

Modifikasi Alat Peraga Smoke Tunnel Portable dengan Penambahan Inlet cowl dan Honeycomb Setelah Test Section

Selsa Meidah^{1,*}, Amat Chaeroni², Evi Endarti³

^{1,2,3}Fakultas Teknik Dirgantara dan Industri, Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma, Jakarta, Indonesia

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 2 September 2024
Direvisi: 14 November 2024
Diterima: 27 Desember 2024

Kata kunci:

Smoke tunnel portable
alat peraga
modifikasi
aliran asap

Keywords:

Smoke tunnel portable
Props
Modification
smoke stream

Penulis Korespondensi:

Selsa Meidah
Email:
selsameidah60@gmail.com

ABSTRAK

Wind tunnel merupakan alat penting dalam penelitian aerodinamika untuk mengkaji aliran udara yang melewati objek uji. Salah satu eksperimen yang dilakukan menggunakan *wind tunnel* adalah *smoke visualization*, yang bertujuan untuk memvisualisasikan aliran udara secara langsung dengan menggunakan asap. *Smoke tunnel portable* merupakan alat yang digunakan untuk mempelajari efek aliran udara pada objek uji, seperti airfoil, dengan bantuan visualisasi asap. Penelitian ini bertujuan untuk memodifikasi *smoke tunnel portable* guna meningkatkan kualitas aliran udara atau asap agar membentuk aliran laminar yang lebih stabil dan memaksimalkan visualisasi aliran udara atau asap terhadap objek uji. Modifikasi dilakukan dengan memperpanjang ukuran alat menjadi 888mm X 346 mm X 192mm dengan menambahkan komponen *inlet cowl* dan *honeycomb* yang fokus terhadap perbaikan aliran asap. Metode eksperimen ini melibatkan penggunaan *smoke generator* untuk menghasilkan asap yang kemudian disalurkan melalui *nozzle* ke area uji. Hasil penelitian menunjukkan bahwa modifikasi berhasil meningkatkan kualitas aliran asap, menghasilkan visualisasi aliran udara yang lebih jelas dan laminar. *Smoke tunnel* portabel yang dimodifikasi ini efektif digunakan untuk eksperimen dan pembelajaran aerodinamika, memungkinkan pemahaman yang lebih baik mengenai aliran udara pada objek uji.

A wind tunnel is a crucial tool in aerodynamic research used to study airflow around test objects. One of the experiments conducted using a wind tunnel is smoke visualization, which aims to directly visualize airflow using smoke. A portable smoke tunnel is an instrument designed to study the effects of airflow on test objects, such as airfoils, with the aid of smoke visualization. This research aims to modify a portable smoke tunnel to improve the quality of the smoke flow, ensuring a more stable laminar flow and enhancing the visualization of airflow around the test object. The modifications involved extending the dimensions of the device to 888 mm x 346 mm x 192 mm and adding components such as an inlet cowl and honeycomb to focus on improving airflow. The experimental method utilized a smoke generator to produce smoke, which was then directed through a nozzle into the test section. The results showed that the modifications successfully enhanced the quality of the smoke flow, resulting in clearer and more laminar airflow visualization. In conclusion, the modified portable smoke tunnel proved effective for aerodynamic experiments and learning purposes, enabling a better understanding of airflow behavior around test objects.

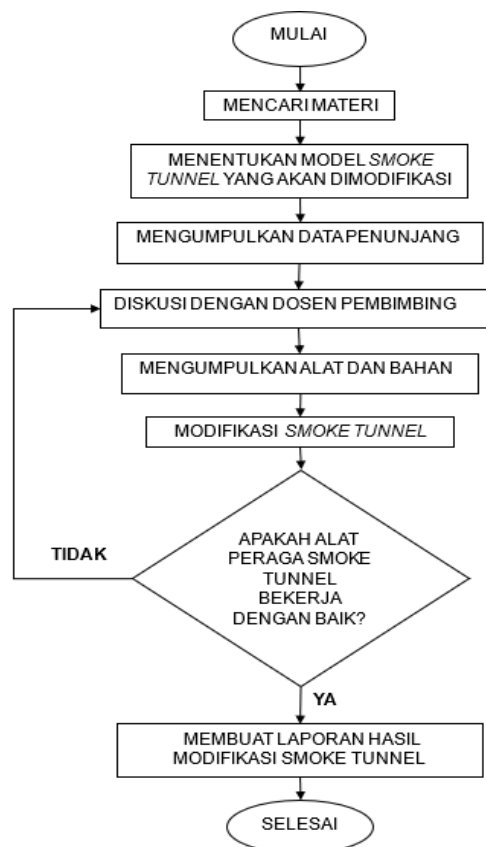
Copyright © 2024 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN,

Wind tunnel adalah alat yang digunakan untuk membantu riset dan kajian terhadap suatu objek tertentu. *Wind tunnel* pertama dibangun oleh Frank H. Wenham pada tahun 1871 yang merupakan anggota *Aeronautical Society Great Britain*. *Wind tunnel* sendiri digunakan untuk menguji suatu karakteristik aerodinamis dari suatu objek. Manfaat dari *wind tunnel* sendiri adalah untuk dapat menjadi media pengujian dan penelitian dalam bidang aerodinamika yang dapat menghasilkan udara dengan kecepatan aliran konstan dan seragam dengan tingkat turbulensi rendah [1]. Namun meskipun efektif dalam menciptakan kondisi aliran udara yang terkendali *wind tunnel* memiliki keterbatasan dalam hal visualisasi aliran udara. Oleh karena itu, dikembangkan *smoke tunnel portable*, yang menambahkan efek asap untuk membantu visualisasi aliran udara di sekitar objek. Dengan demikian *smoke tunnel* memungkinkan pengamatan dan analisis yang lebih mendalam terhadap pola aliran udara yang penting untuk studi aerodinamika.

Proses modifikasi *smoke tunnel portable*, bertujuan untuk mengatasi kelemahan dalam model sebelumnya dengan memperbaiki aliran udara menjadi lebih laminar. Modifikasi ini mencakup penambahan komponen seperti *inlet cowl* dan *honeycomb* setelah *test section*, yang diharapkan menjadi alat yang lebih efektif dalam pembelajaran dan penelitian aerodinamika, terutama dalam memahami interaksi aliran udara dengan objek uji seperti *airfoil*. Hasil dari modifikasi kemudian diuji untuk meninjau seberapa besar pengaruh modifikasi terhadap hasil visualisasi yang dihasilkan *smoke tunnel*.

II. METODE PENELITIAN



Gambar 1 Diagram alir penelitian

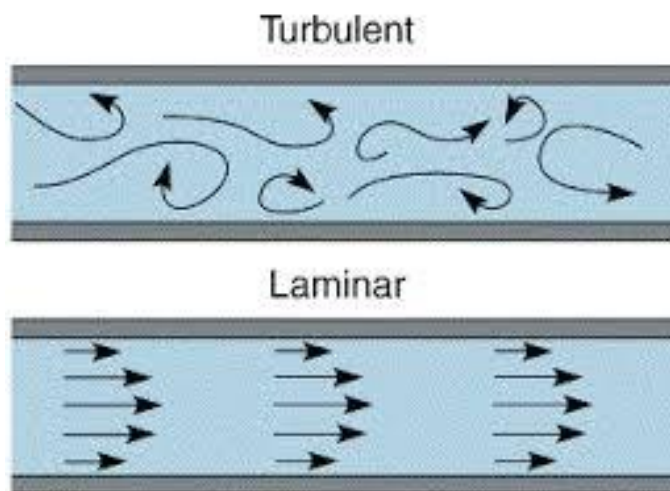
Metode penelitian ini untuk memastikan modifikasi alat peraga *smoke tunnel portable* berjalan sesuai rencana dan tepat waktu, beberapa tahapan dalam diagram alir harus diikuti secara cermat. Hal ini penting untuk menjamin kelancaran dan kesuksesan proses modifikasi.

2.1 Aliran Udara

Aliran udara laminar adalah aliran merupakan salah satu jenis udara yang banyak digunakan dalam berbagai bidang. Aliran fluida laminar merupakan aliran fluida yang teratur dan tidak turbulen. Karakteristik aliran udara laminar salah satunya ada aliran teratur, yaitu fluida bergerak garis-garis lurus dan tidak saling bercampur [2]. Aliran udara laminar berkaitan dengan pergerakan fluida dalam lapisan-lapisan. Gerak fluida dalam aliran terjadi dengan rapi, biasanya lambat dan tetap, dan secara umum memenuhi syarat untuk observasi, pengukuran, dan prediksi [3]. Aliran udara laminar adalah aliran udara tanpa turbulen.

Aliran udara transisi merupakan aliran peralihan dari aliran laminar ke aliran turbulen. Gangguan akan terbentuk Ketika kecepatan aliran bertambah atau viskositas berkurang. Gangguan tersebut akan mengakibatkan peralihan aliran [3] atau bisa juga sebut dengan aliran transisi.

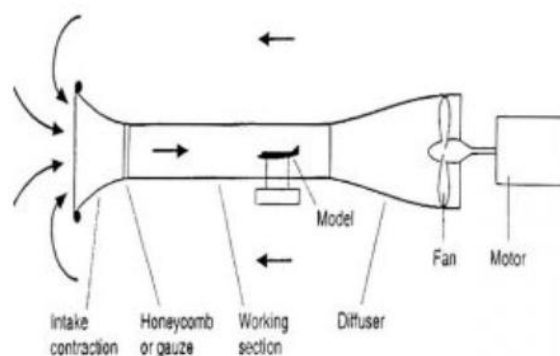
Aliran turbulen ditemukan hampir disetiap aliran di alam. Tipe aliran ini terdiri dari gerak fluida yang tidak teratur dan tidak tetap sehingga aliran udara sulit untuk divisualisasikan, diukur, dan diprediksi [3]. Dengan kata lain aliran turbulen adalah aliran udara yang partikel-partikelnya bergerak secara acak dan tidak stabil dengan kecepatan berfluktasi yang saling interaksi.



Gambar 2 Aliran udara laminar dan turbulen [4]

2.2 Wind Tunnel

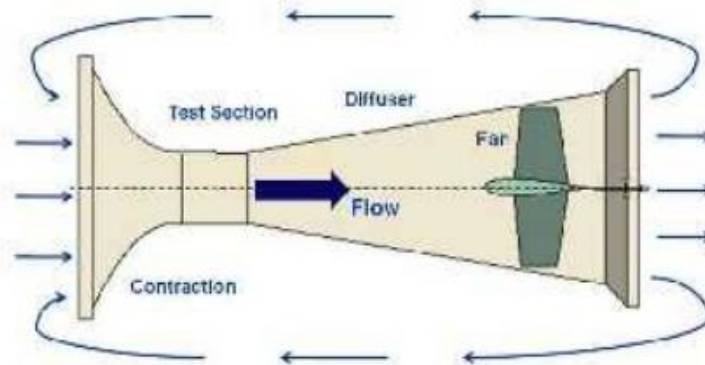
Terowongan angin digunakan untuk menggambarkan keadaan fluida sebenarnya pada suatu benda yang berada dalam pengaruh gaya-gaya aerodinamika dalam bidang aeronautika, yaitu untuk menganalisis kinerja mekanika terbang dari suatu benda terbang [5]



Gambar 3 Wind tunnel [6]

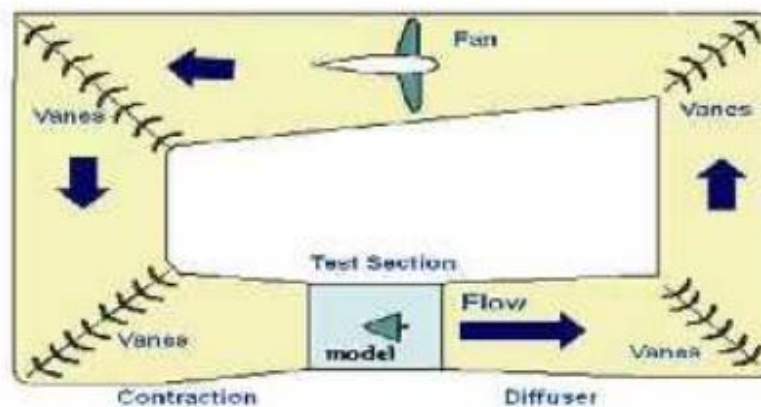
Berdasarkan udara yang dialirkan, wind tunnel dibagi menjadi dua tipe yaitu *open loop wind tunnel* dan *close loop wind tunnel*. Setiap jenis *wind tunnel* memiliki karakteristik dan aplikasi yang spesifik yang berbeda, berikut penjelasan dari kedua jenis wind tunnel tersebut:

Open loop wind tunnel adalah terowongan angin yang memiliki bentuk mirip terompet dengan tempat udara masuk disalah satu ujung dan turbofan diujung lainnya. *Open loop wind tunnel* digunakan untuk menghitung *force balance*, gaya angkat dan gaya hambat dari sepsimen yang diuji. [7]



Gambar 4 *Open loop wind tunnel* [8]

Close loop wind tunnel adalah terowongan angin yang ujung-ujungnya saling bertemu membentuk lintasan tertutup, jenis ini digunakan untuk menghitung tekanan pada setiap sisi specimen yang di uji. Alat ini dilengkapi sensor manometer untuk memperoleh profil tekanan. [7]



Gambar 5 *Close loop wind tunnel* [8]

2.3 *Smoke*

Smoke dalam Bahasa Indonesia disebut dengan kata “asap”. *Smoke* adalah suatu senyawa yang terdiri dari berbagai jenis gas, kadangkala juga mengandung zat padat dan polutan (zat pencemar). *Smoke* biasanya merupakan hasil pembakaran, baik berupa pembakaran bahan-bahan organik, maupun pembakaran bahan bakar fosil [10]. *Smoke* adalah asap atau bahan yang tidak terlihat yang dibentuk ketika bahan yang mengandung karbon hidrogen dan oksigen dibakar. *Smoke* juga diartikan yang terdiri dari partikel kecil (partikulat) abu, bahan bakar sebagian dikonsumsi, dan tetesan air [11]. *Smoke* akan digunakan sebagai media visualisasi aliran udara. *Smoke* di sini sebagai ladasan yang penting bagi keberhasilan alat peraga *smoke tunnel portable*.

2.4 *Smoke tunnel*

Smoke tunnel atau yang dikenal sebagai *smoke visualization* merupakan bagian dari *wind tunnel experiment* [12]. *Smoke tunnel* adalah sebuah alat uji yang digunakan untuk memahami dan menganalisis aliran udara dengan menggunakan asap. Ini adalah alat peraga simulasi aerodinamika yang mampu memvisualisasikan kondisi aliran udara dengan menggunakan asap. Pada *smoke tunnel*

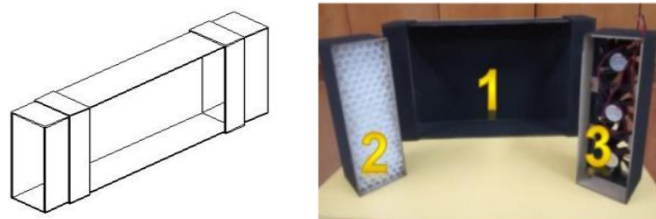
digunakan untuk memahami kondisi aliran udara yang terjadi ketika benda dengan berbagai macam bentuk permukaan seperti penampang melewati udara. *Smoke tunnel* merupakan alat yang sangat berguna dalam pendidikan dan penelitian awal untuk memahami prinsip-prinsip dasar aerodinamika sebelum beralih ke pengujian yang lebih canggih.

III. HASIL DAN DISKUSI

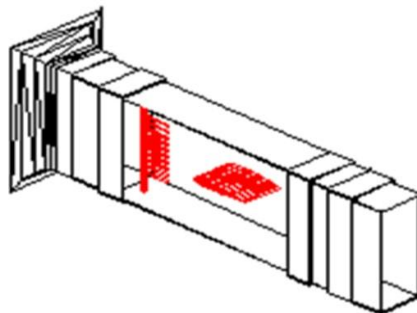
Dalam proses modifikasi *smoke tunnel portable*, akan melalui beberapa tahapan yaitu penentuan bagian apa yang akan dimodifikasi, pemasangan *smoke tunnel portable* seperti *test section*, *honeycomb*, *fan* atau motor, dan lain sebagainya. Sehingga menjadi *smoke tunnel* yang diinginkan, lalu mengetahui bagaimana *smoke tunnel portable* bekerja setelah dimodifikasi. Modifikasi terdapat beberapa alasan yaitu salah satunya adalah aliran udara / smoke yang masih belum membentuk laminar dengan sempurna.

3.1 Modifikasi Pada Bagian *Smoke tunnel portable*

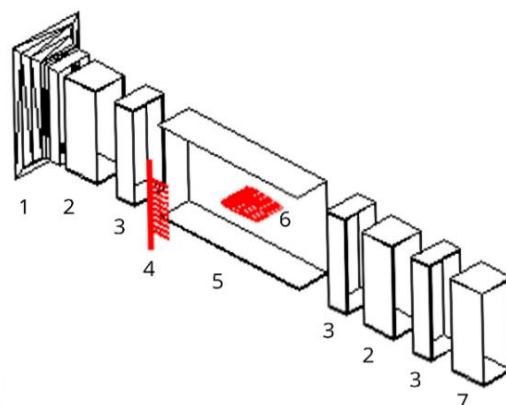
Tahap ini merupakan tahapan penting sebelum melakukan instalasi alat peraga *smoke tunnel portable*, dengan mengetahui bagian apa yang dimodifikasi dengan membandingkan keseluruhan dari alat peraga *smoke tunnel portable* model sebelumnya.



Gambar 6 *Smoke tunnel portable* model sebelumnya [12]



Gambar 7 Modifikasi *smoke tunnel portable*



Gambar 8 Bagian-bagian dari *smoke tunnel portable* yang telah dimodifikasi

Keterangan pada **Gambar 8** yaitu:

1. *Inlet cowl*
2. *Honeycomb*
3. Kotak penghubung
4. *Nozzle* (cerobong asap)

5. *Test section*

6. *Airfoil*

7. Kotak *motor fan*

Modifikasi pada ukuran keseluruhan pada *smoke tunnel portable* dimana pada modifikasi *smoke tunnel portable* ini menambahkan beberapa *section* baru seperti *inlet cowl* dan satu *section* yang menghubungkan antara *inlet* dan *honeycomb*, serta pada modifikasi *smoke tunnel* ini juga menambahkan *honeycomb* baru dibagian belakang setelah *test section* dan sebelum *motor fan*.

Modifikasi *smoke tunnel portable* dimulai pada bagian paling depan pada *smoke tunnel* yaitu terdapat perubahan pada bagian depan dengan menambahkan *section inlet cowl* yang salah satu fungsinya untuk *intake* dengan kata lain membawa atau mengarahkan aliran udara dari lingkungan sekitar ke dalam *tunnel* atau *test section* dengan cara yang terkontrol untuk memastikan aliran udara dari samping atau dari sisi manapun masuk ke dalam, sehingga aliran udara lebih luas dan lebih banyak yang masuk ke *smoke tunnel portable* untuk pengujian.

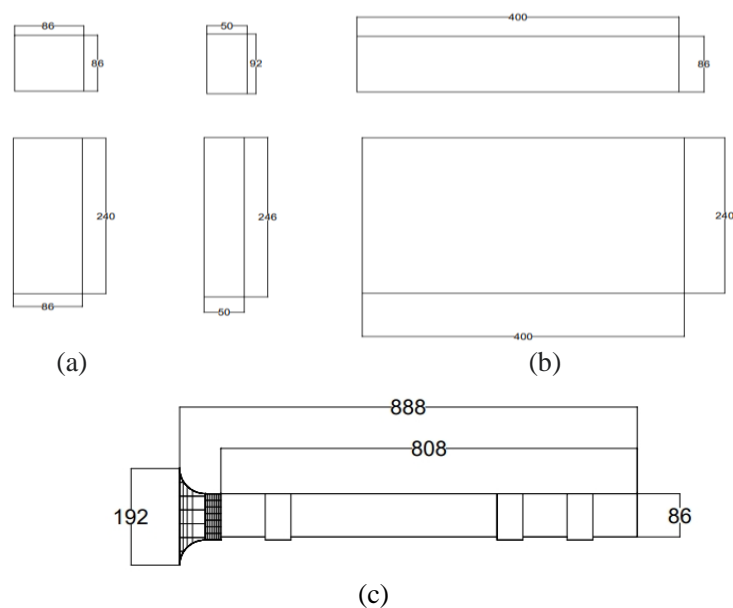
Terdapat perbedaan pada *honeycomb* yang digunakan pada modifikasi *smoke tunnel* ini yaitu menggunakan 2 (dua) *honeycomb* tetapi dengan ukuran kotak yang sama seperti sebelumnya, Penambahan *section honeycomb* setelah *test section* berfungsi untuk membantu menstabilkan aliran udara atau *smoke*, dimana mengurangi variasi kecepatan yang mungkin terjadi yang disebabkan oleh tarikan dari *section fan* yang akan mengakibatkan turbulensi. Oleh karena itu, *honeycomb* setelah *test section* digunakan untuk menyelaraskan atau membuat laminar aliran udara yang memungkinkan terganggu oleh putaran baling-baling dari *fan*.

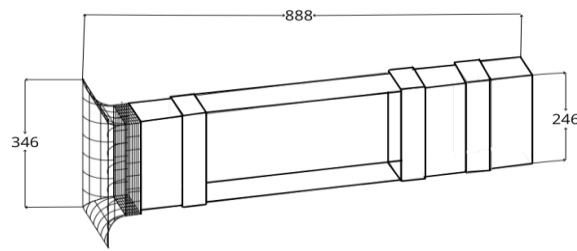
Terdapat kaki (*stand*) pada modifikasi *smoke tunnel portable* ini yang digunakan sebagai penyangga agar *smoke tunnel portable* bisa berdiri dengan tidak menyentuh langsung pada lantai, dalam penambahan *stand* ini dikarenakan *inlet cowl* yang lebih tinggi dari pada *section* lainnya sehingga *inlet cowl* tidak dapat dipasang.

3.2 Proses Pemasangan *Smoke tunnel portable*

Tahapan dalam proses pemasangan dari modifikasi *smoke tunnel portable* menjadi beberapa bagian, yaitu diantara lain:

1. Menentukan model modifikasi ukuran yang telah disepakati. Ukuran menggunakan satuan milimeter, untuk lebih jelasnya lihat **Gambar 9**

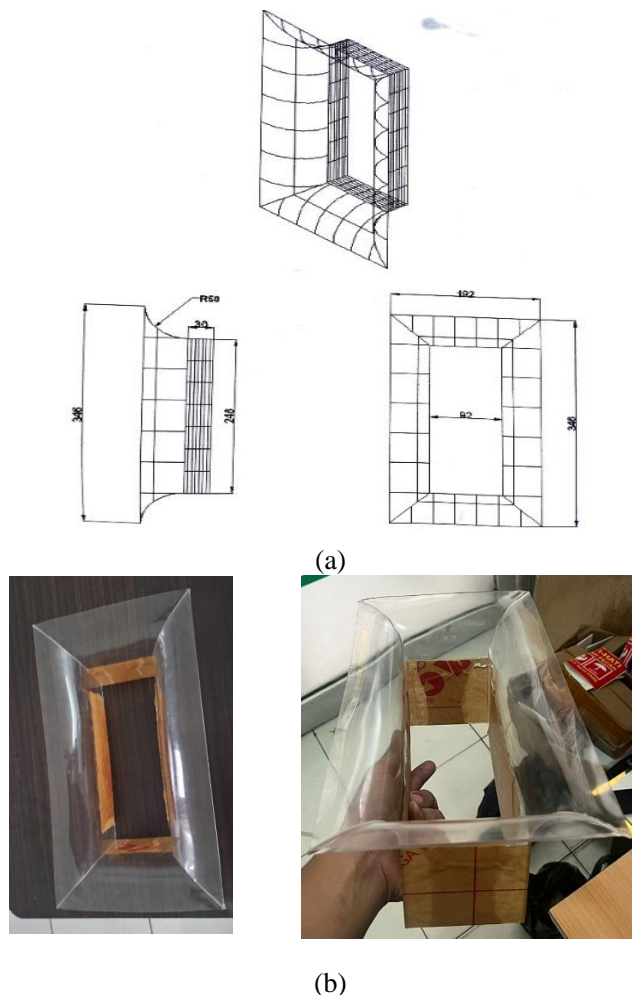




(d)

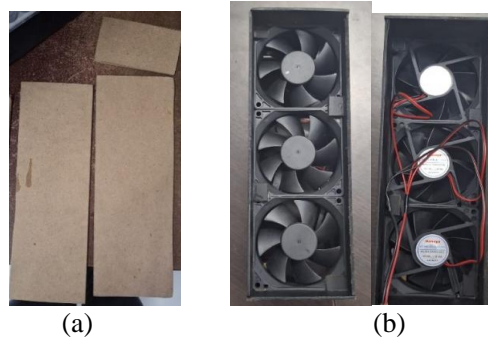
Gambar 9 (a) Ukuran kotak penghubung, (b) Ukuran kotak *honeycomb* dan fan, (c) Ukuran Panjang dan lebar *smoke tunnel* tampak atas, (d) Ukuran Panjang dan lebar *smoke tunnel* tampak samping

2. Potong karton dmf sesuai dengan ukuran yang telah ditentukan dengan jumlah sesuai dengan yang dibutuhkan yaitu potong karton dmf bentuk kotak penghubung sebanyak 3 (tiga) set sesuai dengan ukuran, potong karton dmf bentuk kotak *honeycomb* sebanyak 2 (dua) set dan *fan* 1 (satu) set sesuai dengan ukuran dan potong karton dmf sebagai *chamber test section* sebanyak 1 (satu) set.
3. Siapkan *inlet cowl* yang sudah dibentuk dengan menggunakan material akrilik.



Gambar 10 (a) Desain *inlet cowl*, (b) Akrilik bentuk *inlet cowl*
(Sumber: Doc. Pribadi)

4. Kemudian susun karton dmf yang sudah dipotong membentuk kotak *fan* dan pasang motor *fan* sebanyak 3 (tiga) buah. Lalu diberwarna hitam pada sisi luar kotak *fan* menggunakan cat semprot ditunjukkan pada **Gambar 11**.
5. Siapkan *plastic straw* Ø12 yang sudah dipotong dengan ukuran panjang kurang lebih 80mm sesuai yang dibutuhkan ditunjukkan pada **Gambar 12**.



Gambar 11 (a) Karton dmf untuk *fan*, (b) Pemasangan motor *fan* pada kotak *fan*
(Sumber: Doc. Pribadi)



Gambar 12 Potongan plastic straw $\varnothing 12\text{mm}$
(Sumber: Doc. Pribadi)

6. Susun potongan karton dmf yang digunakan untuk kotak *honeycomb* menggunakan glue. Setelah itu susun *straw* pada kotak *honeycomb* dengan rapih dan sampai terisi pada semua sisi. Buat *honeycomb* sebanyak 2 (dua) buah yaitu *honeycomb A* dan *honeycomb B*. lalu diberi warna hitam pada sisi luar pada kotak *honeycomb* menggunakan cat semprot ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13 *Honeycomb*
(Sumber: Doc. Pribadi)

7. Susun karton dmf kotak penghubung sebanyak 3 (tiga) set sesuai ukuran yang dijadikan sebagai penyambung antara *test section*, *fan*, *honeycomb A*, serta antara *honeycomb B* dibagian belakang dan *fan*. lalu beri warna hitam pada semua sisi dari kotak penghubung.



Gambar 14 Potongan karton dmf disusun kotak penghubung
(Sumber: Doc. Pribadi)

8. Susun potongan karton dmf yang membentuk *chamber test section* lalu diberi glue agar merekat, untuk sisi bagian depan menggunakan akrilik yang dipasang menggunakan *hinge* agar bisa dibuka dan ditutup



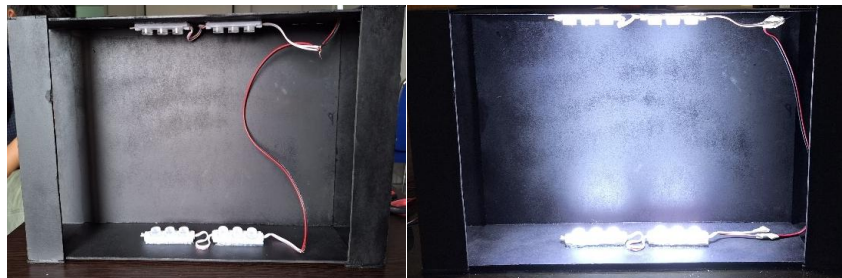
Gambar 15 Potongan karton dmf yang disusun *chamber test section*
(Sumber: Doc. Pribadi)

9. Kotak penghubung yang sudah jadi, kemudian disambungkan atau direkatkan menggunakan glue pada *test section*, agar kotak atau dudukan dari *honeycomb A* dan *honeycomb B* mudah terpasang. Pasang kotak penghubung pada sisi kanan dan kiri dari *test section*. Lalu diberi warna hitam pada semua sisi dari *test section* dan kotak penghubung.



Gambar 16 Kotak penghubung yang sudah dipasang pada *test section*
(Sumber: Doc. Pribadi)

10. Pasang lampu LED di dalam *test section* atas dan bawah yang bertujuan agar warna asap yang berada didalam *test section* menjadi lebih jelas dan terlihat.



Gambar 17 Pemasangan LED pada *test section*
(Sumber: Doc. Pribadi)

11. Buat lubang pada beberapa titik yaitu:
 - a) Satu pada bagian atas *test section* dibagian kiri dan menempel dekat dinding *test section* tetapi tetap di kotak penghubung yang memiliki diameter lubang sebesar *probe smoke nozzle* yaitu $\text{Ø}13$ mm.



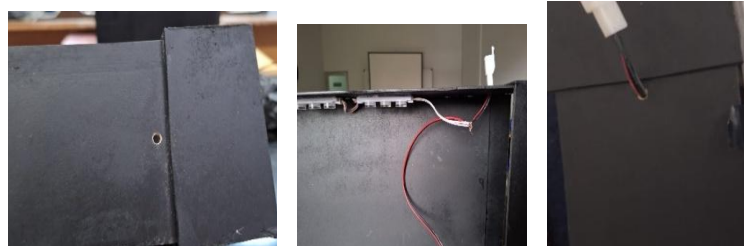
Gambar 18 Lubang $\text{Ø}13$ mm untuk *probe smoke nozzle*
(Sumber: Doc. Pribadi)

- b) Pada bagian tengah-tengah dari *test section* tetapi lebih ke kiri sedikit, lubang ini memiliki diameter sekitar $\text{Ø}4\text{mm}$ yang digunakan untuk menempelkan benda uji.



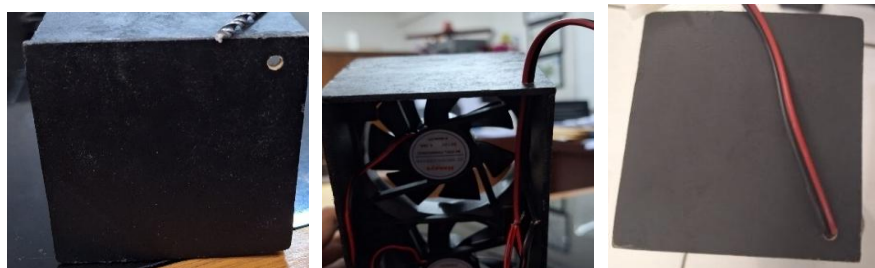
Gambar 19 Lubang $\text{Ø}4\text{mm}$ untuk menempelkan benda uji
(Sumber: Doc. Pribadi)

- c) Pada bagian atas belakang dari *test section* yang memiliki diameter $\text{Ø}4\text{mm}$ yang digunakan sebagai saluran kabel lampu LED yang disambungkan pada *dimmer potentiometer*.



Gambar 20 Lubang $\text{Ø}4\text{mm}$ saluran kabel LED
(Sumber: Doc. Pribadi)

- d) Keempat pada bagian atas kotak *fan* yang memiliki ukuran $\text{Ø}4\text{mm}$, digunakan untuk saluran kabel yang akan disambungkan pada *dimmer potentiometer* untuk mengatur kecepatan *fan*.



Gambar 21 Lubang $\text{Ø}4\text{mm}$ untuk saluran kabel *fan*
(Sumber: Doc. Pribadi)

12. Tempelkan busur pada bagian tengah-tengah *test section* menggunakan glue dan jan gan sampai menutupi lubang yang sudah dibuat.



Gambar 22 Pemasangan busur pada *test section*
(Sumber: Doc. Pribadi)

13. Siapkan model serupa *airfoil* sebagai benda uji dengan seri NACA apa saja.



Gambar 23 *Airfoil* sebagai benda uji
(Sumber: Doc. Pribadi)

14. Setelah itu pasang benda uji *airfoil* pada *protractor* menggunakan *scrup* yang sudah dipasang dilubang yang telah dibuat agar mudah digerakkan berputar sesuai dengan besaran sudut serang (*Angle of attack*) yang diinginkan.



Gambar 24 Airfoil dipasang pada *protractor*
(Sumber: Doc. Pribadi)

15. Pasang probe *nozzle* ke dalam *chamber test section*



Gambar 25 Probe Nozzle
(Sumber: Doc. Pribadi)

16. Akrilik yang sudah dipotong sesuai dengan panjang dan lebar dari *test section*, setelah itu pasang pada bagian depan dari *test section* menggunakan *hinge* yang sudah ditempelkan menggunakan glue.



Gambar 26 Pemasangan akrilik pada sisi depan pada *test section*
(Sumber: Doc. Pribadi)

17. Setelah itu pasang *honeycomb A* dan *honeycomb B* pada sisi dan kanan dari *test section*.



Gambar 27 Pemasangan *honeycomb A* dan *honeycomb B* pada *test section*
(Sumber: Doc. Pribadi)

18. Akrilik yang sudah dipotong yang akan digunakan untuk kaki (*stand*) dari *smoke tunnel portable* dipasang pada bagian bawah dari alat peraga *smoke tunnel portable*.



Gambar 28 Kaki (*stand*) *smoke tunnel portable*
(Sumber: Doc. Pribadi)

19. Hasil akhir dari proses pemasangan dari modifikasi *smoke tunnel portable* dilihat pada **Gambar 29**.



(a)



(b)

Gambar 29 (a) Tampilan hasil akhir per-section pada *smoke tunnel portable*, (b) Tampilan hasil akhir pemasangan *smoke tunnel portable*.

(Sumber: Doc. Pribadi)

3.3 Cara Kerja *Smoke tunnel portable*

Dalam proses cara kerja *smoke tunnel portable*, dapat dilakukan dengan urutan sebagai berikut:

1. Hubungkan *smoke generator* dengan *probe* yang sudah terpasang di dalam *chamber test section*. *Smoke generator* berfungsi untuk menghasilkan asap (*smoke*).
2. Pasang benda uji *airfoil* di dalam *chamber test section* dan atur sudut serang (*angle of attack*) sesuai dengan yang diinginkan melalui bagian depan *test section* yang bisa dibuka dan ditutup.
3. Setelah selesai mengatur sudut serang benda uji *airfoil*, kemudian hidupkan *smoke generator*.
4. Perhatikan aliran udara di dalam *test section*, jika asap yang keluar terlalu cepat maka kecepatan *motor fan* bisa diatur melalui *dimmer potentiometer* agar putaran *motor fan* menjadi lebih lambat, atur kecepatan *motor fan* dan perhatikan aliran asap yang mengalir melewati benda uji. Usahakan asap mengalir selaminar mungkin.
5. Udara masuk melalui *inlet cowl* lalu mengalir melewati *honeycomb* yang berfungsi untuk mengatur aliran udara dan mengurangi turbulensi sehingga udara mengalir menjadi laminar. Setelah itu aliran udara akan masuk ke dalam *test section* dan akan mengarahkan asap ke belakang melewati benda uji. Aliran udara dan asap masuk dan ditarik oleh *motor fan* yang terdapat bagian belakang yang kecepatannya bisa diatur, kemudian di buang ke bagian belakang melewati *honeycomb* terlebih dahulu lalu *motor fan*.



Gambar 30 Aliran udara *smoke tunnel portable* sebelum Modifikasi



Gambar 31 Tampilan hasil akhir uji coba dari cara kerja *smoke tunnel portable*.
(Sumber: Doc. Pribadi)

IV. KESIMPULAN

Dari hasil modifikasi *smoke tunnel portable* dengan penambahan *inlet cowl* dan *honeycomb* setelah *test section* yang telah dilakukan maka dapat diambil beberapa kesimpulan yang dijadikan hal pokok dari penulisan tugas akhir ini adalah:

Proses modifikasi alat *peraga smoke tunnel portable* dilakukan dengan memperpanjang ukurannya menjadi 888 mm x 346 mm x 192 mm untuk menambahkan *inlet cowl* dan kotak *honeycomb* setelah chamber test section, sehingga meningkatkan kualitas aliran asap menjadi lebih halus dan stabil. Pemasangan alat yang telah dimodifikasi ini sangat krusial untuk memastikan penggunaannya efektif dan aman, dengan memastikan semua komponen terpasang dengan benar sesuai desain dan fungsinya. Cara kerja *smoke tunnel* bergantung pada *smoke generator* sebagai penghasil asap, dengan pengaturan kecepatan motor kipas yang harus diperhatikan agar aliran asap tidak terlalu cepat dan mengakibatkan turbulensi, sehingga aliran udara tetap stabil, berkecepatan rendah, dan memungkinkan visualisasi pola aliran udara yang jelas.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mattew Alexander & Halim Levin, "Perancangan awal wind tunnel untuk pengujian turbin Angin," *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, vol. 17, no. 2, pp. 51-58, 2022. DOI:<https://doi.org/10.36289/jtmi.v17i2.350>
- [2] Rumapea Radella & Supriyadi Deddy, "Pengaruh kekerasan permukaan dinding saluran pada aliran fluida laminar," *Kohesi: Jurnal Sains dan Teknologi*, vol. 2, no. 11, pp. 59-65, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3785/kohesi.v2i11.2739>
- [3] Stefphanie, C., Rustana, C. E., & Nasbey. H, "Pengembangan Desain Terowongan Angin sederhana," *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-JOURNAL)*, vol. 3, pp. 347-351, 2014. Retrieved <https://journal.unj.ac.id/unj/index.php/prosidingsnf/article/view/5546>
- [4] Mukhlisin, A., Erwin, E., & Wiyono, S., "Rancang Bangun Smoke Generator pada Kecepatan Angin Rendah dengan Wind Tunnel Rangkaian Terbuka Design at low wind speed with open circuit wind tunnel," *Jurnal Asimetri: Jurnal Ilmiah Rekayasa Dan Inovasi*, vol. 4, no. No 1 tahun 2022, pp. 81-88, 2022. <http://journal.univpancasila.ac.id/index.php/asiimetrik/>
- [5] Aditya, Vikra & Alchalil, Alchalil & Mch Asnawi & Rahman, Abdul, "Analisa Indikator Kinerja Terowongan Angin Rangkaian Terbuka (Open Circuit Wind Tunnel) Tipe Subsonic," *Malikussaleh Journal Of Mechanical Science and Techonology*, vol. vol 7, no. no. 2, pp. 120-127, 2023. DOI: 10.29103/mjmst.v7i2.13658.
- [6] Wiratama Caesar, "Terowongan Angin (Wind Tunnel)," *Aeroengineering.co.id*, 2017. caesar@aeroengineering.co.id. Akses 16 april 2024
- [7] W. Abdiel Jeremi, "Wind Tunnel: Aset Berharga Pengembangan Kedirgantaraan di ITB," Institut Teknologi Bandung, 25 Mei 2016. [Online]. Available: <https://www.itb.ac.id/>.

- [8] Haryanti, Munnik., & Awaludin, M, "Rancangan Sensor Kecepatan Angin Pada Wind Tunnel," *Tesla*, vol. vol 21, no. 1, pp. 44-49, 2019. Available: <https://www.itb.ac.id/>.
- [9] D. Anggoro, "Analisis Pengujian Aerodinamis pada Bodi Minimodelleing Mobil Jenis MPV dengan Menggunakan Software Solidworks Terhadap Open Circuit Wind Tunnel," *Semanticscholar*, 2015. <https://www.semanticscholar.org/paper/ANALISIS-PENGUJIAN-AERODINAMIS-PADA-BODI-MOBIL-MPV-Anggoro/0793f49b19ca3bbc2b61374aa67e972d3492759b>
- [10] Prayitno Irwan, "Kabut Asap," sumbarprov.go.id, 21 Maret 2014. [Online]. Available: <https://sumbarprov.go.id/home/news/2137-kabut-asap>.
- [11] Nina. Yulianti, Pengenalan Bencana "Kebakaran dan Kabut Asap Lintas Batas", Bogor-Indonesia: PT Penerbit IPB Press, 2018.
- [12] Amat Chaeroni & Agus Suguharto, "Analisa Perancangan *Smoke tunnel portable* Sebagai Alat Visualisasi Airflow Wind Tunnel," *Jurnal Teknologi Kedirgantaraan*, vol. Vol 7, no. No 2, pp. 110-123, 2022. DOI: <https://doi.org/10.35894/jtk.v7i2.61>