



Optimasi Keseragaman Aliran Subsonic Wind Tunnel melalui Konfigurasi Screen Mesh dan Honeycomb

Optimization of Subsonic Wind Tunnel Flow Uniformity Using Screen Mesh and Honeycomb Configurations

Ashim Al Afif¹, M.Yasep Setiawan^{1*}, Wawan Purwanto¹, Dwi Sudarno Putra¹

Abstrak

Kebutuhan pengujian aerodinamika menuntut kualitas aliran yang seragam pada terowongan angin subsonik. Penelitian ini bertujuan mengoptimasi konfigurasi *screen mesh* dan *honeycomb* untuk menurunkan intensitas turbulensi dan menghasilkan aliran laminar pada *subsonic wind tunnel* skala laboratorium. Metode yang digunakan adalah eksperimen dengan tujuh konfigurasi, mulai tanpa *screen*, satu hingga tiga lapis *screen mesh*, serta kombinasi *screen mesh* dan *honeycomb*. Visualisasi aliran dilakukan menggunakan *smoke visualization* pada *test section*. Hasil menunjukkan bahwa empat konfigurasi awal masih menampilkan pola aliran berpusar dengan kecepatan sekitar 5,8–5,4 m/s. Penambahan *honeycomb* pada konfigurasi kelima hingga ketujuh menghasilkan aliran yang lurus dan stabil dengan kecepatan lebih rendah ($\pm 4,6$ – $4,3$ m/s) dan karakteristik *laminar flow*. Konfigurasi tiga lapis *screen mesh* dan *honeycomb* memberikan kestabilan aliran terbaik dan direkomendasikan untuk pengujian aerodinamika bodi kendaraan.

Kata Kunci

subsonic wind tunnel, screen mesh, honeycomb, turbulence intensity, laminar flow

Abstract

Reliable aerodynamic testing requires highly uniform flow in a subsonic wind tunnel. This study aims to optimise the configuration of screen mesh and honeycomb inserts to reduce turbulence intensity and obtain laminar flow in a laboratory-scale subsonic wind tunnel. An experimental method was employed with seven configurations: no screen, one to three layers of screen mesh, and combinations of screen mesh and honeycomb. Airflow in the test section was evaluated using smoke visualization. The first four configurations still exhibited vortical patterns with velocities around 5.8–5.4 m/s. Adding a honeycomb in the fifth to seventh configurations produced straight and stable streamlines with lower velocities (≈ 4.6 – 4.3 m/s) characteristic of laminar flow. The configuration with three layers of screen mesh and a honeycomb yielded the most stable flow and is recommended for aerodynamic testing of vehicle bodies.

Keywords

subsonic wind tunnel, screen mesh, honeycomb, turbulence intensity, laminar flow

¹ Departemen Teknik Otomotif, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang
Jln. Prof. Dr. Hamka, Air Tawar, Padang Sumatera Barat, Indonesia

* m.yasepsetiawan@ft.unp.ac.id

Dikirimkan: 11 Oktober 2025. Diterima: 11 November 2025. Diterbitkan: 28 November 2025.

PENDAHULUAN

Kebutuhan manusia akan transportasi terus meningkat seiring perkembangan zaman. Hal ini tercermin dari tingginya penggunaan berbagai moda transportasi darat, laut, maupun udara. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa manusia modern hampir tidak dapat dipisahkan dari alat transportasi. Di sisi lain, pengguna menuntut kendaraan dengan performa tinggi, nyaman, dan memiliki desain bodi yang menarik. Desain bodi kendaraan menjadi salah satu fokus utama pengembang industri otomotif karena bentuk bodi berpengaruh langsung terhadap kemampuan kendaraan saat melintasi aliran udara [1].

Aerodinamika, sebagai cabang dari mekanika fluida, mempelajari pengaruh aliran udara terhadap benda yang bergerak menembus fluida, khususnya udara. Salah satu cara utama untuk mengkaji karakteristik aerodinamika adalah melalui pengujian di *wind tunnel*. *Wind tunnel* (terowongan angin) merupakan peralatan berbentuk tabung atau lorong yang digunakan untuk mempelajari fenomena aliran udara pada kecepatan tertentu yang melewati suatu benda padat [2]. Dalam konteks rekayasa kendaraan, *wind tunnel* memungkinkan peneliti mengevaluasi gaya hambat (*drag*), gaya angkat (*lift*), serta pola aliran di sekitar bodi secara terkontrol.

Perkembangan ilmu aerodinamika, khususnya terkait teknologi *wind tunnel*, terus mengalami kemajuan. *Wind tunnel* pertama kali dikembangkan oleh Francis Wenham dan John Browning di Inggris pada tahun 1871 untuk menstimulasi kondisi penerbangan dalam atmosfer. Meskipun dari sudut pandang saat ini konstruksinya masih sederhana, terowongan angin Wenham menjadi tonggak utama dalam penelitian aerodinamika selama lebih dari satu abad berikutnya [3]. Seiring meningkatnya kebutuhan transportasi, pentingnya penelitian terkait peningkatan performa aerodinamika kendaraan juga semakin mengemuka.

Dari sisi konsumsi energi, bentuk bodi kendaraan berperan penting dalam menentukan besarnya gaya hambat udara. Bodi yang dirancang lebih aerodinamis mampu menurunkan gaya hambat dan pada akhirnya mengurangi kebutuhan energi kendaraan [4]. Rekayasa bentuk bodi untuk mendapatkan karakteristik aerodinamika yang optimal umumnya dilakukan melalui kombinasi simulasi numerik dan pengujian eksperimental di *wind tunnel* [5]. Berbagai studi menunjukkan bahwa modifikasi desain bodi, khususnya pada bagian depan dan samping, dapat menurunkan koefisien *drag* dan *lift* secara signifikan [1]. Temuan-temuan tersebut menegaskan bahwa kualitas aliran udara di sekitar benda uji sangat menentukan akurasi evaluasi aerodinamika.

Dalam praktik pembelajaran dan penelitian aerodinamika, *wind tunnel* menjadi sarana utama untuk mensimulasikan aliran udara melewati benda uji. Namun, karakteristik aliran di *test section* tidak selalu ideal; aliran yang masih turbulen atau tidak seragam dapat menyulitkan proses analisis dan menurunkan reliabilitas data. Untuk memvisualisasikan pola aliran, biasanya ditambahkan asap (*smoke*) ke dalam aliran yang dialirkan melalui *rake nozzle* sehingga membentuk garis-garis aliran yang mewakili aliran laminar. Kualitas visualisasi ini sangat bergantung pada kestabilan dan keseragaman aliran di dalam *wind tunnel*.

Salah satu komponen penting untuk meningkatkan kualitas aliran di *test section* adalah *screen*. *Screen* dipasang sebelum *test section* untuk mengubah aliran yang tidak seragam menjadi lebih seragam dan mengurangi intensitas turbulensi [6]. Aliran yang datang dengan kecepatan dan sudut tertentu ketika mengenai *screen* akan mengalami penurunan kecepatan dan penyusutan sudut keluaran, sehingga arah aliran menjadi lebih sejajar dengan sumbu utama aliran. Selain *screen*, penambahan elemen lain seperti *honeycomb* juga lazim digunakan untuk merapikan aliran dan menekan komponen kecepatan melintang. Modifikasi desain berupa penambahan lembaran (*sheet*) atau *screen* telah dilaporkan efektif untuk menurunkan intensitas turbulensi [7].

Di lingkungan laboratorium Teknik Otomotif Universitas Negeri Padang, pengembangan fasilitas *wind tunnel* telah dilakukan antara lain melalui rancang bangun *smoke machine* untuk visualisasi aliran. Penelitian tersebut berfokus pada perancangan alat pembangkit asap agar pola aliran di terowongan angin dapat diamati secara konstan dan jelas. Meskipun demikian, masih diperlukan kajian lanjutan untuk mengoptimalkan kualitas aliran di dalam subsonic *wind tunnel*, khususnya terkait pengaruh variasi konfigurasi *screen* dan *honeycomb* pada bagian *contraction cone*.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini diarahkan untuk mengkaji dan mengoptimalkan kualitas aliran dalam subsonic *wind tunnel* melalui penambahan variasi *screen Mesh* pada *contraction cone*, dengan atau tanpa kombinasi *honeycomb*. Fokus utama penelitian adalah mengidentifikasi konfigurasi penyetabil aliran yang mampu menghasilkan aliran mendekati laminar dan seragam di *test section*, sehingga *wind tunnel* lebih layak digunakan untuk eksperimen aerodinamika bodi kendaraan dengan tingkat akurasi dan repeatabilitas yang lebih baik [1].

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen yang dilaksanakan pada terowongan angin (*wind tunnel*) subsonik di laboratorium. Fokus utama eksperimen adalah mengkaji pengaruh variasi konfigurasi *screen Mesh* dan *honeycomb* yang dipasang pada bagian *contraction cone* terhadap kualitas aliran udara di *test section*, khususnya dalam menurunkan intensitas turbulensi dan mendekatkan aliran pada kondisi laminar. Pendekatan eksperimen dipilih karena memungkinkan pengamatan langsung terhadap respons aliran udara akibat modifikasi fisik pada saluran aliran, dengan tetap mengacu pada prinsip metode ilmiah yang menekankan observasi terukur terhadap fenomena fisik [8].

Secara umum, tahapan penelitian diawali dengan perancangan variasi *screen Mesh* dan *honeycomb* yang akan diujikan. Beberapa konfigurasi disusun dengan mengkombinasikan ukuran bukaan *Mesh* dan keberadaan *honeycomb* sebagai elemen penyearah aliran. Setiap konfigurasi kemudian diinstal pada bagian *contraction cone wind tunnel* dengan prosedur pemasangan yang sama untuk memastikan kondisi perbandingan yang adil. Setelah instalasi, *wind tunnel* dioperasikan pada kecepatan aliran inlet sekitar 5 m/s, yang dipertahankan konstan selama pengujian untuk setiap konfigurasi.

Pengukuran kualitas aliran dilakukan di *test section* melalui pencatatan kecepatan aliran rata-rata dan fluktuasi kecepatan untuk menghitung intensitas turbulensi. Nilai intensitas turbulensi digunakan sebagai indikator utama kestabilan aliran: semakin rendah intensitas turbulensi, semakin baik kualitas aliran untuk keperluan eksperimen aerodinamika bodi kendaraan. Selain pengukuran kuantitatif, dilakukan juga visualisasi aliran menggunakan *smoke machine* yang sebelumnya telah dirancang dan dikembangkan di laboratorium terkait. Asap dialirkan melalui *rake nozzle* ke dalam aliran dan diamati pola garis alirannya di dalam *test section* untuk melihat apakah aliran cenderung seragam dan lurus (mendekati laminar) atau masih menunjukkan gejala turbulen.

Data hasil pengukuran kecepatan dan intensitas turbulensi untuk setiap variasi *screen* dan *honeycomb* kemudian dianalisis dan dibandingkan. Analisis dilakukan dengan cara membandingkan nilai intensitas turbulensi dan kualitas visualisasi aliran antar-konfigurasi untuk mengidentifikasi kombinasi yang paling efektif dalam mereduksi turbulensi dan menstabilkan aliran. Dari rangkaian tahapan tersebut, diperoleh konfigurasi optimum penyetabil aliran pada *contraction cone* yang direkomendasikan untuk meningkatkan akurasi dan reliabilitas pengujian aerodinamika bodi kendaraan pada *subsonic wind tunnel* yang digunakan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

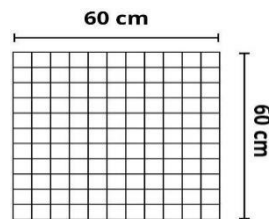
Design Perancangan Alat

Pada penelitian ini, sangat diperlukan sebuah rancangan desain produk yang akan diujikan. Alat yang diperlu dirancang ada 2, diantaranya adalah:

Screen Mesh

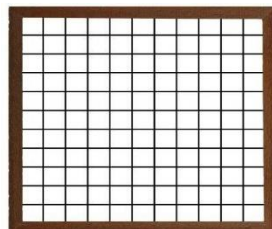
Pada perancangan *screen Mesh* ini, memiliki fungsi untuk membantu mengurangi turbulensi dan mengatur distribusi kecepatan udara sebelum masuk ke *contraction cone* dan *test section*. Dengan adanya *screen Mesh*, aliran udara menjadi lebih beragam sehingga hasil pengujian pada alat *wind tunnel* lebih akurat [9]. Adapun beberapa Langkah pembuatan *screen Mesh*, yaitu:

- 1) Mengukur dimensi kawat dengan ukuran 60×60 cm dengan memiliki ukuran lubang 0,7×0,7 mm. Ukurannya seperti [Gambar 1](#) dibawah ini:



[Gambar 1.](#) Ilustrasi Screen Mesh

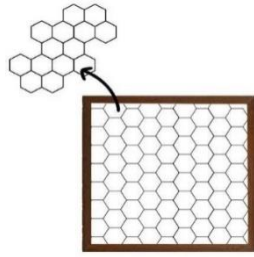
- 2) Kemudian kawat yang telah diukur, lalu diberikan *frame*. Penggunaan *frame* bertujuan agar desain *screen Mesh* lebih kokoh saat dimasukkan kedalam *contraction cone*. Hasil desain alatnya seperti [Gambar 2](#) dibawah ini:



[Gambar 2.](#) Desain Akhir Screen Mesh

Honeycomb

Pada perancangan *honeycomb* ini, bertujuan untuk merapikan arah aliran udara sehingga dapat mengurangi terjadinya turbulensi saat pengujian sampai pada tahap penilaian bahwa aliran tersebut dinyatakan laminar sebelum masuk ke *test section*. Bentuk *honeycomb* yang dipilih adalah heksagonal, karena memberikan distribusi aliran yang merata dengan hambatan minimal serta memiliki struktur yang lebih kuat walau menggunakan material berbahan tipis. Untuk ukuran yang digunakan pada desain *honeycomb* ini adalah 20×20 cm. hasil desain alatnya seperti [Gambar 3](#) dibawah ini:



Gambar 3. Ilustrasi *Honeycomb*

Analisis Data

Analisis data pada penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan *subsonic wind tunnel* melalui variasi jumlah *screen Mesh* (SM) dan dikombinasikan menggunakan *honeycomb* pada *contraction cone*. Pengujian ini dilakukan dalam dua tahap, yaitu:

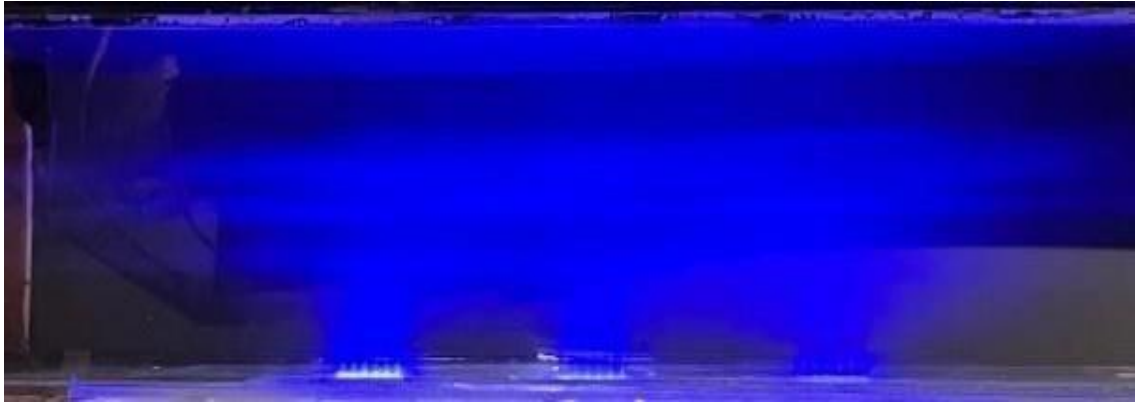
- 1) Pengujian data intensitas turbulensi pada titik tengah *test-section*, diset pada 5 m/s (kontrol).
- 2) Pengujian visualisasi aliran udara menggunakan media asap (*smoke*).

Berdasarkan percobaan ke-1, mengenai intensitas hasil pengujian aliran udara yang dilakukan menggunakan *smoke mechaine* yang tidak menggunakan *screen Mesh* didapati hasil bahwa aliran udara masih terlihat mengalami turbulensi dengan kecepatan 5,82 m/s. Gambar 4 menunjukkan bentuk alirannya.



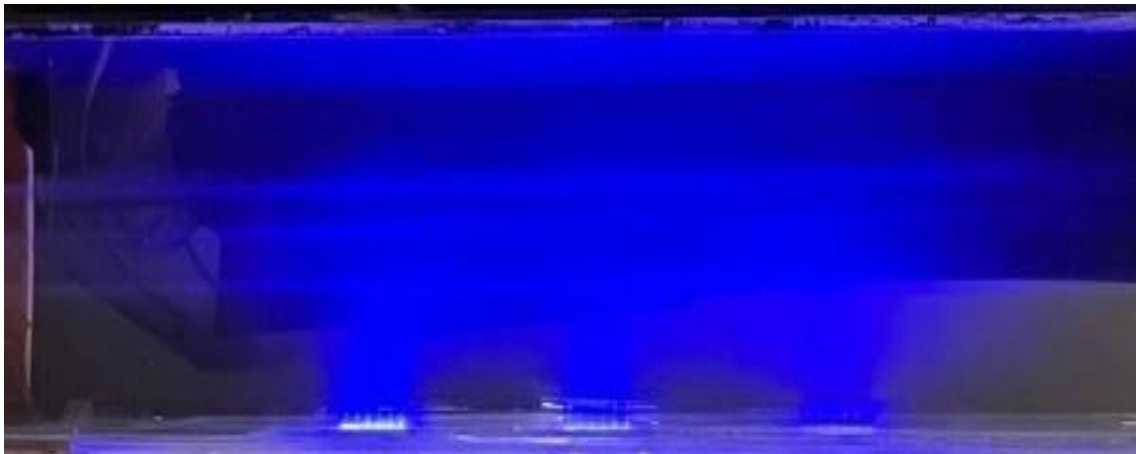
Gambar 4. Percobaan tanpa *screen Mesh*

Selanjutnya, berdasarkan percobaan ke-2, mengenai intensitas hasil pengujian aliran udara yang dilakukan menggunakan *smoke mechine* dengan menggunakan 1 buah *screen Mesh* didapati hasil bahwa aliran udara masih mengalami turbulensi dengan kecepatan 5,81 m/s. Gambar 5 menunjukkan bentuk alirannya.



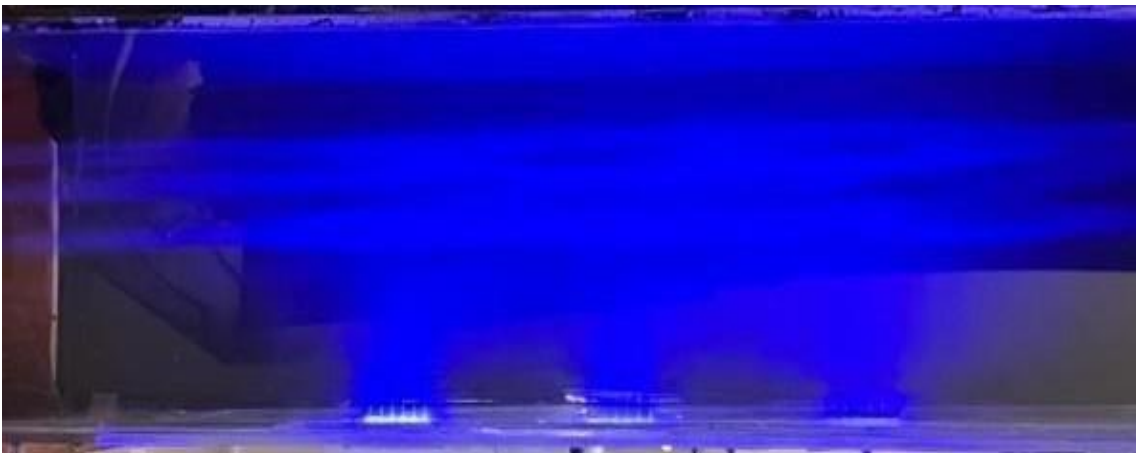
Gambar 5. Percobaan 1 Screen Mesh

Berdasarkan percobaan ke-3, mengenai intensitas hasil pengujian aliran udara yang dilakukan menggunakan *smoke machine* dengan menggunakan 2 buah *screen Mesh* didapati hasil bahwa aliran udara masih mengalami turbulensi dengan kecepatan $5,77 \text{ m/s}$. Gambar 6 menunjukkan bentuk alirannya.



Gambar 6. Percobaan 2 Screen Mesh

Berdasarkan percobaan ke-4, mengenai intensitas hasil pengujian aliran udara yang dilakukan menggunakan *smoke machine* dengan menggunakan 3 buah *screen Mesh* didapati hasil bahwa aliran udara masih mengalami turbulensi dengan kecepatan $5,45 \text{ m/s}$. Gambar 7 menunjukkan bentuk alirannya.



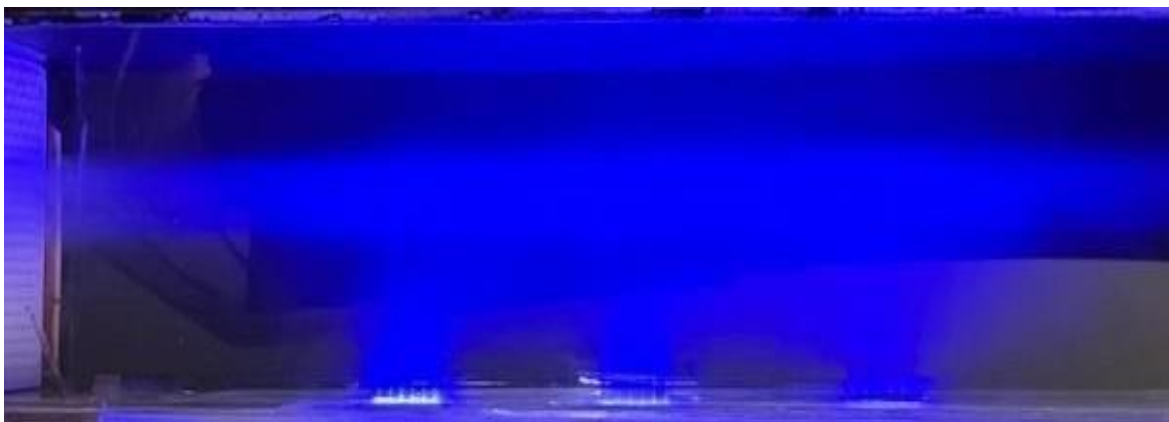
Gambar 7. Percobaan 3 Screen Mesh

Berdasarkan percobaan ke-5, mengenai intensitas hasil pengujian aliran udara yang dilakukan menggunakan *smoke machine* dengan menggunakan gabungan 1 *screen Mesh* dan *honeycomb* didapati hasil bahwa aliran udara tidak mengalami turbulensi dengan kecepatan $4,62\text{ m/s}$ sehingga disebut laminar. [Gambar 8](#) menunjukkan bentuk alirannya.



[Gambar 8](#). Percobaan 1 *Screen Mesh* + *honey comb*

Berdasarkan percobaan ke-6 mengenai intensitas hasil pengujian aliran udara yang dilakukan menggunakan *smoke machine* dengan menggunakan gabungan 2 *screen Mesh* dan *honeycomb* didapati hasil bahwa aliran udara tidak mengalami turbulensi dengan kecepatan $4,44\text{ m/s}$ sehingga disebut laminar. [Gambar 9](#) menunjukkan bentuk alirannya.



[Gambar 9](#). Percobaan 2 *Screen Mesh* + *honeycomb*

Berdasarkan percobaan ke-7, mengenai intensitas hasil pengujian aliran udara yang dilakukan menggunakan *smoke machine* dengan menggunakan gabungan 3 *screen Mesh* dan *honeycomb* didapati hasil bahwa aliran udara tidak mengalami turbulensi dengan kecepatan $4,30\text{ m/s}$ sehingga disebut laminar. [Gambar 10](#) menunjukkan bentuk alirannya.



Gambar 10. Percobaan 3 Screen Mesh + honey comb

Pembahasan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan *screen Mesh* dan *honeycomb* pada *contraction cone subsonic wind tunnel* memberikan pengaruh yang nyata terhadap kualitas aliran di *test section*. Secara umum, data kecepatan rata-rata dan pengamatan visual menggunakan *smoke machine* (yang dirangkum pada tabel hasil intensitas turbulensi) memperlihatkan transisi bertahap dari aliran yang jelas turbulen pada konfigurasi awal menjadi aliran yang mendekati laminar pada konfigurasi dengan kombinasi *screen* dan *honeycomb*. Pola ini sejalan dengan prinsip dasar aerodinamika, bahwa elemen penyearah aliran seperti *screen* dan *honeycomb* berfungsi memecah pusaran besar (*large-scale eddies*) menjadi skala yang lebih kecil sekaligus mengarahkan komponen kecepatan agar sejajar dengan sumbu saluran, sehingga intensitas turbulensi berkurang.

Pada percobaan awal tanpa *screen Mesh*, aliran udara yang melewati *test section* masih menunjukkan karakteristik turbulen yang kuat. Visualisasi asap tidak membentuk garis alir yang lurus, tetapi tampak berputar, berombak, dan menyebar tidak merata, dengan kecepatan rata-rata sekitar 5,82 m/s. Kondisi ini dapat dianggap sebagai *baseline* kualitas aliran *wind tunnel* tanpa perangkat penstabil. Ketidakteraturan ini mengindikasikan adanya distribusi kecepatan yang tidak seragam dan gradien tekanan melintang penampang yang cukup besar, sehingga kurang ideal untuk pengujian aerodinamika bodi kendaraan yang menuntut aliran mendekati seragam.

Ketika satu lapis *screen Mesh* ditambahkan, kecepatan rata-rata aliran hanya sedikit berubah (sekitar 5,81 m/s), dan visualisasi asap masih menunjukkan gejala turbulensi yang jelas. Artinya, satu lapisan *screen* belum cukup untuk menghilangkan pusaran-pusaran dominan yang terbentuk dari *fan* dan ketidaksempurnaan geometri saluran. Pada konfigurasi dua lapis *screen Mesh*, kecepatan turun tipis menjadi sekitar 5,77 m/s dan aliran mulai tampak sedikit lebih teratur. Namun, pola asap masih belum stabil dan masih menunjukkan deviasi dari garis lurus. Hal ini menunjukkan bahwa, meskipun dua lapisan *screen* mulai menurunkan energi turbulensi, jarak antar layar dan karakteristik *Mesh* belum mampu meredam pusaran sehingga aliran belum mencapai kualitas laminar yang diinginkan.

Penambahan tiga lapis *screen Mesh* pada *contraction cone* semakin menurunkan kecepatan rata-rata menjadi sekitar 5,45 m/s. Secara teoritis, penurunan ini wajar karena setiap lapisan *screen* menimbulkan kehilangan tekanan (*pressure loss*) akibat gesekan dan penyempitan efektif area aliran. Visualisasi asap memperlihatkan bahwa aliran menjadi lebih halus dibandingkan konfigurasi sebelumnya, tetapi masih belum sepenuhnya membentuk garis lurus yang stabil. Dengan kata lain, tiga lapis *screen* saja masih menghasilkan aliran transisi:

turbulensi berkurang, tetapi belum mencapai kondisi laminar yang konsisten di seluruh penampang *test section*. Hal ini mengindikasikan bahwa *screen* bekerja terutama sebagai *turbulence reducer*, tetapi tanpa elemen penyearah geometri seperti *honeycomb*, komponen kecepatan melintang masih cukup besar.

Perubahan signifikan terjadi ketika *screen Mesh* dikombinasikan dengan *honeycomb*. Pada konfigurasi satu *screen* + *honeycomb*, visualisasi menggunakan *smoke machine* menunjukkan garis asap yang keluar dari *test section* relatif lurus, stabil, dan tidak menampilkan pola pusaran besar. Kecepatan rata-rata turun menjadi sekitar 4,62 m/s. Penurunan kecepatan ini merupakan konsekuensi logis dari adanya dua elemen resistif dalam jalur aliran, tetapi justru diiringi peningkatan kualitas aliran yang nyata. *Screen Mesh* berperan sebagai filter awal yang memecah pusaran, sedangkan *honeycomb* dengan saluran-saluran sejajar menghilangkan komponen kecepatan melintang dan meluruskan aliran. Kombinasi keduanya menghasilkan aliran yang dapat dikategorikan mendekati laminar di *test section*, sehingga jauh lebih sesuai untuk eksperimen aerodinamika bodi kendaraan.

Pada konfigurasi dua *screen Mesh* + *honeycomb*, kualitas aliran semakin baik. Kecepatan rata-rata turun lagi menjadi sekitar 4,44 m/s, dan hasil pengamatan asap menunjukkan aliran yang sangat stabil tanpa indikasi turbulensi yang berarti. Dalam kerangka bilangan Reynolds pada *wind tunnel* skala subsonik, kecepatan di kisaran ini dengan saluran yang sudah “dibersihkan” dari pusaran besar sangat mendukung tercapainya aliran laminar. Secara teoritis, penurunan kecepatan akan menurunkan bilangan Reynolds dan mengurangi kecenderungan aliran menjadi turbulen, terlebih setelah ketidakaturan kecepatan telah direduksi oleh *screen* dan *honeycomb*. Oleh karena itu, konfigurasi dua *screen Mesh* + *honeycomb* dapat dipandang sebagai titik kompromi yang sangat baik antara kualitas aliran dan kehilangan tekanan/kecepatan.

Percobaan dengan tiga *screen Mesh* + *honeycomb* menghasilkan kecepatan rata-rata lebih rendah lagi, sekitar 4,30 m/s, dengan visualisasi asap yang juga menunjukkan aliran laminar: garis asap bergerak lurus, stabil, tanpa gelombang acak yang menandakan adanya pusaran. Secara kualitatif, kualitas aliran pada konfigurasi ini tidak jauh berbeda dengan konfigurasi dua *screen* + *honeycomb*, namun dicapai dengan biaya kehilangan tekanan yang lebih besar. Artinya, penambahan *screen* ketiga memberikan *gain* tambahan yang relatif kecil terhadap kualitas aliran, tetapi meningkatkan kerugian energi aliran. Dalam konteks desain *wind tunnel*, hal ini penting karena tekanan dinamis (*dynamic pressure*) di *test section* berbanding lurus dengan kuadrat kecepatan; penurunan kecepatan yang berlebihan akan menurunkan gaya aerodinamis yang diukur pada model uji.

Jika seluruh konfigurasi dibandingkan secara menyeluruh, tampak bahwa:

- *Screen Mesh* saja (hingga tiga lapis) mampu menurunkan intensitas turbulensi tetapi belum cukup untuk menghasilkan aliran laminar yang stabil.
- Penambahan *honeycomb* setelah *screen* merupakan faktor kunci yang mengubah pola aliran dari turbulen menjadi mendekati laminar.
- Secara praktis, konfigurasi dua *screen Mesh* + *honeycomb* memberikan kombinasi yang paling seimbang antara kualitas aliran (laminar, garis asap lurus dan seragam) dan besaran kecepatan yang masih cukup tinggi untuk keperluan eksperimen aerodinamika pada *test section*.

Implikasi hasil ini sangat penting bagi pengembangan dan optimasi *subsonic wind tunnel*, khususnya untuk keperluan eksperimen aerodinamika bodi kendaraan di lingkungan pendidikan maupun riset. Konfigurasi *screen* dan *honeycomb* yang tepat memungkinkan *wind tunnel* skala laboratorium menghasilkan aliran yang representatif terhadap kondisi ideal yang diasumsikan dalam teori aerodinamika dan simulasi numerik. Dengan aliran yang lebih laminar dan seragam, pengukuran gaya drag dan lift, distribusi tekanan, maupun visualisasi aliran di

sekitar bodi kendaraan menjadi lebih *reliable* dan *repeatable*. Selain itu, temuan mengenai titik kompromi antara kualitas aliran dan penurunan kecepatan memberikan panduan praktis bagi perancang *wind tunnel* untuk memilih konfigurasi penyearah aliran yang sesuai dengan tujuan eksperimen, apakah lebih menekankan pada kualitas aliran atau pada besarnya gaya aerodinamis yang ingin diukur.

Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya mengonfirmasi secara eksperimen peran *screen Mesh* dan *honeycomb* sebagai elemen penstabil aliran, tetapi juga memberikan rekomendasi konfigurasi optimum yang dapat dijadikan rujukan dalam desain dan modifikasi *subsonic wind tunnel* untuk studi aerodinamika bodi kendaraan.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Berdasarkan tujuh kali pengujian menggunakan *smoke machine* pada *subsonic wind tunnel* dengan berbagai kombinasi *screen Mesh* dan *honeycomb*, dapat disimpulkan bahwa penambahan elemen penyearah aliran berpengaruh nyata terhadap kualitas aliran di *test section*. Konfigurasi tanpa *screen* hingga tiga lapis *screen Mesh* saja (percobaan 1–4) masih menunjukkan gejala turbulensi meskipun kecepatan rata-rata sedikit menurun pada setiap penambahan layar. Perubahan signifikan terjadi ketika *screen Mesh* dikombinasikan dengan *honeycomb* (percobaan 5–7), di mana visualisasi asap menunjukkan aliran yang lurus, stabil, dan bebas pusaran sehingga dapat dikategorikan sebagai aliran laminar. Secara keseluruhan, kombinasi beberapa lapis *screen Mesh* dan *honeycomb* terbukti efektif mengubah aliran awal yang turbulen menjadi aliran mendekati laminar, dengan konfigurasi tiga *screen Mesh* + *honeycomb* menghasilkan stabilitas aliran tertinggi meskipun disertai penurunan kecepatan yang lebih besar.

Saran

Sejalan dengan temuan tersebut, disarankan agar penelitian lanjutan mengoptimalkan konfigurasi *screen Mesh* dan *honeycomb*, khususnya pengaturan jarak antar layar dan posisi relatif terhadap *contraction cone* dan *test section*, untuk memperoleh kompromi terbaik antara kualitas aliran laminar dan kehilangan tekanan. Selain visualisasi menggunakan *smoke machine*, penggunaan instrumen kuantitatif seperti *hot-wire anemometer*, *Pitot tube* yang dipadukan dengan *data acquisition system*, atau pengukuran distribusi tekanan dianjurkan untuk memetakan intensitas turbulensi dan profil kecepatan secara lebih akurat. Penelitian berikutnya juga perlu memperluas rentang kecepatan aliran, baik di bawah 4 m/s maupun di atas 6 m/s, serta (jika memungkinkan) membandingkan hasil uji eksperimen dengan simulasi numerik (*computational fluid dynamics*, CFD) agar model optimasi *wind tunnel* yang dihasilkan semakin kuat secara ilmiah dan aplikatif untuk pengujian aerodinamika bodi kendaraan.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] F. F. Moercahyono and Y. M. Pasaribu, "Dampak kebijakan impor kendaraan terhadap tren desain skuter matik di Indonesia," *Jurnal Desain Indonesia*, vol. 5, pp. 30–57, 2023. [Online]. Available: <https://jurnal-desain-indonesia.com/index.php/jdi/article/download/326/64>
- [2] J. Niulai and N. D. Mustika, "Pengaruh bentuk benda uji terhadap pola aliran angin di ruang uji wind tunnel," *Jurnal Voering*, vol. 7, no. 1, pp. 37–46, Jul. 2022, doi: 10.32531/jvoe.v7i1.486.
- [3] M. Z. A. Zulkipli, I. K. Wiratama, and I. G. N. K. Yudhyadi, "Analisis aerodinamika dan aeroakustik airfoil Wortmann FX63-137," *Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika*, vol. 10, no. 1, pp. 112–124, 2025, doi: 10.20527/sjmekinematika.v10i1.714.

- [4] A. F. Hanafi, P. B. W. Wardhana, M. L. Umar, A. Finali, and W. Saputra, "Desain dan analisis aerodinamis body mobil hemat energi JOGOPATI tipe prototype menggunakan metode computational fluid dynamics," *Sinergi Polmed: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, vol. 5, no. 2, pp. 100–112, 2024, doi: 10.51510/sinergipolmed.v5i2.1670.
- [5] Oleh, D., & Ghofar, A. M. (2024). Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.
- [6] A. T. G., "Analisis dan perhitungan pada daya motor untuk terowongan angin (wind tunnel) tipe subsonic dengan test section $0,2 \times 0,2$ m untuk alat peraga mekanika fluida skala laboratorium," *Mechonversio: Mechanical Engineering Journal*, vol. 2, no. 2, p. 25, 2021, doi: 10.51804/mmej.v2i2.615.
- [7] Q. N. Munawaroh, "Sistem particle image velocimetry untuk mengukur kecepatan aliran terbuka," *MATICS: Jurnal Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi*, vol. 11, no. 2, 2019, doi: 10.18860/mat.v11i2.8413.
- [8] L. A. Gustari and N. K. Riswanto, "Prinsip dasar dan etika dalam penelitian ilmiah," *Pendas: Jurnal Ilmiah Pendidikan Dasar*, vol. 9, no. 4, pp. 486–494, 2024, doi: 10.23969/jp.v9i04.19443.
- [9] A. J. Fakhruhrozi and M. Mulyadi, "Airflow pattern simulation in open type wind tunnel with test section $40 \text{ cm} \times 40 \text{ cm} \times 80 \text{ cm}$," *Indonesian Journal of Innovation Studies*, vol. 13, Jan. 2021, doi: 10.21070/ijins.v13i.533.

Halaman ini sengaja di kosongkan.