

Analisa Perancangan Smoke Tunnel Portable Sebagai Alat Visualisasi Airflow Wind Tunnel

***Amat Chaeroni, Agus Sugiharto**

Prodi Teknik Aeronautika, Fakultas Teknologi Kedirgantaraan, Universitas Suryadarma
Komplek Bandara Halim Perdanakusuma, Jakarta 13610, Indonesia

*Corresponding Author : achaeroni@unsurya.ac.id

Abstract - Cara memahami tentang benda-benda yang bergerak didalam aliran udara ada banyak sekali macamnya, seperti alat uji terowongan angin (wind tunnel). Agar dapat terlihat aliran udaranya, maka perlu dibuat alat peraga simulasi aerodinamika yang mampu memvisualisasikan kondisi airflow atau aliran udara dengan menggunakan asap, sehingga praktikan mampu memahami dengan mudah kondisi aliran udara yang terjadi ketika melewati benda dengan berbagai macam bentuk permukaan seperti penampang airfoil. Alat peraga simulasi wind tunnel dengan menggunakan asap dinamakan smoke tunnel. Akses untuk merubah posisi benda yang diuji didalam test section smoke tunnel sangat penting agar dapat dilakukan perubahan posisi selama proses pengujian. Dari beberapa jenis bentuk nozzle (cerobong asap) yang diuji, didapat bentuk yang paling ideal yaitu bentuk cerobong asap yang lurus dengan diameter kecil yaitu $\varnothing 4$ mm berjumlah 19 buah disusun dari bawah keatas dengan jarak antar cerobong asap 10 mm. Posisinya berada di tengah ke arah benda uji searah dengan aliran udara. Ukuran chamber sebagai test section adalah 40 cm x 24 cm x 8 cm. Ukuran smoke tunnel secara keseluruhan adalah 65 cm x 24 cm x 8 cm, dimensi tersebut termasuk ukuran yang kecil sehingga bisa di kategorikan sebagai alat yang portable dan dapat di operasikan dimanapun termasuk didalam kelas sebagai alat peraga simulasi ilmu aerodinamika.

Keywords : Aerodinamika, simulasi, alat peraga, airflow, wind tunnel, smoke generator, smoke tunnel.

I. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Ada banyak cara memahami Ilmu aerodinamika yang mempelajari tentang pergerakan udara dan benda-benda yang bergerak didalam pergerakan udara tersebut. Tempat praktek yang dapat mensimulasikan aliran udara serta benda yang bergerak didalam aliran udara tersebut adalah laboratorium aerodinamika, yang memiliki alat yang disebut *wind tunnel*.

Agar bisa mendapatkan visualisasi aliran udara didalam *chamber wind tunnel*, maka diperlukam tambahan berupa asap yang berasal dari *smoke generator*, kemudian asapnya dimasukkan kedalam *chamber wind tunnel* dengan menggunakan cerobong asap. Cerobong asap yang dimasukkan kedalam *chamber wind tunnel* disusun berjajar dari atas hingga ke bawah, ketika asap yang keluar dari susunan cerobong asap tadi di sedot oleh kipas maka akan terbentuk garis asap yang menggambarkan aliran udara *laminar*. Alat semacam ini kemudian dikenal sebagai *smoke tunnel*. Diharapkan dengan pembuatan alat peraga *smoke tunnel* ini dapat membantu para paktikan di laboratorium *wind tunnel* menjadi lebih mudah memahami aliran udara *turbulance* dan aliran udara *laminar* ketika melewati benda dengan bentuk *airfoil* atau yang lainnya.

1.2. Rumusan Masalah

Pada penelitian ini yang menjadi rumusan masalah adalah:

1. Bagaimana konfigurasi *smoke tunnel* ini agar bisa dibuat secara *portable*?
2. Bagaimana menentukan bentuk dan ukuran pipa serta diameter cerobong asap dari *smoke generator* yang masuk kedalam *smoke tunnel* agar dapat mengalir secara *laminar*?

3. Bagaimana cara penempatan benda uji kedalam *smoke tunnel* dan dapat diubah sudut serangnya dengan mudah ketika ujicoba sedang berlangsung?

1.3. Batasan Masalah

Agar lebih fokus dalam pencapaian target penelitian, maka ada beberapa batasan masalah yang dilakukan, antara lain.

1. Menentukan konfigurasi *smoke tunnel* yang tepat agar bisa dibuat secara sederhana dengan menggunakan bahan baku yang mudah di dapat.
2. Memastikan bentuk dan ukuran pipa serta diameter cerobong asap dari *smoke generator* yang dimasukkan kedalam *smoke tunnel* agar dapat mengalir secara laminar.
3. Membuat mekanisme perubahan sudut serang benda uji ketika pengujian didalam *smoke tunnel* yang sedang berlangsung.

1.4. Tujuan Penelitian

Yang menjadi tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui konfigurasi *smoke generator* yang lebih sederhana.
2. Mengetahui bentuk dan ukuran pipa yang tepat dari *smoke generator* yang masuk kedalam *smoke tunnel* agar dapat mengalir secara laminar.
3. Mengetahui cara penempatan benda uji kedalam *smoke tunnel* dan dapat diubah sudut serangnya dengan mudah ketika ujicoba sedang berlangsung.

II. Landasan Teori

2.1. Aliran Udara

Aliran udara yang terdapat didalam *chamber / test section wind tunnel* harus disiapkan terlebih dahulu kecepatannya, aliran udara yang diharapkan adalah

aliran yang tidak terlalu cepat ataupun terlalu lambat. Untuk mengetahui besaran aliran udara didalam *chamber / test section wind tunnel* tersebut dapat menggunakan persamaan dibawah ini [1]:

$$Q = V * A \quad (1)$$

Dimana

- Q = Jumlah udara (m³/detik)
- V = Kecepatan udara (m/detik)
- A = Luas penampang (m²).

Setelah diketahui kecepatan udaranya, langkah berikutnya adalah memprediksi jenis aliran udara yang mengalir di dalam *chamber / test section wind tunnel*, hal ini bisa dilakukan dengan menggunakan persamaan bilangan Reynold (Re) [2] yaitu :

$$Re_L = \frac{\rho V L}{\mu} = \frac{V L}{\nu} \quad (2)$$

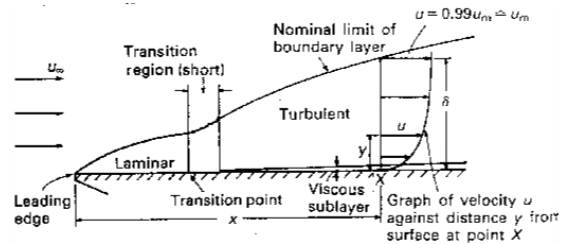
Dimana :

- V = kecepatan rata-rata udara (m/s)
- L = Panjang karakteristik (m)
- μ = dinamika kerapatan udara (Pa)
- ρ = kerapatan udara (kg/m³)
- ν = kerapatan kinematika
(didefinisikan sebagai $\nu = \mu / \rho$)
(m²/s)

Bilangan Reynold atau Reynold number adalah suatu bilangan tanpa dimensi yang menganalisa gaya inersia fluida.

Arti penting dari angka ini adalah untuk membedakan aliran udara dari engine seperti aliran laminar, transisi, atau turbulen dimana:

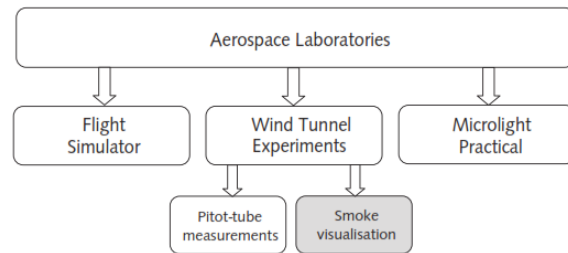
- $Re \leq 2000$ Aliran *Laminar*
- $2000 \leq Re \leq 4000$ Aliran Transisi
- $Re \geq 4000$ Aliran Turbulen



Gambar 2.1. Boundary layer pada permukaan rata [3]

2.2. Smoke Tunnel

Smoke tunnel atau yang dikenal sebagai *smoke visualisation* merupakan bagian dari *wind tunnel experiments*, seperti yang terlihat pada gambar 2.2. dibawah ini :



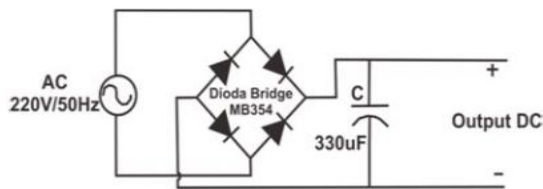
Gambar 2.2. Smoke generator bagian dari peralatan untuk smoke visualisation[4]

Smoke tunnel yang dibuat bisa berupa salah satu dari tipe *wind tunnel*. Ada dua tipe dasar dari *wind tunnel*, yaitu *Open Circuit Tunnel* dan *Closed Circuit Tunnel*. Sedangkan berdasarkan kecepatan udara, *wind tunnel* dibedakan menjadi Subsonic Wind Tunnel ($v < 0,3$ Mach), Transonic Wind Tunnel (0,8 - 1,2 Mach), Supersonic Wind Tunnel ($v > 5$ Mach) [5].

2.3. Smoke Generator

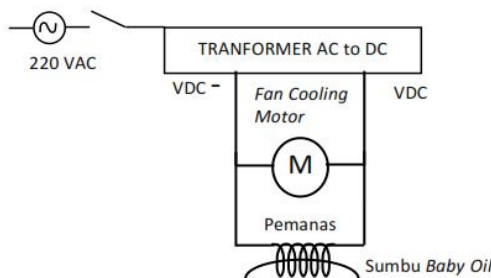
Agar tujuan dari visualisasi aliran udara yang di beri asap terealisasi, maka diperlukan alat sebagai penghasil asap atau *smoke generator*. Alat ini bisa dibuat dengan menggunakan komponen yang dapat menghasilkan panas. Rangkaian eletronik yang dapat menyearahkan dari

VAC ke VDC dapat dilihat pada rangkaian dibawah ini :



Gambar 2.3. Rangkaian penyearah gelombang penuh [6]

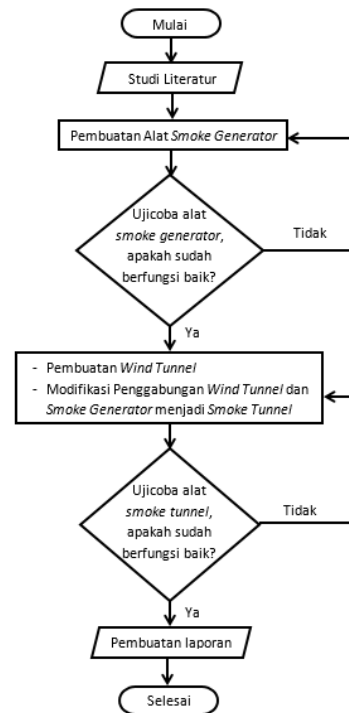
Agar dapat menghasilkan panas pada *smoke generator*, maka perlu dibuat lilitan kawat yang dijadikan sebagai kumparan. Kemudian masing-masing ujung kawat lilitan tersebut diberi arus listrik DC, yang satu kutub positif dan yang satunya lagi kutub negatif.



Gambar 2.4. Diagram *smoke generator*[7]

Sesuai dengan gambar diatas, maka dibagian tengah lilitan kawat bisa diberi sumbu kompor yang berfungsi sebagai penyerap cairan *baby oil*, dan kemudian akan menghasilkan asap secara terus menerus. Lalu bisa dihubungkan ke bagian *test section wind tunnel*.

III. Metode Penelitian



Gambar 3.1. Diagram alir penelitian

Ada beberapa percobaan yang dilakukan yakni *smoke generator* dan bentuk *wind tunnel* yang dimodifikasi menjadi *smoke tunnel*.

IV. Pembahasan

4.1. Pembuatan *Smoke Generator*

Langkah awal pembuatan *smoke tunnel* adalah pembuatan *smoke generator*, alat ini adalah inti dari pembuatan *smoke tunnel*. Beberapa persiapan yang dilakukan antara lain:

A. Persiapan

1. Menyiapkan komponen yang diperlukan seperti konverter dari 220 VAC ke 12 VDC dengan arus sebesar 10 Ampere.
2. Kipas pendingin PC dengan dimensi 8 cm x 8 cm, dengan power yang diperlukan adalah 12 VDC.
3. Kawat nickelin Ø0,2 mm sepanjang 30 cm.

4. Sumbu kompor sepanjang 15 cm.
5. *Baby oil*.
6. Push button switch.
7. Kabel.
8. Corong.
9. Kotak untuk ruang pemanasan cairan *baby oil* dan kotak untuk wadah konverter.

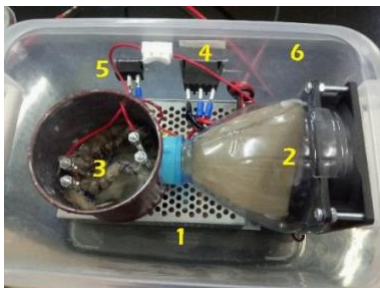
B. Perakitan

Hal yang pertama dilakukan adalah membuat kumparan dari kawat nickelin yang sudah disediakan. Diameter lilitan bisa menggunakan pensil atau pulpen sebagai pembentuk lilitan. Kemudian konverter, kipas PC dan lilitan kawat yang telah dibuat kumparan di rakit seperti pada gambar 4.2.



Gambar 4.1. Sumbu kompor dililit dengan kawat nickelin dan diikat pada tiang penyangga

Sumbu kompor yang sudah dililit kawat nickelin harus selalu basah oleh cairan *baby oil*, agar ketika kawat dipanaskan maka akan menghasilkan asap dari sumbu kompor yang sudah basah oleh cairan *baby oil*.



Gambar 4.2. Rangkaian perakitan *smoke generator*.

Keterangan :

1. *Power Supply converter AC to DC 12V 10 A*
2. *Fan* dengan corong.
3. Ruang bakar *baby oil* dengan sumbu dan kumparan kawat nickelin.
4. *Switch* utama dari power AC.
5. *Switch* untuk kumparan kawat nickelin.
6. Kotak plastik *smoke generator*.

C. Pengujian *smoke generator*.

Setelah dilakukan pengujian, menunjukkan bahwa *smoke generator* yang dibuat dengan mengikuti gambar 4 dapat berfungsi dengan baik dan dapat menghasilkan asap yang cukup banyak.



Gambar 4.3. Pengujian *smoke generator*.

Hasil yang demikian sangat penting karena akan digunakan sebagai visualisasi aliran udara didalam *test section*.

4.2. Pembuatan Cerobong Asap

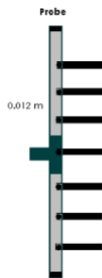
Agar asap yang dihasilkan dari *smoke generator* dapat masuk dan terdistribusi dengan merata didalam *chamber test section*, maka harus dibuat cerobong asap. Bentuk yang pernah dibuat oleh peneliti sebelumnya seperti yang terlihat pada gambar 4.4.



Gambar 4.4. *Smoke Nozzle*
(cerobong asap)

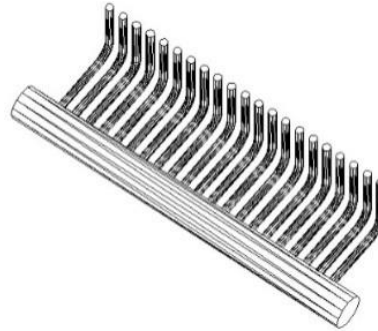
Gambar tersebut terlihat bahwa asap yang keluar dari cerobong asap langsung menyebar sehingga tidak bisa menggambarkan aliran udara didalam *test section*. Berdasarkan saran dari penulis tersebut maka dibuat bentuk cerobong asap dengan dua model yaitu:

1. Dibagian lubang *Probe nozzle* (cerobong asap) tersebut diberi pipa lurus mengarah aliran udara sesuai dengan diameter lubang yang di inginkan



Gambar 4.5. Modifikasi Probe 1

- Jenis cerobong asap ini dibuat dua macam diameternya yaitu $\varnothing 4$ mm dan $\varnothing 5$ mm yang di tempatkan tepat di tengah lebar *test section*.
2. Cerobong asap yang ditempatkan dipinggir dinding *test section* lalu pipa kecil dari masing-masing lubang pipa cerobong asap diarahkan ke tengah dan berbelok karah aliran udara di *test section*. Tujuannya adalah agar mengurangi turbulensi dari cerobong asap.



Gambar 4.6. Modifikasi probe 2

4.2.1. Material Cerobong Asap

Untuk memudahkan proses pembuatan cerobong asap, maka material yang digunakan adalah sebagai berikut:

- a. Untuk bagian *probe* yang menghubungkan cerobong asap dari bagian bawah hingga atas adalah pipa plastik dengan diameter $\varnothing 12$ mm, panjang 220 mm. Bagian bawah atas terbuka karena akan disambung dengan selang ke *smoke generator*. Sedang bagian bawah tertutup rapat.
- b. Material cerobong asap untuk model 1 dan 2 menggunakan *plastic strow* (sedotan plastik).

4.2.2. Proses Pembuatan

Pembuatan cerobong asap dapat dilakukan dengan urutan sebagai berikut:

- a. Bentuk model 1a :
 1. Potong pipa plastik yang sudah disiapkan sebagai probe sesuai dengan ukuran yang ditentukan. Ukur jarak antar lubang sepanjang 10 mm sebanyak 19 titik lubang.
 2. Lubangi salah satu sisi pipa plastik yang sudah ditandai dengan mesin bor berdiameter $\varnothing 4$ mm.
 3. Potong plastic strow (sedotan) dengan panjang 50 mm sebanyak 19 buah.
 4. Tempel sedotan yang sudah di potong tadi pada lubang pipa yang

sudah dilubangi dan rekatkan dengan menggunakan lem bakar.



Gambar 4.7. Cerobong asap type lurus Ø4 mm

5. Tutup rapat salah satu bagian atas pipa probe agar asap tidak bocor keluar.
- b. Bentuk model 1b :
Ukuran dan bentuknya hampir sama seperti model 1a, yang membedakan adalah diameter cerobong asapnya yaitu Ø5 mm.



Gambar 4.8. Cerobong asap type lurus Ø5 mm

- c. Bentuk model 2:
 1. Potong pipa aluminium yang sudah disiapkan sebagai probe sesuai dengan ukuran yang ditentukan. Ukur jarak antar lubang sepanjang 10 mm sebanyak 19 lubang dengan diameter Ø5 mm.
 2. Lubangi salah satu sisi pipa plastik yang sudah ditandai dengan mesin bor berdiameter Ø5 mm.
 3. Potong *plastic strow* (sedotan plastik) *flexible* yang dapat di bengkokkan dengan panjang 50 mm sebelum bagian *flexible* dan 50 mm setelah bagian *flexible* sebanyak 19 buah.
 4. Tempel sedotan yang sudah di potong tadi pada lubang pipa plastik yang sudah dilubangi dan rekatkan dengan menggunakan lem bakar. Lalu bengkokkan semua

sedotan *flexible* tadi membentuk sudut 90°.



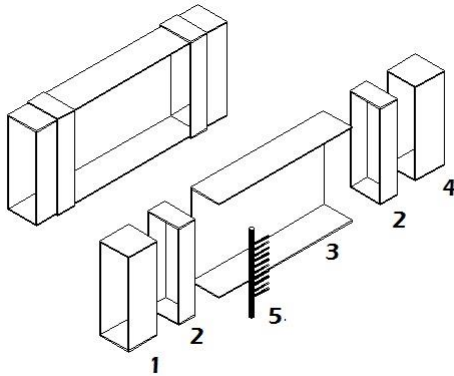
Gambar 4.9. Cerobong asap type siku Ø5 mm

5. Tutup rapat bagian bawah pipa probe cerobong asap agar asap tidak bocor keluar.

4.3. Pembuatan *Smoke Tunnel*

4.3.1. Perancangan *Smoke Tunnel*

Smoke tunnel memang sebelumnya sudah pernah ada yang meneliti dan membuatnya, namun bentuk dan ukurannya masih tergolong besar dan belum praktis. Untuk itu penulis mencoba untuk membuat rancangan yang lebih sederhana dan lebih praktis. Hal mendasar yang harus dipertimbangkan adalah menentukan dimensi *chamber* pada *test section* dan memperhitungkan besarnya kecepatan aliran udara yang diperlukan serta memperkirakan jenis aliran udara dengan menggunakan persamaan Reynold Number. Gambar 4.10. adalah konsep perancangan *smoke tunnel portable*.



Gambar 4.10. Perancangan *smoke tunnel portable*

Keterangan:

1. Kotak *Honeycomb*
2. Kotak Penghubung
3. *Test Section*
4. Kotak *Fan* (Kipas Hisap)
5. *Nozzle* (Cerobong Asap)

a. Kecepatan udara

Ukuran *chamber* pada *test section* adalah 40cm x 24cm x 8cm. Sehingga luas penampangnya adalah 24cm x 8cm = 192 cm². Ukuran *cooling fan* yang digunakan adalah diameter Ø8 cm, sehingga luas penampangnya adalah :

$$\begin{aligned}
 A &= \pi r^2 \\
 &= 3,14 * (4)^2 \\
 &= 3,14 * 16 \\
 &= 50,24 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah *cooling fan* yang digunakan adalah 3 buah, sehingga luas penampang dari keseluruhan fan adalah :

$$\begin{aligned}
 A &= 3 * 50,24 \text{ cm}^2 \\
 &= 150,72 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

Dari hasil pengukuran kecepatan *fan* pada titik benda uji yang digunakan adalah 2,5 m/s, maka debit udara yang mengalir (Q) adalah :

Diketahui,

$$\begin{aligned}
 V &= 2,4 \text{ m/s} \\
 A &= 150,72 \text{ cm}^2 \\
 &= 0,015072 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned}
 Q &= V * A \\
 Q &= 2,4 \text{ m/s} * 0,015072 \text{ m}^2 \\
 &= 0,0362 \text{ m}^3/\text{s}
 \end{aligned}$$

b. Reynold number

Setelah mengetahui perkiraan kecepatan udara yang mengalir didalam *chamber test section*, langkah berikutnya adalah memprediksi jenis aliran udara yang mengalir didalam *chamber test section* dengan menggunakan persamaan:

$$Re_L = \frac{\rho V L}{\mu} = \frac{V L}{\nu}$$

Jika diketahui tanpa honeycomb:

$$\begin{aligned}
 V &= 2,4 \text{ m/s} \\
 L &= 8 \text{ cm} = 0,08 \text{ m} \\
 \mu &= \text{berdasarkan tabel 4.1.}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.1. Viskositas Gas

Name of Gas	$\mu \text{ (cP)} = K \left(\frac{T(^{\circ}\text{C}) + 273}{10,000} \right)^c$		Name of Gas	$\mu \text{ (cP)} = K \left(\frac{T(^{\circ}\text{C}) + 273}{10,000} \right)^c$	
	K	c		K	c
Acetic Acid	0.399	1.114	Freon-113	0.100	0.642
Acetone	0.208	0.935	Helium	0.211	0.685
Acetulene	0.181	0.816	Hexane	0.209	0.997
Air	0.194	0.674	Hydrogen	0.089	0.682
Ammonia	0.353	1.006	3H ₂ + 1N ₂	0.139	0.682
Argon	0.293	0.731	Hydrogen Bromide	0.502	0.949
Benzene	0.250	0.992	Hydrogen Chloride	0.397	0.949
Bromine	0.401	0.935	Hydrogen Cyanide	0.181	0.816
Butene	0.200	0.894	Hydrogen Iodide	0.480	0.921
Butylene	0.208	0.935	Hydrogen Sulfide	0.402	0.977
Carbon Dioxide	0.298	0.854	Iodine	0.354	0.921
Carbon Disulfide	0.421	1.067	Mercury	4.525	1.563
Carbon Monoxide	0.194	0.674	Methane	0.185	0.803
Chlorine	0.354	0.921	Methyl Alcohol	0.324	0.992
Chloroform	0.277	0.935	Nitric Oxide	0.211	0.685
Cyanogen	0.233	0.894	Nitrogen	0.224	0.720
Cyclohexane	0.167	0.894	Nitrosyl Chloride	0.504	1.067
Ethane	0.225	0.907	Nitrous Oxide	0.410	0.949
Ethyl Acetate	0.250	0.992	Oxygen	0.219	0.674
Ethyl Chloride	0.324	0.992	Pentane	0.467	1.230
Ethyl Alcohol	0.210	0.894	Propane	0.153	0.829
Ethyl Ether	0.208	0.935	Propyl Alcohol	0.266	1.006
Ethylene	0.206	0.854	Propylene	0.218	0.921
Flourine	1.453	1.179	Sulfur Dioxide	0.241	0.641
Freon-11	0.139	0.720	Toluene	0.220	0.977
Freon-12	0.129	0.653	2, 3, 3-Trimethyl Butane	0.129	0.854
Freon-21	0.133	0.697	Water	0.422	1.067
Freon-22	0.222	0.779	Xenon	0.513	0.881

$$\begin{aligned}
 \mu &= K \left(\frac{T^0 + 273}{1000} \right)^c \\
 \mu &= 0,194 \left(\frac{25^0 + 273}{1000} \right)^{0,674}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu &= 0,086 \text{ cP} \\ \mu &= 0,000086 \text{ kg/m.s} \\ \rho &= 1,94 \text{ kg/m}^3 \\ v &= \mu / \rho = \frac{0,000086 \text{ kg/m.s}}{1,94 \text{ kg/m}^3} \\ v &= 4,433 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s} \\ \text{Re} &= \frac{VL}{\nu} \\ &= \frac{2,4 \text{ m/s} \times 0,08 \text{ m}}{4,433 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}} \\ &= 4331 \end{aligned}$$

Angka tersebut masuk dalam kategori turbulen.

Jika diketahui dengan honeycomb:

$$\begin{aligned} V &= 2,1 \text{ m/s} \\ L &= 8 \text{ cm} = 0,08 \text{ m} \\ \mu &= \text{berdasarkan tabel 4.1.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu &= K \left(\frac{T^0 + 273}{1000} \right)^c \\ \mu &= 0,194 \left(\frac{25^0 + 273}{1000} \right)^{0,674} \\ \mu &= 0,086 \text{ cP} \\ \mu &= 0,000086 \text{ kg/m.s} \\ \rho &= 1,94 \text{ kg/m}^3 \\ v &= \mu / \rho = \frac{0,000086 \text{ kg/m.s}}{1,94 \text{ kg/m}^3} \\ v &= 4,433 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s} \\ \text{Re} &= \frac{VL}{\nu} \\ &= \frac{2,1 \text{ m/s} \times 0,08 \text{ m}}{4,433 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}} \\ &= 3790 \end{aligned}$$

Angka tersebut masuk dalam kategori transisi dengan 100% rpm fan.

Jika Putaran rpm 70% maka:

$$\begin{aligned} V &= 1,47 \text{ m/s} \\ L &= 8 \text{ cm} = 0,08 \text{ m} \\ \mu &= \text{berdasarkan tabel 4.1.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu &= K \left(\frac{T^0 + 273}{1000} \right)^c \\ \mu &= 0,194 \left(\frac{25^0 + 273}{1000} \right)^{0,674} \\ \mu &= 0,086 \text{ cP} \\ \mu &= 0,000086 \text{ kg/m.s} \\ \rho &= 1,94 \text{ kg/m}^3 \\ v &= \mu / \rho = \frac{0,000086 \text{ kg/m.s}}{1,94 \text{ kg/m}^3} \\ v &= 4,433 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Re} &= \frac{VL}{\nu} \\ &= \frac{1,47 \text{ m/s} \times 0,08 \text{ m}}{4,433 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}} \\ &= 2653 \end{aligned}$$

Angka tersebut masuk dalam kategori transisi.

Jika putaran rpm 30% maka:

$$\begin{aligned} V &= 0,63 \text{ m/s} \\ L &= 8 \text{ cm} = 0,08 \text{ m} \\ \mu &= \text{berdasarkan tabel 4.1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu &= K \left(\frac{T^0 + 273}{1000} \right)^c \\ \mu &= 0,194 \left(\frac{25^0 + 273}{1000} \right)^{0,674} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu &= 0,086 \text{ cP} \\ \mu &= 0,000086 \text{ kg/m.s} \\ \rho &= 1,94 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v &= \mu / \rho = \frac{0,000086 \text{ kg/m.s}}{1,94 \text{ kg/m}^3} \\ v &= 4,433 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Re} &= \frac{VL}{\nu} \\ &= \frac{0,63 \text{ m/s} \times 0,08 \text{ m}}{4,433 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}} \\ &= 1137 \end{aligned}$$

Angka tersebut masuk dalam kategori laminar.

Tabel 4.2. Hasil Perhitungan Re Number

INTAKE	THROTTLE (%)	V (m/s)	CEROBONG ASAP		
			Ø4 mm	Ø5 mm	Ø5 mm 90°
TANPA HONEYCOMB	30	0,72	L	L	L
	70	1,68	Tr	Tr	Tr
	100	2,4	T	T	T
DENGAN HONEYCOMB	30	0,63	L	L	L
	70	1,47	Tr	Tr	Tr
	100	2,1	Tr	Tr	Tr

Keterangan :

L = Laminar

Tr = Transisi

T = Turbulence

Material Smoke Tunnel

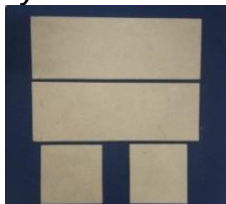
Material yang diperlukan untuk pembuatan *smoke tunnel* antara lain :

1. Akrilik
2. Karton dmf
3. Siku 3/8" x 3/8"
4. Lem
5. Fan 12VDC 80 x 80 x 25
6. Dimer potensiometer 12VDC
7. Lampu LED
8. Styrofoam
9. Baut 5 x 30
10. Sedotan plastik Ø12 x 70 mm
11. Sedotan plastik bengkok Ø5 mm
12. Sedotan plastik Ø12 mm
13. Selang
14. Klem

4.3.2. Proses Pembuatan

Tahapan dalam proses pembuatan *smoke tunnel portable*, antara lain:

1. Potong karton dmf sebanyak 2 (dua) set sesuai ukuran yang di tentukan untuk dijadikan sebagai dudukan *fan* dan *honeycomb*.



Gambar 4.11. Potongan karton dmf untuk *fan* dan *honeycomb*.

2. Susun karton dmf yang telah dipotong lalu diberi lem agar merekat membentuk kotak, kemudian letakkan *fan* didalamnya sebanyak 3 unit berjajar keatas.



(a) (b)

Gambar 4.12. (a) Kotak dmf untuk untuk *fan* (b) *Fan* yang sudah terpasang

3. Susun papan dmf yang ukurannya sama dengan fan untuk dudukan

sedotan yang berfungsi sebagai *honeycomb*.

4. Potong sedotan ukuran Ø12 x 70 mm sebanyak 138 buah dan susun didalam kotak yang telah dibuat.



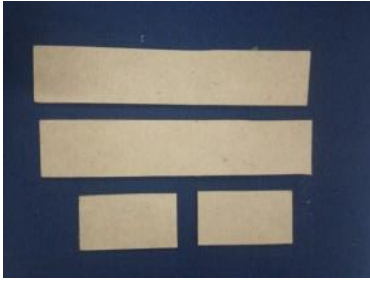
(a) (b)



(c)

Gambar 4.13. (a) potongan sedotan plastik, (b) penyusunan sedotan menjadi *honeycomb*, (c) hasil akhir *honeycomb* sedotan plastik.

5. Potong karton dmf untuk dijadikan sebagai *chamber test section* bagian belakang, atas dan bawah. Sedangkan untuk bagian depan menggunakan akrilik, agar memudahkan pengamatan asap didalam aliran udara.
6. Potong karton dmf sebanyak 2 (dua) set sesuai ukuran yang ditentukan untuk dijadikan sebagai penyambung antara *test section* dengan *fan* dan *test section* dengan *honeycomb*.



Gambar 4.14. Potongan karton dmf untuk penghubung

7. Karton penghubung yang sudah jadi, kemudian di tempel pada test section agar kotak fan dan honeycomb mudah untuk disambung dengan test section.



Gambar 4.15. Kotak penghubung antara honeycomb dengan test section dan fan

8. Tempelkan kotak yang dijadikan penyambung dibagian sisi kanan dan sisi kiri test section. Pada bagian bawah akrilik diberi engsel agar mudah untuk memasang atau merubah posisi benda uji.



Gambar 4.16. Kotak penghubung yang sudah di tempel pada test section

9. Buat lubang dibagian bawah test section dibagian kiri dan menempel dekat dinding test section. Diameter lubang sebesar probe smoke nozzle yaitu $\varnothing 13$ mm.
10. Cat bagian dalam test section dengan warna gelap lalu masukkan probe smoke nozzle kedalam chamber test section seperti gambar dibawah ini.



(a) (b)

Gambar 4.17. (a) cerobong asap type lurus dan (b) cerobong asap type siku.

11. Pada bagian depan test section dipasang akrilik yang diberi engsel pada bagian bawah untuk memudahkan memasang benda uji dan mengatur smoke nozzle.



Gambar 4.18. Pintu akrilik test section ketika dibuka

12. Buat model berupa airfoil dengan NACA apa saja, lalu ditempel pada penggaris busur agar mudah digerakkan berputar sesuai dengan besaran sudut serang yang diinginkan.



Gambar 4.19. Model uji airfoil NACA 2414

13. Pasang lampu LED strip didalam *test section*. Tujuannya adalah agar warna asap yang berada didalam *test section* menjadi lebih jelas terlihat.

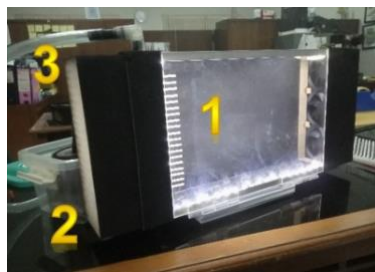


Gambar 4.20. Lampu LED pada saat dinyalakan didalam *test section*.

4.4. Pengujian Smoke Tunnel

Dalam proses pengujian smoke tunnel, dapat dilakukan dengan urutan sebagai berikut:

1. Hubungkan *smoke generator* dengan *probe* yang sudah terpasang didalam *chamber test section*.



Gambar 4.21. (1) *Smoke tunnel*, (2) *Smoke Generator*, (3) Selang Penghubung antara *smoke tunnel* dengan *smoke generator*.

2. Pasang benda uji airfoil didalam *chamber test section* dan atur sudut serang (*angle of attack*) sesuai keinginan melalui dinding transparan bagian depan *smoke tunnel* lalu tutup kembali dengan jika sudah selesai mengatur besaran sudut benda uji *airfoil*.
3. Hidupkan *cooling fan* pada *smoke tunnel* terlebih dahulu, kemudian nyalakan *smoke generator*.
4. Perhatikan aliran udara didalam *test section*, jika asap yang keluar dari *nozzle* terlalu cepat maka kecepatan *cooling fan* bisa diatur melalui *dimmer potentiometer* agar putaran *cooling fan* menjadi lebih lambat sesuai dengan kebutuhan.
5. Pengujian dengan *smoke tunnel* ini bisa dilakukan dengan *honeycomb* atau tanpa *honeycomb* seperti pada gambar






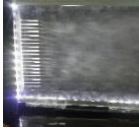



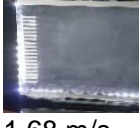
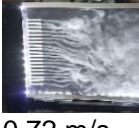
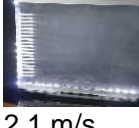

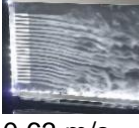



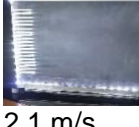

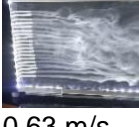
Gambar 4.22. (1) *test section*, (2) *honeycomb*, (3) *fan*

Hal ini bisa dilakukan karena konstruksinya bersifat *knock down* (bisa bongkar pasang dengan cepat).

4.5. Hasil Uji

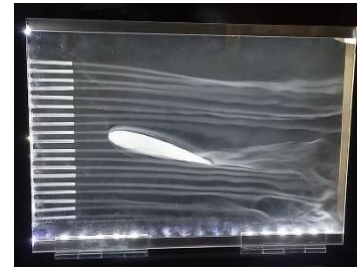
Setelah dilakukan beberapa kali uji coba *smoke tunnel* hasilnya dapat dilihat pada tabel 4.3. dibawah ini :

Tabel 4.3. Hasil pengujian

Cerobong Asap Ø4 mm		
 2,4 m/s Tanpa Honeycomb	 1,68 m/s Tanpa Honeycomb	 0,72 m/s Tanpa Honeycomb
 2,1 m/s Dengan Honeycomb	 1,47 m/s Dengan Honeycomb	 0,63 m/s Dengan Honeycomb
Cerobong Asap Ø5 mm		
 2,4 m/s Tanpa Honeycomb	 1,68 m/s Tanpa Honeycomb	 0,72 m/s Tanpa Honeycomb
 2,1 m/s Dengan Honeycomb	 1,47 m/s Dengan Honeycomb	 0,63 m/s Dengan Honeycomb
Cerobong Asap Ø5 mm 90°		
 2,4 m/s Tanpa Honeycomb	 1,68 m/s Tanpa Honeycomb	 0,72 m/s Tanpa Honeycomb
 2,1 m/s Dengan Honeycomb	 1,47 m/s Dengan Honeycomb	 0,63 m/s Dengan Honeycomb

Berdasarkan hasil pengujian yang tercantum didalam tabel 4.3. dapat di analisa bahwa untuk menghasilkan aliran udara yang *laminar* pada *smoke tunnel* harus menggunakan kecepatan udara

yang minimum dan menggunakan *honeycomb*. Cerobong asap yang mengeluarkan asap dari *smoke generator* harus berada di tengah *test section* karena yang menggunakan cerobong asap dari pinggir akan menghasilkan turbulensi di dinding, sehingga asap tidak dapat ditarik sempurna oleh kipas penghisap.



Gambar 4.23. Pengujian *smoke tunnel* dengan *airfoil* NACA 2414 kecepatan 0,63 m/s cerobong asap Ø4 mm

Aliran laminar yang dominan dari hasil ujicoba ditunjukkan pada cerobong asap type lurus Ø4 mm. Sedangkan pada cerobong asap yang lainnya tidak stabil alirannya, sehingga kurang baik untuk digunakan sebagai visualisasi aliran udara yang melewati benda uji pada *smoke tunnel*.

V. Kesimpulan

Ada beberapa kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan hasil ujicoba penelitian tersebut antara lain:

1. Konfigurasi *smoke tunnel* bisa dibuat dari modifikasi *open tunnel*, dan ukurannya bisa lebih kecil dan praktis (*portable*) yaitu 25 cm x 60 cm agar bisa dioperasikan didalam kelas ataupun diluar kelas.
2. Bentuk pipa cerobong asap atau *nozzle* yang paling ideal didalam *chamber / test section wind tunnel* adalah cerobong asap type lurus yang posisinya berada di tengah *test section* kearah aliran udara yang di sedot oleh baling-baling. Dan

diameter yang paling baik adalah $\varnothing 4$ mm, dibandingkan dengan diameter yang lebih besar.

3. Kecepatan aliran udara harus rendah agar aliran asap tidak hilang terhisap oleh kipas penghisap.

VI. SARAN

Dari beberapa kali ujicoba yang dilakukan, ada perbedaan efek yang terjadi antara di dalam ruangan dengan di luar ruangan. Jika operasional *smoke tunnel* diluar ruangan, asapnya bisa langsung tersebar dan hilang tertiuap angin. Namun jika operasional di dalam ruangan, asap yang dari *smoke tunnel* akan terakumulasi dan sulit hilang jika sirkulasi ruangan kurang memadai.

Untuk mengatasi hal tersebut, penulis menyarankan agar *smoke tunnel*nya di buat menjadi semi *closed circuit tunnel* yaitu bagian pembuangan asap dimasukkan kembali ke *smoke generator* sehingga efek asap yang terbangun menjadi lebih minimalis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Syaputra dan B. Heriyadi, "Analisis Pengaruh Kecepatan Aliran Udara Terhadap Penurunan Temperatur Efektif Pada Alat Simulasi Ventilasi Tambang Bawah Tanah," vol. 4, no. 1, hal. 198–211.
- [2] A. Mukhlisin dan E. Erwin, "Rancang Bangun Smoke Generator pada Kecepatan Angin Rendah dengan Wind Tunnel Rangkaian Terbuka," vol. 4, hal. 81–88, 2022.
- [3] N. B. Abdullah, "Design and Fabrication of Portable Smoke Tunnel for Flow Visualization Universiti Teknologi PETRONAS Bandar Seri Iskandar 31750 Tronoh Perak Darul Ridzuan," 2009.
- [4] M. Jabbal, "Development of a smoke visualisation system for wind tunnel

laboratory experiments," no. January 2013, 2014.

- [5] H. Purwanto dan S. R. Andary, "RANCANG BANGUN WIND TUNNEL MENGGUNAKAN SMOKE GENERATOR," vol. 3, hal. 303–307, 2019.
- [6] S. Anggara, A. Herawati, I. Priyadi, dan I. N. Anggraini, "Analisis Perubahan Besaran Listrik Pada Pemanas Induksi Menggunakan Inverter Setengah Jembatan," *J. Amplif. J. Ilm. Bid. Tek. Elektro Dan Komput.*, vol. 10, no. 1, hal. 1–8, 2020.
- [7] A. Chaeroni, "Penyederhanaan Sistem Pemanas Dan Cairan Yang Digunakan Pada Smoke Generator Untuk Alat Peraga Ilmu Aerodinamika."