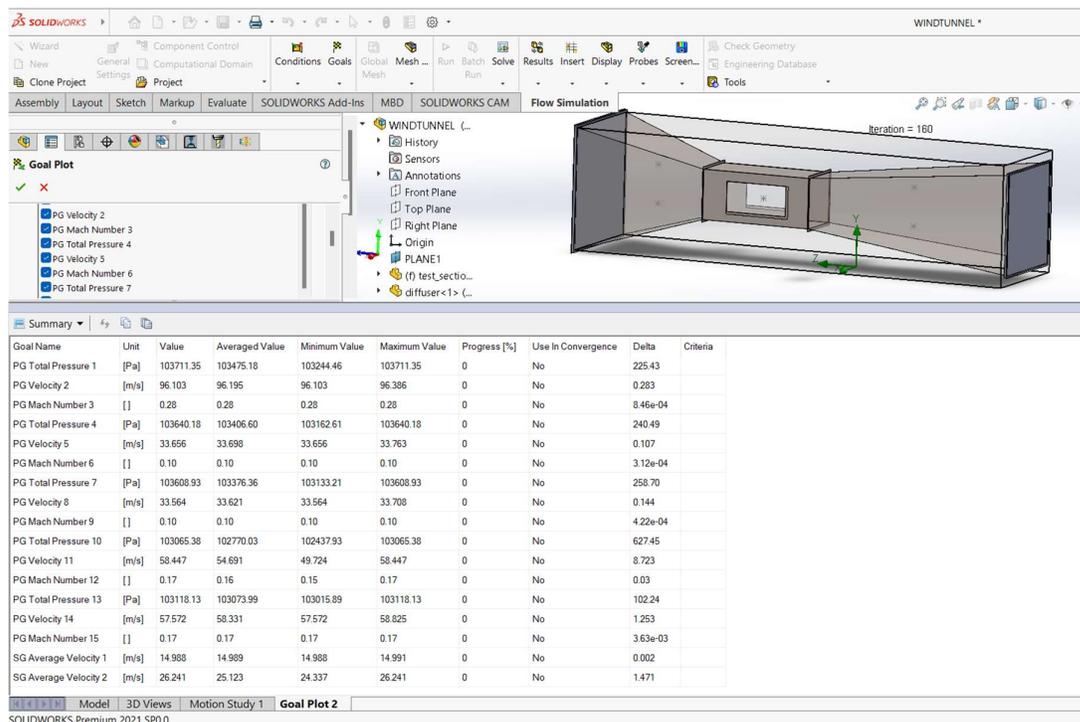
Simulasi

Simulasi menggunakan *Software Solidworks*. *Solidworks* merupakan *Software* yang digunakan untuk melakukan proses *Design* suatu bentuk atau *part* yang berhubungan dengan *Engineering*. Selain untuk melakukan pembentukan *Design* yang dapat berupa 2D dan 3D, *Solidworks* juga dapat memiliki fitur untuk melakukan simulasi tertentu. Pada kajian ini, fitur simulasi *Flow Simulation* dimanfaatkan untuk melakukan simulasi pada *Solidworks Flow Simulation* [10].

Simulasi dapat dilakukan dengan memilih pada bagian *Solidworks add-ins* lalu dapat memilih pada bagian *Solidworks setting Flow Simulation* dan setelah itu dapat melakukan awal pada bagian wizard untuk memilih satuan yang digunakan dan dapat memilih pada bagian SI dan setelah itu dapat menentukan bagian mana yang hendak dilakukan simulasi apakah bagian dalam ataupun bagian luar dari *Object*. Setelah itu selanjutnya dapat melakukan pemilihan simulasi apa saja yang hendak dilakukan atau dipilih.

Pada kajian ini, untuk melakukan simulasi *Wind Tunnel*, langkah awal yang dilakukan adalah dengan melakukan *assembly* terlebih dahulu untuk *part-part* yang sudah ada. Setelah itu, dilakukan pengaturan pada bagian *Boundary Condition*. Kemudian, dilakukan pengaturan untuk peletakan *Point* yang akan digunakan untuk analisis dan pengambilan data, dimana untuk *point* itu sendiri diletakkan pada bagian *Contraction*, *Test section*, dan *Diffuser*. Hal ini dibutuhkan untuk memantau hasil pembacaan hasil simulasi pada titik-titik tersebut.

Langkah selanjutnya adalah melakukan pengaturan untuk *Point Goals* yang digunakan untuk pengaturan hal apa saja yang akan ditampilkan datanya ketika sudah dijalankan proses simulasi. Setelah itu simulasi dapat dijalankan dan menampilkan hasil-hasil nilai yang terbaca oleh *Software*. Jika ingin menampilkan gambaran aliran udara yang ada dapat dengan menggunakan *Flow Trajectories*.



Gambar 10. Data Hasil Simulasi

Hasil simulasi pertama yang diperlihatkan oleh **Error! Reference source not found.** menunjukkan bahwa titik-titik yang sudah ditentukan terdapat 5 titik yang dimana 2 titik terletak pada bagian *Contraction*, 1 titik pada bagian *Test Section*, dan 2 titik pada *Diffuser*. Dapat terlihat pada hasil pembacaan yang ada dimana didapatkan nilai kecepatan, tekanan, dan *Mach number*.

Pada hasil data yang terbaca terdapat 3 bagian utama pada *Wind Tunnel* yang terbaca yaitu pada bagian *Contraction* kecepatan yang terbaca adalah 33,7 m/s dan 33,6 m/s untuk kecepatan, untuk pada bagian *Test Section* kecepatannya terbaca pada angka 96,1 m/s, untuk bagian *Diffuser* terbaca pada angka 58,3 m/s dan 54,7 m/s.

Dengan asumsi pengaturan awal *speed* awal yang diberikan pada sisi *Contraction* adalah 15 m/s sehingga dapat terlihat jika dilakukan perbandingan antara *speed* aliran udara yang masuk dan pada

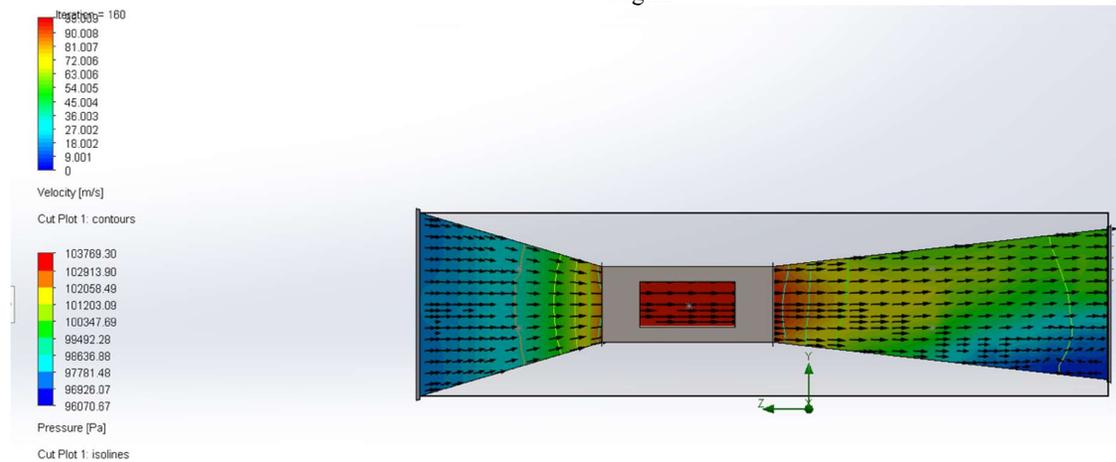
bagian-bagian tertentu yaitu jika dibandingkan aliran udara masuk dengan aliran udara pada *Contraction* 9/20 dan sebagai perbandingan dengan bagian *Test Section* mendapat angka perbandingan 5/32 dan dengan bagian *Diffuser* mendapat angka perbandingan 5/19,3.

Rasio untuk kecepatan aliran udara yang terdapat pada setiap bagian *Wind Tunnel* diperlihatkan oleh Tabel 1.

Tabel 1. Rasio kecepatan aliran udara *Wind Tunnel*

<i>Contraction</i>	<i>Test Section</i>	<i>Diffuser</i>
1 : 2,22	1 : 6,4	1 : 3,86

Sehingga, untuk menghasilkan kecepatan angin tertentu pada *Wind Tunnel* tidak perlu tenaga yang besar karena dengan *Input* yang cukup kecil dapat menghasilkan nilai tertentu yang cukup besar pada bagian uji.



Gambar 11. Simulasi Aliran Udara pada *Wind Tunnel*

Error! Reference source not found. menunjukan aliran udara yang terjadi pada *Wind Tunnel*. Terlihat bahwa terdapat kecepatan dan tekanan yang terbaca oleh hasil simulasi. Parameter tekanan memiliki rentang nilai 103100 - 103700 Pa dan untuk *Mach Number* terbaca pada range 0,1 - 0,3.

Dengan nilai *Mach Number* yang didapat maka jenis *Wind Tunnel* pada rancangan ini termasuk dalam tipe Subsonic berdasarkan klasifikasi yang terdapat pada [11]. *Wind Tunnel* Subsonic sendiri memiliki *Mach number* 0,3 < ataupun 1 < (lebih kecil dibandingkan 0,3 dan lebih kecil dibandingkan 1).

Kecepatan aliran di *Wind Tunnel* subsonic rendah dengan kisaran angka Mach dari nol sampai 0,3. Gaya viskos dan inersia dominan sedangkan efek kompresibilitas dapat diabaikan. [12]

Adapun perhitungan daya yang dibutuhkan oleh *Wind Tunnel* untuk menentukan spesifikasi motor

yang dibutuhkan oleh *Wind Tunnel* berdasarkan perancangan awal yang telah disajikan.

Daya yang dibutuhkan dihitung dengan menggunakan persamaan (6).

$$P_{total} = \frac{1}{2} \rho A_o V^3 (1 + K_{total}) \quad (6)$$

$$P_{total} = \frac{1}{2} \times 1,176 \times 1 \times 20^3 (1 + 0,4814)$$

$$P_{total} = 13937,01 = 14 \text{ kW}$$

4. Kesimpulan

Berdasarkan kajian yang dilakukan mengenai perancangan awal *Wind Tunnel*, dapat disimpulkan:

- Untuk perbandingan nilai input dan pada bagian-bagian inti dari *Wind Tunnel* mendapatkan nilai perbandingan 9/20, 5/32, dan 5/19,3.

- Untuk Hasil *Mach Number* yang terbaca pada simulasi <1 maka dapat disimpulkan tipe *Wind Tunnel* yang didesign adalah tipe subsonic
- Dengan ukuran yang telah dirancang maka *Wind Tunnel* ini dapat digunakan untuk melakukan pengujian menggunakan *Wind Turbine* pada kajian acuan [1], [4]–[6].

Daftar Pustaka

- [1] M. Trisakti, “Studi Performansi dan Implementasi Nyata Turbin Angin Savonius,” Universitas Katolik Parahyangan, 2020.
- [2] R. A. Saputra, C. Gede, I. Partha, and I. W. Sukerayasa, “Energi Angin Exhaust Fan Turbin Angin Sumbu Horizontal Dengan Pengarah Angin (Wind Tunnel),” *J. SPEKTRUM*, vol. 8, no. 2, pp. 229–237, 2021.
- [3] I. M. Idris, “Rancang Bangun Terowongan Angin (Wind Tunnel) Tipe Subsonic Dengan Test Section 0,2 X 0,2 M Untuk Alat Peraga Mekanika Fluida,” *Mechonversio Mech. Eng. J.*, vol. 2, no. 2, p. 19, 2019, doi: 10.51804/mmej.v2i2.614.
- [4] M. Trisakti, L. Halim, and B. M. Arthaya, “Power Coefficient Analysis of Savionus Wind Turbine Using CFD Analysis,” *Proc. 2019 Int. Conf. Mechatronics, Robot. Syst. Eng. MoRSE 2019*, no. December, pp. 24–29, 2019, doi: 10.1109/MoRSE48060.2019.8998703.
- [5] B. Arthaya, L. Halim, and M. Trisakti, “Implementation of Single-Level, Fixed Rotation Multilevel, and Independent Rotation Multilevel Savonius Wind Turbine,” *Int. J. Eng. Appl. Sci. Technol.*, vol. 5, no. 6, pp. 1–7, 2020, doi: 10.33564/ijeast.2020.v05i06.001.
- [6] L. Halim, B. Arthaya, and M. Trisakti, “Performance Study Comparison between Single- level and Multilevel Savonius Wind Turbine,” *Int. J. Sciece, Eng. Technol.*, vol. 8, no. 5, 2020.
- [7] P. D. Rey, A. Aziz, D. Hermawan, and M. F. Nurkhozin, “Desain dan Rancang Bangun Alat Uji ‘Open Circuit Wind Tunnel Tipe Subsonic,’” *KOCENIN Ser. Konf.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–11, 2020.
- [8] A. T. G, “Analisis Dan Perhitungan Pada Daya Motor Untuk Terowongan Angin (Wind Tunnel) Tipe Subsonic Dengan Test Section 0,2 X 0,2 M Untuk Alat Peraga Mekanika Fluida Skala Labolatorium,” *Mechonversio Mech. Eng. J.*, vol. 2, no. 2, p. 25, 2019, doi: 10.51804/mmej.v2i2.615.
- [9] N. Yuniarsih and W. Rossbandrio, “Pengembangan Terowongan Angin Kecepatan Rendah (Low Speed Wind Tunnel) Untuk Tujuan Edukatif di Politeknik Negeri Batam,” *J. Integr.*, vol. 7, no. 1, pp. 19–22, 2015.
- [10] Solidworks Corp., “Solve Complex Simulations to Enhance Product Performance.” Dassault Systèmes SolidWorks Corp., Concord, MA, 2021.
- [11] “Types of Wind Tunnels.” <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/tuntype.html> (accessed Aug. 08, 2022).
- [12] N. K. C. YANG, “Design of Wind Tunnel (Fluid Flow Analysis),” UNIVERSITI MALAYSIA PAHANG, 2012.