

**UJI KARAKTERISTIK ALIRAN UDARA PADA TEROWONGAN ANGIN
MENGUNAKAN SUDU 5 BILAH
DENGAN SUMBER PUTARAN MESIN LISTRIK 150 WATT**

Rizki Purqon Wahyudin¹, Ratna Yuniar Halim Bakar², Yanti³, Anes Inda Rabbika⁴

^{1,2,4}Teknik Mesin, STT YBS Internasional

³Teknik Mekatronika, Fakultas teknik, STT YBS Internasional

¹rwahyudin131@gmail.com, ³yanti.aiiasenja@gmail.com

Abstract

Wind tunnels are very important equipment for research on aerodynamics, including the characteristics of air or gas when passing through certain objects. In the wind tunnel, the main component of producing air is the blade. The blade is used to generate the wind needed for wind tunnel testing. The blades can also determine variations in wind speed. The analysis of the variables carried out is to find the air velocity which then the results will be processed to find the flow rate, flow rate, thrust, pressure. Then the characteristics or air flow will be searched which is expressed in Reynolds number. The outline of the research implementation of air flow characteristics testing in a wind tunnel using a 5 blade blade with a 150 watt electric engine rotation source is carried out in 4 stages, namely: literature review, material selection method, blade installation method, testing method. The smallest value was obtained in the first test, the air velocity value was 0.76 m/s, the flow rate was 0.09 m³/s, the mass flow rate or flux was 0.11 kg/s, the thrust was 0.08 N, a pressure of 0.63 N/m² and a Reynolds number of 2.013245 x 10⁴. While the peak condition is in the eighth test, the air velocity value is 9.03 m/s, the flow rate is 1.13 m³/s, the mass flow rate or flux is 1.36 kg/s, the thrust is 12.28 N, pressure of 97.77 N/m² and Reynolds number of 2,3920529 x 10⁵. By looking at these data, it can be concluded that all flow patterns in the wind tunnel from the first test to the last test are focused on the Reynolds number 10⁴ < Re < 10⁶, which is turbulent depending on the Reynolds number.

Keywords: Blade, Reynolds number, Wind Tunnel,

Abstrak

Terowongan angin merupakan peralatan yang sangat penting untuk penelitian tentang aerodinamika antara lain tentang karakteristik udara atau gas ketika melewati objek tertentu. Pada terowongan angin terdapat komponen utama penghasil udara yaitu sudu. Sudu berfungsi untuk menghasilkan angin yang dibutuhkan untuk pengujian terowongan angin. Sudu juga dapat menentukan variasi kecepatan angin. Analisis variabel yang dilakukan adalah mencari kecepatan udara yang kemudian hasilnya akan diolah untuk mencari debit aliran, laju aliran, gaya dorong, tekanan. Kemudian akan dicari karakteristik atau aliran udara yang dinyatakan dalam bilangan *reynold*. Garis besar pelaksanaan penelitian uji karakteristik aliran udara pada terowongan angin menggunakan sudu 5 bilah dengan sumber putaran mesin listrik 150 watt dilakukan dalam 4 tahapan yaitu: kajian literatur, metode pemilihan bahan, metode pemasangan sudu, metode pengujian. Adapun nilai terkecil didapat pada pengujian pertama didapat nilai kecepatan udara sebesar 0,76 m/s, debit aliran sebesar 0,09 m³/s, laju aliran massa atau *fluks* sebesar 0,11 kg/s, gaya dorong sebesar 0,08 N, tekanan sebesar 0,63 N/m² dan bilangan *reynolds* sebesar 2,013245 x 10⁴. Sedangkan kondisi puncaknya berada pada pengujian kedelapan didapat nilai kecepatan udara sebesar 9,03 m/s, debit aliran sebesar 1,13 m³/s, laju aliran massa atau *fluks* sebesar 1,36 kg/s, gaya dorong sebesar 12,28 N, tekanan sebesar 97,77 N/m² dan bilangan *reynolds* sebesar 2,3920529 x 10⁵. Dengan melihat data tersebut, dapat disimpulkan bahwa semua pola aliran pada terowongan angin mulai dari pengujian pertama sampai pengujian terakhir tertuju pada bilangan *reynolds* 10⁴ < Re < 10⁶ yaitu bergolak agak bergantung pada bilangan *reynolds*.

Kata Kunci: bilangan *reynolds*, Sudu, Terowongan Angin

1. Pendahuluan

Seiring berkembangnya teknologi dan ilmu pengetahuan khususnya pada bidang aerodinamik. Aerodinamika diambil dari kata *Aero* dan *Dinamika* yang bisa diartikan udara dan perubahan gerak dan bisa juga ditarik sebuah pengertian yaitu suatu perubahan gerak dari suatu benda akibat dari hambatan udara ketika benda tersebut melaju dengan kencang[1].

Dalam dunia aerodinamik dikenal sebuah media uji yang disebut terowongan angin (*wind tunnel*) yang berfungsi untuk membantu proses analisis besaran aerodinamik yang dialami suatu benda[2].

Terowongan angin merupakan peralatan yang sangat penting untuk penelitian tentang karakteristik udara atau gas ketika melewati objek tertentu[3]. Terowongan angin biasanya digunakan untuk mensimulasikan sebuah aliran udara terhadap suatu benda kerja. Terowongan angin digunakan untuk mensimulasikan keadaan sebenarnya pada suatu benda yang berada dalam pengaruh gaya-gaya aerodinamika dalam bidang *aeronautika* serta menganalisis kinerja mekanika terbang dari suatu benda terbang[4].

Pada penelitian kali ini, proses pengujian akan dilakukan menggunakan 2 alat uji yaitu *tachometer* dan *anemometer*. Alat uji yang pertama adalah *tachometer*. *Tachometer* merupakan alat untuk mengukur putaran mesin, khususnya jumlah putaran yang dilakukan sebuah poros dalam satu satuan waktu. *Tachometer* nantinya akan menampilkan pengukuran putaran per-menit (RPM). Alat uji yang kedua adalah *anemometer*. *Anemometer* adalah sebuah perangkat yang digunakan untuk mengukur kecepatan angin dan untuk mengukur arah, *anemometer* merupakan salah satu instrumen yang sering digunakan oleh balai cuaca seperti Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG)[5].

Di laboratorium STT YBS Internasional Tasikmalaya terdapat 1 unit terowongan angin sebagai alat uji aerodinamik. Alat ini sebelumnya telah dibuat oleh mahasiswa Teknik Mesin STT YBS Internasional Tasikmalaya sebagai bahan penelitian dan merupakan salah satu hasil karya skripsi.

Perubahan jumlah bilah sudu sangat berpengaruh terhadap aliran udara yang dihasilkan

dikarenakan sudu merupakan bagian utama penghasil udara pada terowongan angin. Sudu sangat berpengaruh dalam pengujian aerodinamis suatu objek. Sudu memiliki fungsi yang sangat penting, berfungsi untuk menghasilkan angin yang dibutuhkan untuk pengujian terowongan angin. Sudu juga dapat menentukan variasi kecepatan angin. Dari uraian tersebut maka penelitian ini bertujuan untuk menguji karakteristik aliran udara pada terowongan angin menggunakan sudu 5 bilah dengan sumber putaran mesin listrik 150 watt.

2. Kajian Pustaka

2.1 Terowongan Angin (*Wind Tunnel*)

Terowongan angin pertama kali dibuat pada tahun 1871 oleh *Frank H Wenham* dan *Jhon Browning* dari Inggris, berdasarkan keinginan untuk simulasi penerbangan dalam atmosfer[6].

Terowongan angin merupakan alat yang berguna untuk menyelidiki berbagai fenomena aliran udara, di mana pada saat suatu benda bergerak relatif terhadap udara maka akan terbentuk medan aliran di dalam dan di luar benda itu. Terowongan Angin ini merupakan suatu alat uji untuk mengetahui kondisi suatu aliran fluida yang mengalir melewati suatu objek. Objek yang ingin dipelajari dapat berupa miniatur pesawat terbang, pesawat ulang alik, mobil dan sebagainya. Di mana terowongan ini berfungsi menghasilkan aliran udara dengan kecepatan yang seragam dengan tingkat turbulensi serendah mungkin pada saat aliran mencapai *test section*[7].

Terowongan angin (*Wind Tunnel*) adalah peralatan yang dapat digunakan untuk melakukan investigasi sifat-sifat aerodinamik dari suatu benda dengan mengalirkan udara yang mempunyai kecepatan terkontrol pada benda tersebut[8]. Terowongan angin atau *wind tunnel* sering digunakan sebagai pendukung pengujian dalam bidang aerodinamik dimana untuk mencapai hasil yang diinginkan maka diperlukan alat ukur.

Prinsip dasar yang digunakan pada terowongan angin adalah aplikasi volume kendali yang dinyatakan dengan persamaan *bernoulli*. Dalam persamaan *bernoulli*, fluida yang mengalir pada suatu lorong dapat dianalisis kecepatannya, debit, tekanan, fluks massa dan gaya yang dihasilkan[9].

2.2 Komponen Penggerak Penghasil Aliran Udara Pada Terowongan Angin

1. Motor Listrik

Motor listrik adalah alat untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Begitu juga dengan sebaliknya yaitu alat untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik yang biasanya disebut dengan generator atau dinamo[9]. Poros motor listrik akan dihubungkan ke adaptor sudu yang akan langsung dihubungkan ke sudu agar sudu dapat berputar dan menghasilkan udara.



Gambar 1. Motor Listrik

2. Sudu

Sudu adalah bagian utama penghasil udara. Untuk dapat menggerakkan sudu maka dibutuhkan suatu penggerak sudu. Sudu dihubungkan dengan poros motor penggerak supaya sudu dapat berputar dan menghasilkan udara.



Gambar 2. Sudu

Sudu memiliki fungsi yang sangat penting, berfungsi untuk menghasilkan udara yang dibutuhkan untuk pengujian terowongan angin. Sudu dapat menentukan variasi kecepatan angin. Perubahan jumlah bilah sudu pada terowongan angin sangat berpengaruh terhadap karakteristik udara sehingga perubahan ini dapat menghasilkan data baru yang dapat dikembangkan. Jumlah sudu sebanyak lima buah menghasilkan efisiensi lebih tinggi dibandingkan dengan jumlah sudu sebanyak tiga buah [10].

2.3 Karakteristik Aliran Udara

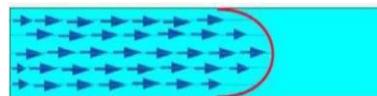
Fluida merupakan zat yang merujuk kepada zat cair dan gas yang dapat mengalir secara terus menerus. *Fluida* yang mengalir dalam suatu ruang yang terbatas akan memiliki karakteristik aliran udara. Karakteristik aliran udara dapat diketahui

dengan bilangan *reynold*. Karakteristik aliran udara terbagi menjadi beberapa klasifikasi, yaitu:

A. Aliran Laminar

Aliran laminar adalah aliran *fluida* yang bergerak dengan kondisi lapisan-lapisan (lamina-lamina) membentuk garis-garis alir yang tidak berpotongan satu sama lain. Alirannya relatif mempunyai kecepatan rendah dan *fluida*-nya bergerak sejajar & mempunyai batasan-batasan yang berisi aliran *fluida*. Aliran laminar mempunyai ciri-ciri sebagai berikut:

- Fluida* bergerak mengikuti garis lurus
- Kecepatan *fluida*-nya rendah
- Viskositasnya tinggi
- Lintasan gerak *fluida* teratur antara satu dengan yang lain



Gambar 3. Aliran Laminar[11]

Aliran laminar memiliki bilangan *reynolds* yang kurang dari 2300[9].

B. Aliran Turbulen

Aliran turbulen adalah aliran *fluida* yang partikel-partikelnya bergerak secara acak dan tidak stabil dengan kecepatan berfluktuasi yang saling interaksi. Akibat dari hal tersebut garis alir antar partikel *fluida*-nya saling berpotongan. Aliran turbulen mempunyai ciri-ciri sebagai berikut:

- Tidak adanya keteraturan dalam lintasan *fluida*
- Aliran banyak bercampur
- Kecepatan *fluida* tinggi
- Panjang skala aliran besar dan viskositasnya rendah

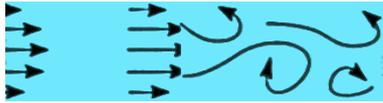


Gambar 4. Aliran Turbulen[11]

Aliran turbulen memiliki bilangan *reynolds* lebih dari 4000[9].

C. Aliran Transisi

Aliran transisi merupakan salah satu aliran-aliran peralihan dari aliran laminar ke aliran yang turbulen. Pada kondisi nyatanya kondisi seperti ini sangat sulit terjadi. Aliran transisi memiliki bilangan *reynolds* antara $2300 > Re > 4000$ [9]



Gambar 5. Aliran Transisi[9]

2.4 Bilangan Reynold

Bilangan *Reynold* adalah bilangan yang tidak mempunyai dimensi, yang menyatakan perbandingan gaya-gaya *inersia* terhadap gaya-gaya kekentalan. *Reynolds* menunjukkan bahwa aliran dapat diklasifikasikan berdasarkan suatu angka tertentu.

Osborne Reynolds yang pertama kali menemukan dan mengklasifikasikan jenis aliran pada *fluida*. Untuk menentukan aliran itu *turbulence* atau laminar harus dicari terlebih dahulu *reynolds number*nya dengan persamaan. Angka *reynolds* mempunyai bentuk berikut:

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan :

Re = bilangan *reynolds*

V = kecepatan aliran udara (m/s)

D = diameter dalam (m)

ν = kekentalan kinematik fluida (m²/s)

Pola aliran bilangan *reynolds* menurut *Osborne Reynolds* dalam penelitiannya yang ditulis dalam buku *Mekanika Fluida* menyatakan bahwa jika:

0 < Re < 1 = Gerak “merayap” berlapis yang sangat kental

1 < Re < 10² = Berlapis, sangat tergantung pada bilangan *reynolds*

10² < Re < 10³ = Berlapis, teori lapisan batas (*boundary layer*) berguna

10³ < Re < 10⁴ = Transisi ke aliran bergolak

10⁴ < Re < 10⁶ = Bergolak, agak tergantung pada bilangan *reynolds*

10⁶ < Re < ∞ = Bergolak, sedikit tergantung pada bilangan *reynolds*

3. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen dengan tahapan-tahapan sebagai berikut.

3.1 Menentukan Kebutuhan Pemasangan Sudu

3.1.1 Mempersiapkan Kebutuhan Alat Dan Bahan Untuk Pemasangan Sudu

Dalam pengujian karakteristik aliran udara pada terowongan angin ini, ada beberapa peralatan dan

bahan yang harus dipersiapkan sebelum melakukan pengujian. Pada pengujian kali ini, peneliti akan menggunakan sudu 5 bilah. Sudu yang akan digunakan pada penelitian kali ini memiliki spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 1. Spesifikasi Sudu

| Sudu Radiator Kijang Super 5K Old/ Kijang Super Lama | | |
|--|-----------------------|------------|
| No | Nama | Keterangan |
| 1 | Bahan Sudu | Plastik |
| 2 | Jumlah Bilah Sudu | 5 Bilah |
| 3 | Diameter Lubang | 2,8 cm |
| 4 | Diameter Tengah | 12 cm |
| 5 | Panjang Kipas | 10,5 cm |
| 6 | Panjang Keseluruhan | 33 cm |
| 7 | Sudut Kemiringan Sudu | 35° |
| 8 | Warna | Putih |
| 9 | Molding | Indonesia |

3.1.2 Proses Penyesuaian Lubang Sudu Dengan Poros Mesin Listrik

Adapun proses penyesuaian ukuran lubang adaptor sudu pada sudu yang akan digunakan dan proses pemasangan sudu ke adaptor sudu tersebut antara lain sebagai berikut:

- Langkah pertama yaitu melakukan penyesuaian ukuran lubang utama dan baut pengunci pada adaptor sudu dengan sudu yang akan digunakan.



Gambar 6. Penyesuaian Ukuran Lubang Sudu Dengan Adaptor Sudu

- Lakukan pengeboran lubang pada sudu yang telah disesuaikan ukuran dan penempatannya tadi dengan adaptor sudu.



Gambar 7. Pengeboran Lubang Sudu

- Pasangkan sudu ke adaptor sudu lalu pasang mur dan baut. Kencangkan menggunakan kunci ring/ pas ukuran 14 mm dengan kencang untuk menghindari sudu terlepas ketika mesin dihidupkan.



Gambar 8. Sudu dan Adaptor Sudu Terpasang

3.1.3 Pemasangan Adaptor Sudu Ke Mesin Listrik

Adapun proses pemasangan tersebut tinggal memasukan lubang pada adaptor sudu ke poros mesin listrik. Pastikan terpasang dengan benar dan kencangkan menggunakan kunci L ukuran 5 mm untuk menghindari hal-hal yang tidak diinginkan.



Gambar 9. Pemasangan Adaptor Sudu Ke Mesin Listrik

3.2 Metode Pengujian Terowongan Angin (Wind Tunnel)

Beberapa hal yang akan dilakukan dalam proses pengujian terowongan angin ini diantaranya:

1. Pengujian akan dilakukan sebanyak 8 kali pengujian. Untuk setiap pengujian terowongan angin akan diambil datanya sebanyak 3 kali yang nantinya hasil tersebut akan dirata-ratakan dan dianggap menjadi data yang valid dari setiap pengujian tersebut.
2. Pengujian dilakukan 8 kali menyesuaikan dengan tingkatan pada variabel resistor yang memiliki 8 tingkatan variasi, mulai dari strip ke-1 sampai ke strip-8.
3. Waktu yang akan digunakan saat pengujian konstan 8 detik.
4. Proses pengujian terowongan angin akan menggunakan alat ukur yaitu *anemometer* dan *tachometer* yang memiliki fungsinya masing-masing. *Anemometer* untuk mengukur kecepatan udara, *tachometer* untuk mengukur putaran sudu.
5. Pengukuran diameter *test section* dilakukan menggunakan meteran yang nantinya data tersebut akan diolah untuk dijadikan sebagai luas penampang.

3.3 Uji Fungsi

Setelah alat dan bahan sistem terowongan angin telah terpasang semua, Tahapan selanjutnya yaitu melakukan uji fungsi alat dan bahan serta alat ukur yang akan digunakan guna untuk mengetahui apakah bekerja sesuai dengan fungsinya atau tidak.

Berikut ini tabel uji fungsi alat dan bahan sistem terowongan angin rangkaian terbuka:

Tabel 2. Uji Fungsi Alat, Bahan dan Alat Ukur

| No | Nama Alat dan Bahan | Uji Fungsi | | Keterangan |
|----|-----------------------------|------------|-------|--|
| | | Berfungsi | Tidak | |
| 1 | Mesin Listrik | ✓ | | Mesin Listrik berfungsi sebagaimana fungsinya. Hanya saja terlalu cepat panas |
| 2 | Variabel Resistor | ✓ | | Variabel Resistor berfungsi sebagaimana fungsinya. Hanya saja ketika tingkat variasinya tinggi, pengambilan data harus dilakukan secepat mungkin dikarenakan takut jebol karena mudah panas |
| 3 | Adaptor Poros Mesin Listrik | ✓ | | Adaptor Poros Mesin Listrik berfungsi sebagaimana fungsinya. Hanya saja materialnya terlalu berat |
| 4 | Sudu | ✓ | | Sudu berfungsi sebagaimana fungsinya. Hanya saja harus dilakukan pembesaran dan penambahan lubang untuk pemasangan adaptor mesin listrik. Ketika pemasangan mur dan baut harus benar benar kencang untuk menghindari hal-hal yang tidak diinginkan |
| 5 | Unit Terowongan Angin | ✓ | | Unit Terowongan Angin berfungsi sebagaimana fungsinya. Hanya perlu penambahan penutup di bagian samping untuk menghindari udara yang masuk dari samping |
| 6 | Anemometer | ✓ | | Anemometer berfungsi sebagaimana fungsinya dengan catatan baterainya masih bagus. |
| 7 | Tachometer | ✓ | | Tachometer berfungsi sebagaimana fungsinya dengan catatan baterainya masih bagus. |

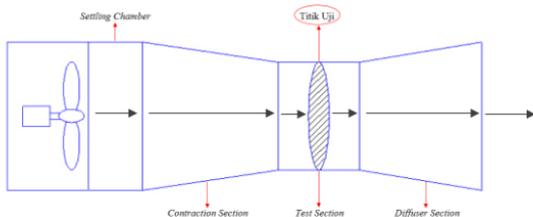
3.4 Proses Pengujian Dan Pengambilan Data

3.4.1 Proses Pengujian

Pengujian Terowongan Angin dilaksanakan di Laboratorium Teknik Mesin STT YBS Internasional Tasikmalaya pada tanggal 28 Juli 2022 sampai dengan tanggal 31 Juli 2022. Pengujian yang dilakukan mencakup pengukuran diameter *test section* pada terowongan angin, putaran sudu, dan kecepatan angin. Proses pengujian dilakukan sebanyak 8 kali dengan variasi pada variabel resistor yang berbeda mulai dari strip ke-1 sampai strip ke-8. Pengujian dilakukan pada suhu ruangan 27°C sampai dengan 28°C dengan waktu konstan.

Proses pengujian terowongan angin dilakukan dengan menggunakan beberapa alat bantu pengujian yaitu *anemometer* dan *tachometer*. Pengujian terowongan angin kali ini akan melalui beberapa tahapan yaitu:

1. Melakukan pengukuran diameter *test section*.
2. Nyalakan mesin listrik dengan memasang steker ke stop kontak dan putar variable resistor sesuai strip atau nomor kecepatan yang diinginkan.
3. Mengukur putaran bilah dengan menggunakan *tachometer*.
4. Melakukan pengukuran kecepatan udara menggunakan *anemometer* di titik *test section* pada terowongan angin.
5. Pengujian dilakukan sebanyak 8 kali dimana setiap 1 kali pengujian akan dilakukan pengambilan data sebanyak 3 kali yang kemudian akan dirata-ratakan dan hasilnya akan dijadikan data yang valid dari setiap pengujian.



Gambar 10. Titik Pengujian Kecepatan Aliran Udara Pada Terowongan Angin

3.4.2 Data Hasil Pelaksanaan Pengujian

Data hasil pengujian terowongan angin yang di dapatkan dapat di lihat pada tabel-tabel berikut:

Tabel 3 Data Hasil Pengujian Yang Sudah Di Rata-Rata

| Pengujian Ke- | Diameter Test Section (cm) | Waktu (s) | n Sudu (rpm) | V Udara (m/s) |
|---------------|----------------------------|-----------|--------------|---------------|
| 1 | 40 | 8 | 695,86 | 0,76 |
| 2 | 40 | 8 | 879 | 2,06 |
| 3 | 40 | 8 | 1026,66 | 3,26 |
| 4 | 40 | 8 | 1376,66 | 5,06 |
| 5 | 40 | 8 | 2079 | 5,86 |
| 6 | 40 | 8 | 2337 | 8,06 |
| 7 | 40 | 8 | 2536,33 | 8,73 |
| 8 | 40 | 8 | 3742,66 | 9,03 |

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Pengolahan Data Hasil Pengujian

Untuk mengetahui kinerja dari terowongan angin menggunakan sudu 5 bilah maka data yang di dapat dari hasil pengujian diolah terlebih dahulu. Adapun data yang telah didapatkan setelah melakukan pengujian sebagai berikut:

Tabel 4. Data Hasil Pengujian

| No | Nama | Pengujian | Nilai |
|----|--|-----------|-------------------------|
| 1 | n Sudu (rpm) | Ke-1 | 695,86 |
| | | Ke-2 | 879 |
| | | Ke-3 | 1026,66 |
| | | Ke-4 | 1376,66 |
| | | Ke-5 | 2079 |
| | | Ke-6 | 2337 |
| | | Ke-7 | 2536,33 |
| | | Ke-8 | 3742,66 |
| 2 | V Udara (m/s) | Ke-1 | 0,76 |
| | | Ke-2 | 2,06 |
| | | Ke-3 | 3,26 |
| | | Ke-4 | 5,06 |
| | | Ke-5 | 5,86 |
| | | Ke-6 | 8,06 |
| | | Ke-7 | 8,73 |
| | | Ke-8 | 9,03 |
| 3 | ρ Udara (kg/m ³) | | 1,2 |
| 4 | ν Kekentalan Kinematik Udara (m ² /s) | | 1,51 x 10 ⁻⁵ |
| 5 | Diameter Test Section (m) | | 0,4 |
| 6 | A/ Luas Penampang (m ²) | | 0,1256 |

Untuk mengetahui luas penampang, peneliti menggunakan rumus luas lingkaran untuk mencari luas penampang tersebut dikarenakan penampangnya berbentuk lingkaran. Berikut adalah cara mencari luas penampangnya:

$$A = \frac{\pi}{4} d^2$$

$$A = \frac{3,14}{4} x (0,4 \text{ m})^2$$

$$A = 0,785 x 0,16$$

$$A = 0,1256 \text{ m}^2$$

Untuk mengetahui nilai viskositas kinematik udara dan massa jenis udara dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 5. Kekentalan dan Kekentalan Kinematik Fluida^[20]

| Fluida | μ , kg (m·s) ⁻¹ | Nisbah μ/ρ (Hz) | ρ , kg m ⁻³ | ν , m ² s ⁻¹ | Nisbah ν (Hg) |
|--------------------|-----------------------------------|---------------------------|--------------------------------|---|----------------------|
| Hidrogen | 8,8 E-6 | 1,0 | 0,084 | 1,05 E-4 | 920 |
| Udara | 1,8 E-5 | 2,1 | 1,20 | 1,51 E-5 | 130 |
| Benzin | 2,9 E-4 | 33 | 680 | 4,22 E-7 | 3,7 |
| Air | 1,0 E-3 | 114 | 998 | 1,01 E-6 | 8,7 |
| Ethanol | 1,2 E-3 | 135 | 789 | 1,52 E-6 | 13 |
| Air-raksa | 1,5 E-3 | 170 | 13.580 | 1,16 E-7 | 1,0 |
| Minyak pelumas SAE | 0,29 | 33.000 | 891 | 3,25 E-4 | 2.850 |
| Gliserin | 1,5 | 170.000 | 1.264 | 1,18 E-3 | 10.300 |

1. Pengolahan Data Hasil Pengujian Ke-1 Dengan Variasi Variabel Resistor Strip 1

a) Debit Aliran Udara

$$Q = V.A$$

$$Q = V \times \frac{\pi}{4} d^2$$

$$Q = 0,76 \text{ m/s} \times \left(\frac{3,14}{4} \times (0,4 \text{ m})^2\right)$$

$$Q = 0,76 \text{ m/s} \times 0,1256 \text{ m}^2$$

$$Q = 0,09 \text{ m}^3/\text{s}$$

b) Fluks

$$\dot{m} = \rho.V.A$$

$$\dot{m} = \rho \times V \times \frac{\pi}{4} d^2$$

$$\dot{m} = 1,2 \text{ kg/m}^3 \times 0,76 \text{ m/s} \times$$

$$\left(\frac{3,14}{4} \times (0,4 \text{ m})^2\right)$$

$$\dot{m} = 1,2 \text{ kg/m}^3 \times 0,76 \text{ m/s} \times 0,1256 \text{ m}^2$$

$$\dot{m} = 0,11 \text{ kg/s}$$

c) Gaya Dorong Fluida

$$F = \dot{m}.V$$

$$F = 0,11 \text{ kg/s} \times 0,76 \text{ m/s}$$

$$F = 0,0836 \text{ kgm/s}^2$$

$$F = 0,08 \text{ N}$$

d) Tekanan Udara

$$P = \frac{F}{A}$$

$$P = \frac{F}{\frac{\pi}{4} d^2}$$

$$P = \frac{F}{\left(\frac{3,14}{4} \times (0,4 \text{ m})^2\right)}$$

$$P = \frac{0,08 \text{ N}}{0,1256 \text{ m}^2}$$

$$P = 0,63 \text{ N/m}^2$$

Berikut ini hasil pengujian dan pengolahan data uji karakteristik aliran udara pada terowongan angin mulai dari pengujian ke-1 dengan variasi variabel resistor strip ke-1 sampai pengujian ke-8

dengan variasi variabel resistor strip ke-8 dapat di lihat pada tabel berikut:

Tabel 6. Hasil Pengolahan Data

| Pengujian Ke- | n Sudu (rpm) | V Udara (m/s) | ρ Udara (kg/m ³) | ν (m ² /s) | A Test Section (m ²) | Debit Aliran (m ³ /s) | Fluks (kg/s) | Gaya Dorong (N) | Tekanan Udara (N/m ²) |
|---------------|--------------|---------------|-----------------------------------|---------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------|-----------------|-----------------------------------|
| 1 | 695,86 | 0,76 | 1,2 | 1,51 x 10 ⁻⁵ | 0,1256 | 0,09 | 0,11 | 0,08 | 0,63 |
| 2 | 879 | 2,06 | 1,2 | 1,51 x 10 ⁻⁵ | 0,1256 | 0,25 | 0,31 | 0,63 | 5,01 |
| 3 | 1026,66 | 3,26 | 1,2 | 1,51 x 10 ⁻⁵ | 0,1256 | 0,40 | 0,49 | 1,59 | 12,65 |
| 4 | 1376,66 | 5,06 | 1,2 | 1,51 x 10 ⁻⁵ | 0,1256 | 0,63 | 0,76 | 3,84 | 30,57 |
| 5 | 2079 | 5,86 | 1,2 | 1,51 x 10 ⁻⁵ | 0,1256 | 0,73 | 0,88 | 5,15 | 41,00 |
| 6 | 2337 | 8,06 | 1,2 | 1,51 x 10 ⁻⁵ | 0,1256 | 1,01 | 1,21 | 9,75 | 77,62 |
| 7 | 2536,33 | 8,73 | 1,2 | 1,51 x 10 ⁻⁵ | 0,1256 | 1,09 | 1,31 | 11,43 | 91,00 |
| 8 | 3742,66 | 9,03 | 1,2 | 1,51 x 10 ⁻⁵ | 0,1256 | 1,13 | 1,36 | 12,28 | 97,77 |

4.2 Menentukan Bilangan Reynolds

Diketahui bahwa :

1. Kecepatan udara diambil dari masing-masing variasi pada variabel resistor mulai dari kecepatan udara pada variasi variabel resistor strip ke-1 sampai strip ke-8
2. Diameter di ambil dari diameter *test section* dikarenakan pada pengujian ini yang akan dicari jenis aliran pada titik tersebut.
3. Untuk nilai viskositas kinematik *fluida* dapat dilihat pada tabel kekentalan dan kekentalan kinematik fluida diatas.

Untuk nilai kekentalan kinematik *fluida* diambil dari buku *Frank M White Mekanika Fluida* yaitu $1,51 \times 10^{-5}$.

Menentukan Bilangan Reynolds Pada Pengujian ke-1

$$Re = \frac{VD}{\nu}$$

$$Re = \frac{0,76 \times 0,4}{1,51 \times 10^{-5}}$$

$$Re = 20132,45$$

Berikut ini tabel hasil perhitungan bilangan *reynolds* dari variasi variabel resistor strip ke-1 sampai strip ke-8 pada pengujian terowongan angin rangkaian terbuka:

Tabel 7. Tabel Hasil Perhitungan Bilangan *Reynolds*

| Pengujian | Bilangan <i>Reynolds</i> | Re |
|-----------|--------------------------|-------------------------|
| Ke-1 | 20132,45 | $2,013245 \times 10^4$ |
| Ke-2 | 54569,53 | $5,456953 \times 10^4$ |
| Ke-3 | 86357,61 | $8,635761 \times 10^4$ |
| Ke-4 | 134039,73 | $1,3403973 \times 10^5$ |
| Ke-5 | 155231,78 | $1,5523178 \times 10^5$ |
| Ke-6 | 213509,93 | $2,1350993 \times 10^5$ |
| Ke-7 | 231258,27 | $2,3125827 \times 10^5$ |
| Ke-8 | 239205,29 | $2,3920529 \times 10^5$ |

Dalam penelitian ini akan dilihat nilai dari bilangan *reynolds* yang telah diketahui akan masuk dalam kriteria aliran yang mana saja. Pola aliran bilangan *reynolds* menurut *Osborne Reynolds* dalam penelitiannya yang ditulis dalam buku *Mekanika Fluida* menyatakan bahwa jika:

$0 < Re < 1$ = Gerak “merayap” berlapis yang sangat kental

$1 < Re < 10^2$ = Berlapis, sangat tergantung pada bilangan *reynolds*

$10^2 < Re < 10^3$ = Berlapis, teori lapisan batas (*boundary layer*) berguna

$10^3 < Re < 10^4$ = Transisi ke aliran bergolak

$10^4 < Re < 10^6$ = Bergolak, agak tergantung pada bilangan *reynolds*

$10^6 < Re < \infty$ = Bergolak, sedikit tergantung pada bilangan *reynolds*

Jika melihat hasil penelitian dari *Osborne Reynolds* diatas yang menjelaskan tentang pola aliran yang dilihat dari nilai bilangan *reynolds* itu sendiri, maka dalam penelitian ini akan diketahui pada variasi variabel resistor dari strip ke-1 sampai strip ke-8 masuk ke dalam jenis aliran mana saja.

Berikut ini tabel penjelasan tentang jenis aliran hasil perhitungan bilangan *reynolds* dari variasi variabel resistor strip ke-1 sampai strip ke-8 pada pengujian terowongan angin rangkaian terbuka:

Tabel 8. Jenis Aliran Hasil Pengujian Terowongan

| No | Variabel Resistor | Nilai Bilangan <i>Reynolds</i> | Re | Jenis Aliran |
|----|-------------------|--------------------------------|-------------------------|---|
| 1 | Strip Ke-1 | 20132,45 | $2,013245 \times 10^4$ | Bergolak, agak tergantung pada bilangan <i>Reynolds</i> |
| 2 | Strip Ke-2 | 54569,53 | $5,456953 \times 10^4$ | Bergolak, agak tergantung pada bilangan <i>Reynolds</i> |
| 3 | Strip Ke-3 | 86357,61 | $8,635761 \times 10^4$ | Bergolak, agak tergantung pada bilangan <i>Reynolds</i> |
| 4 | Strip Ke-4 | 134039,73 | $1,3403973 \times 10^5$ | Bergolak, agak tergantung pada bilangan <i>Reynolds</i> |
| 5 | Strip Ke-5 | 155231,78 | $1,5523178 \times 10^5$ | Bergolak, agak tergantung pada bilangan <i>Reynolds</i> |
| 6 | Strip Ke-6 | 213509,93 | $2,1350993 \times 10^5$ | Bergolak, agak tergantung pada bilangan <i>Reynolds</i> |
| 7 | Strip Ke-7 | 231258,27 | $2,3125827 \times 10^5$ | Bergolak, agak tergantung pada bilangan <i>Reynolds</i> |
| 8 | Strip Ke-8 | 239205,29 | $2,3920529 \times 10^5$ | Bergolak, agak tergantung pada bilangan <i>Reynolds</i> |

4.3 Analisis Karakteristik Aliran Udara

Melihat data di atas hasil dari perhitungan bilangan *reynolds*, dapat dilihat bahwa semua pola aliran pada terowongan angin mulai dari pengujian pertama sampai pengujian terakhir tertuju pada bilangan *reynolds* $10^4 < Re < 10^6$ yaitu bergolak agak bergantung pada bilangan *reynolds*. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semua aliran udara dari pengujian ke-1 sampai ke-8 termasuk aliran bergolak/ turbulen. Dari hasil perhitungan bilangan *reynolds* dari perhitungan ke-1 sampai ke-8, aliran udara masih bergerak secara acak yang artinya aliran udara tidak stabil atau tidak bergerak laminar. Hal ini dipengaruhi oleh kecepatan udara dan diameter lorong terowongan angin serta tidak adanya *screen* dan *honeycomb* yang berfungsi untuk mengurangi turbulensi dan mengatur aliran udara sehingga sangat berpengaruh terhadap karakteristik aliran udara yang dihasilkan.

5. Simpulan

Berdasarkan hasil dari proses pengujian dan pengolahan data yang telah dilakukan dalam “Uji Karakteristik Aliran Udara Pada Terowongan Angin Menggunakan Sudu 5 Bilah Dengan Sumber Putaran Mesin Listrik 150 Watt”. Berikut ini merupakan kesimpulan yang diambil oleh penulis dari hasil pengujian dan pengolahan data yang telah dilakukan yaitu sebagai berikut:

1. Pada pengujian kali ini, setelah dilakukan pengujian pada terowongan angin tepatnya pada bagian test section didapat beberapa variabel-variabel aliran udara pada pengujian terowongan angin dimana variabel tersebut meliputi kecepatan alir udara, debit, laju aliran udara, gaya dorong dan tekanan udara. Adapun nilai awal yang didapat merupakan nilai terkecil yaitu pada pengujian pertama dengan variasi variabel resistor strip ke-1 didapat nilai kecepatan udara sebesar 0,76 m/s, debit aliran sebesar 0,09 m³/s, laju aliran massa atau *fluks* sebesar 0,11 kg/s, gaya dorong sebesar 0,08 N, tekanan sebesar 0,63 N/m². Sedangkan kondisi puncaknya berada pada pengujian kedelapan dengan variasi variabel resistor tertinggi yaitu strip ke-8 didapat nilai kecepatan udara sebesar 9,03 m/s, debit aliran sebesar 1,13 m³/s, laju aliran massa atau *fluks* sebesar 1,36 kg/s, gaya

dorong sebesar 12,28 N, dan tekanan sebesar 97,77 N/m². Melihat data hasil pengujian dan pengolahan data tersebut, dapat disimpulkan bahwa pada pengujian kecepatan angin, setiap pengujian mengalami kenaikan kecepatan dikarenakan variasi variabel resistor yang berbeda mulai dari variasi strip ke-1 sampai strip ke-8. Hasil pengujian kecepatan angin tersebut sangat berpengaruh terhadap pengolahan data yang akan dicari seperti debit aliran, laju aliran/ *fluks*, Gaya dorong dan tekanan, sehingga hasil pengolahan datanya pun semakin naik dari pengolahan data pengujian ke-1 sampai ke-8.

2. Mengetahui karakteristik aliran udara dalam uji karakteristik aliran udara pada terowongan angin menggunakan sudu 5 bilah dengan sumber putaran mesin listrik 150 watt. Analisis pola aliran dari 8 kali pengujian, hasilnya kemudian diolah menggunakan persamaan bilangan *reynolds*. Adapun nilai awal yang didapat merupakan nilai terkecil yaitu pada pengujian pertama dengan variasi variabel resistor strip ke-1 didapat nilai bilangan *reynolds* sebesar $2,013245 \times 10^4$. Sedangkan kondisi puncaknya berada pada pengujian kedelapan dengan variasi variabel resistor tertinggi yaitu strip ke-8 didapat nilai bilangan *reynolds* $2,3920529 \times 10^5$. Dengan melihat data tersebut, dapat disimpulkan bahwa semua pola aliran pada terowongan angin mulai dari pengujian pertama sampai pengujian terakhir tertuju pada bilangan *reynolds* $10^4 < Re < 10^6$ yaitu bergolak agak bergantung pada bilangan *reynolds*. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semua aliran udara dari pengujian ke-1 sampai ke-8 termasuk aliran bergolak/ turbulen. Dari hasil perhitungan bilangan *reynolds* dari perhitungan ke-1 sampai ke-8, aliran udara masih bergerak secara acak yang artinya aliran udara tidak stabil atau tidak bergerak laminar seperti yang diinginkan. Sehingga masih harus dilakukan penelitian lebih lanjut agar dapat menghasilkan karakteristik aliran udara yang laminar atau lurus.

Daftar Pustaka

- [1]. A. Ruswanditya, *Aerodinamika*. <https://www.academia.edu/9356349/AERODINAMIKA>. (23 Juni 2022).
- [2]. Agni, Mahesa, dkk. 2015. Analisis Kinerja Terowongan Angin Subsonik Dengan Menggunakan Contraction Cone Polinomial Orde 5. *Jurnal E-Proceedings of Engineering*. Vol 2 No 3.
- [3]. Handayani, S. Utami, 2014. Pengembangan dan Analisa Keseragaman Aliran Terowongan Angin Tipe Terbuka Sebagai Sarana Pengujian Aerodinamika. *Prosiding PNES II*.
- [4]. Risnawan, Novan, dkk. 2018. *Pengukuran Kualitas Kecepatan Angin Pada Terowongan Angin di ILST BBT3*. *Journal of Aero Technology*. Vol 02 No 01.
- [5]. Akbar, M. Nugraha. 2019. *Rancang Bangun Alat Pendeteksi Kecepatan Dan Arah Angin Menggunakan Sensor Ultrasonic*. *Proyek Akhir*. Surabaya. Politeknik Elektronika Negeri Surabaya.
- [6]. Saputra, S. Fajar dan S. Agustian. 2018. *Analisa Pengaruh Putaran Blade Dan Arah Sudut Serang Terhadap Koefisien Drag Dan Lift Pada Model Prototipe Airfoil Naca 0012 Dengan Menggunakan Alat Uji Wind Tunnel Open Circuit Untuk Sarana Laboratorium Fluida*. *Publikasi Online Mahasiswa Teknik Mesin UNTAG Surabaya*. Vol 1 No 1.
- [7]. Riyadi, A. Agus. 2010. *Pembuatan Dan Pengujian Terowongan Angin Kecepatan Rendah Tipe Terbuka (Open Circuit Low Speed Wind Tunnel)*. Skripsi. Bandar Lampung. Universitas Lampung.
- [8]. Ismail, dkk. 2017. *Pengembangan Terowongan Angin Rangkaian Terbuka Dengan Sistem Piv (Particle Image*

- Velocimetry*). Laporan Akhir Tahun. Jakarta. Universitas Pancasila.
- [9]. Auliya, D. Febio. 2021. Uji Karakteristik Aliran Udara Pada Terowongan Angin Dengan Kapasitas Motor Listrik 150 Watt. Skripsi. Tasikmalaya. STT YBS Internasional.
- [10]. F. Aryanto, I M. Mara, M. Nuarsa. 2013. Pengaruh Kecepatan Angin Dan Variasi Jumlah Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Poros Horizontal. *Dinamika Teknik Mesin*, Volume 3 No. 1.
- [11]. Irawan, R. Mukhlis. 2016. Simulasi CFD Aliran Bubble Air-Udara Searah Pada Pipa Horisontal. Tugas Akhir. Yogyakarta. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.