



Analisis Pengaruh Penambahan *Passive Grid* Terhadap Turbulensi pada *Wind Tunnel* Skala Kecil

Passive Grid Addition Effect on Turbulence Analysis in a Small-Scale Wind Tunnel

Bima Heska Putra^{1,2}, Erwin^{1,2,3*} dan Slamet Wiyono^{1,2,3}

¹Laboratorium Rekayasa Energi Baru Terbarukan, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Banten 42124, Indonesia

²Jurusan Teknik Mesin, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Banten 42124, Indonesia

³PUI PT Inovasi Limbah Industri Untuk Energi Terbarukan Dan Produk Olahannya, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Banten 42124, Indonesia

Informasi artikel:

Diterima:
10/11/2022
Direvisi:
25/11/2022
Disetujui:
30/11/2022

Abstract

One of the problems encountered by a laboratory with a small-scale wind tunnel facility is that the wind tunnel can only produce limited wind speed to simulate fluid behavior that passes through a tested object. This problem caused the laboratory to be unable to analyze fluid behavior that passed through a tested object. In that case, scale modeling to analyze fluid behavior at a certain speed without having to reach the actual speed is needed. The purpose of this research is to prove the passive grid addition effect on turbulence in a small-scale wind tunnel. The test is done by capturing smoke movement through the test section with and without a grid. Then analyze the collected data with SynthEyes software. The wind speed variation used in this research is between 0.5 and 6.0 m/s. The result of this research is that the smoke flow characteristic in a wind tunnel without a grid tends to be laminar flow, and the smoke flow in a wind tunnel with a grid tends to be turbulence flow. Smoke flow characteristics with a grid are still too far from smoke flow characteristics without a grid with the highest speed variation.

Keywords: *grid, laminar, smoke, turbulence, wind tunnel.*

SDGs:



Abstrak

Salah satu permasalahan yang terdapat pada laboratorium pengujian dengan fasilitas *wind tunnel* skala kecil di seluruh dunia ialah keterbatasan kecepatan angin yang dihasilkan *wind tunnel* untuk mensimulasikan perilaku fluida saat melewati objek yang diuji. Hal ini mengakibatkan laboratorium pengujian tidak mampu menganalisis sejauh mana perilaku fluida saat melewati objek dengan kecepatan tertentu. Oleh karena itu, dibutuhkan permodelan skala sehingga *wind tunnel* dapat mensimulasikan perilaku fluida pada kecepatan tertentu dengan permodelan skala. Penelitian ini bertujuan untuk membuktikan pengaruh penambahan *passive grid* terhadap turbulensi pada *wind tunnel* skala kecil. Pengujian dilakukan dengan merekam pergerakan *smoke* yang melewati *test section* tanpa *grid* dan dengan *grid*. Data yang didapatkan kemudian dianalisis dengan software SynthEyes. Variasi kecepatan angin yang digunakan dalam pengujian adalah 0,5 - 6,0 m/s. Hasil yang didapatkan ialah karakteristik aliran *smoke* pada *wind tunnel* tanpa *grid* cenderung laminar, dan aliran *smoke* pada *wind tunnel* dengan *grid* cenderung membentuk aliran turbulen. Karakteristik aliran *smoke* dengan *grid* dinilai terlalu jauh dari karakteristik aliran *smoke* tanpa *grid* dengan variasi kecepatan tertinggi.

Kata Kunci: *grid, laminar, smoke, turbulen, wind tunnel.*

*Penulis Korespondensi. Tel: -; Handphone: +62 821 8253 5758
email : erwin@untirta.ac.id



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

1. PENDAHULUAN

Aerodinamika merupakan suatu bidang ilmu yang mempelajari bagaimana perilaku fluida saat melewati suatu objek. Konsep inilah yang dikembangkan secara luas dalam penelitian dan pengembangan berbagai bidang dari energi, transportasi, hingga bidang militer (Anderson, 2017).

Penelitian mengenai aerodinamika perlu mengambil pendekatan berdasarkan dari hasil penelitian sebelumnya, teori-teori dan prinsip aerodinamika, serta studi komputasi. Para insinyur perlu memilih pendekatan metode studi secara komprehensif untuk mendapatkan hasil yang terbaik. Secara garis besar, terdapat tiga metode studi yang dapat dilakukan, yaitu studi analitik, studi komputasi, dan terakhir studi eksperimental. Setidaknya, terdapat dua dari tiga metode studi yang harus digunakan untuk mendapatkan hasil terbaik (Jewel B. Barlow, Rae dan Pope, 1999). Studi analitik terdiri atas teori dan prinsip dasar aerodinamika, serta hasil penelitian sebelumnya yang menjadi dasar. Studi komputasi dilakukan dengan hasil perhitungan dan simulasi menggunakan program komputer. Terakhir, studi eksperimental dengan melakukan pengujian langsung, atau menggunakan fasilitas *wind tunnel*. Tahun 1960-an, perkembangan komputer untuk studi komputasi diperkirakan akan menggantikan studi eksperimental dengan *wind tunnel*. Studi komputasi dapat menyimulasikan sebagian besar aliran fluida yang terjadi sebenarnya. Namun, permodelan turbulensi menjadi permasalahan terbesar yang belum bisa dipecahkan dengan studi komputasi dalam mekanika fluida (Barlow, Rae dan Pope, 1999). Maka dari itu, studi eksperimental dengan fasilitas *wind tunnel* masih digunakan dalam studi aerodinamika.

Wind tunnel telah digunakan secara luas pada penelitian dan industri selama lebih dari 50 tahun. Kecepatan angin yang dihasilkan oleh *wind tunnel* memiliki tingkatan turbulensi yang berbeda-beda. maka dari itu, sangat mungkin untuk menggunakan permodelan skala dengan meningkatkan turbulensi pada *wind tunnel* hingga mendekati tingkatan turbulensi pada kecepatan yang diinginkan tanpa harus benar-benar

mencapai kecepatan angin tersebut (Vita, 2016). Hal ini dapat membantu para peneliti selanjutnya untuk mendapatkan kualitas data yang lebih baik.

Salah satu permasalahan yang terdapat pada laboratorium pengujian dengan fasilitas *wind tunnel* skala kecil di seluruh dunia ialah keterbatasan kecepatan angin yang dihasilkan untuk menyimulasikan perilaku fluida saat melewati objek yang diuji. Hal ini mengakibatkan laboratorium pengujian tidak mampu untuk mengetahui sejauh mana perilaku fluida saat melewati objek dengan kecepatan tertentu. Oleh karena itu dibutuhkan suatu permodelan skala yang bertujuan untuk mengetahui perilaku fluida pada kecepatan tertentu tanpa harus mencapai kecepatan sebenarnya.

Kecepatan angin yang dihasilkan dari *wind tunnel* dapat disesuaikan dan masing-masing kecepatan angin memiliki turbulensi yang berbeda-beda. oleh karena itu dapat dimungkinkan untuk mencapai kondisi fluida pada kecepatan tertentu tanpa harus mencapai kecepatan sebenarnya dengan membuat kondisi turbulen pada *wind tunnel* yang mendekati kondisi turbulen pada kecepatan yang diinginkan (Landahl dan Mollo-Christensen, 1992). Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk mencapai kondisi turbulen ialah dengan menambahkan *grid*. Dari beberapa metode yang dapat digunakan untuk meningkatkan turbulensi, metode *passive grid* adalah metode yang paling sederhana, mudah, dan murah untuk meningkatkan turbulensi pada *wind tunnel* (Vita dkk., 2018). *Passive grid* diharapkan dapat menghasilkan turbulensi yang akan digunakan untuk permodelan skala.

Terdapat beberapa variasi bentuk dan geometri dari *grid*, antara lain:

- 1) *Square bar grid*.
- 2) *Rectangular bar grid*.
- 3) *Circular bar grid* (Roach, 1987).

Sedangkan untuk variasi penyusunan *grid* antara lain:

- 1) *Mono planar grid*.
- 2) *Bi planar grid* (Roach, 1987).

Tujuan dari penelitian ini ialah untuk membuktikan pengaruh dari penambahan *passive grid* pada *wind tunnel* skala kecil terhadap turbulensi yang dihasilkan dengan cara

membandingkan pergerakan fluida sebelum dan sesudah dipasang *passive grid*. Kemudian menganalisis pergerakan fluida dengan menggunakan *software* SynthEyes untuk mendapatkan permodelan skala, sehingga wind tunnel dapat mensimulasikan perilaku fluida tanpa harus mencapai kecepatan sebenarnya.

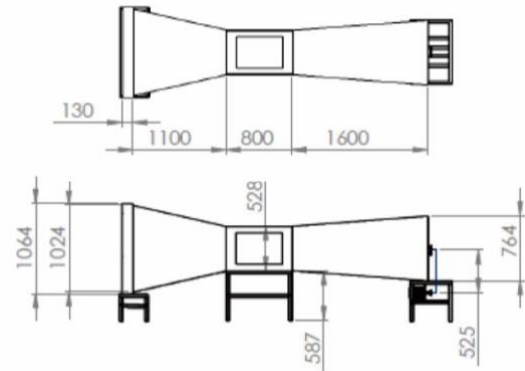
2. METODOLOGI

Metodologi yang digunakan pada penelitian ini ialah metode studi analitik dan studi eksperimental. Studi analitik dilakukan untuk merancang dan mengkalkulasi spesifikasi dari rancangan *grid*, serta mencari tahu karakteristik turbulensi yang mungkin terjadi pada saat pengujian. Studi eksperimental dilakukan untuk mengetahui perilaku aliran fluida yang sebenarnya.

Penelitian ini menggunakan fasilitas *wind tunnel* skala kecil yang telah dimanufaktur pada penelitian sebelumnya. *Wind tunnel* dapat dikategorikan menjadi dua, yaitu *wind tunnel* skala penuh dan *wind tunnel* skala kecil. *Wind tunnel* skala penuh merupakan *wind tunnel* yang dapat menyimulasikan perilaku fluida pada objek dengan ukuran aslinya (skala 1:1), sedangkan *wind tunnel* skala kecil merupakan *wind tunnel* yang dapat menyimulasikan perilaku fluida pada objek dengan model skala yang lebih kecil. *Wind tunnel* yang digunakan merupakan *wind tunnel* tipe terbuka dengan *test section* seluas 0,5 m x 0,5 m, panjang 0,8 m. Menghasilkan kecepatan angin maksimal 7,0 m/s. *Wind tunnel* inilah yang digunakan untuk menunjang studi eksperimental aerodinamika. *Wind tunnel* ini bekerja dengan mengalirkan udara luar yang bersifat turbulen menuju *honeycomb*. Kemudian, udara telah bersifat laminar mengalir ke *test section*, dan terakhir aliran udara mengalir menuju *diffuser* dan keluar menuju udara bebas (Alfahma, Erwin dan Wiyono, 2022). Gambar 1, Gambar 2, dan Gambar 3 menampilkan desain dan wujud *wind tunnel* yang digunakan untuk penelitian ini.

Wind tunnel ini juga dilengkapi dengan *smoke generator* yang dapat membantu melihat perilaku fluida pada saat melewati *test section*. *Smoke generator* bekerja dengan memanaskan gulungan kawat yang dibalut kapas (lihat Gambar

4). kapas telah dibasahi dengan campuran gliserin dan *telon oil*, sehingga dapat menghasilkan asap. Pemanasan kawat dilakukan dengan menggunakan *speed control* untuk mengatur laju pemanasan kawat agar tidak terjadi pemanasan berlebihan (Mukhlisin, Erwin dan Wiyono, 2022).



Gambar 1. Dimensi desain *wind tunnel* dalam satuan mm



Gambar 2. Desain 3D *wind tunnel*



Gambar 3. Wujud *wind tunnel*



Gambar 4. Smoke generator

Pada penelitian ini, pengambilan data pertama dilakukan dengan mengamati pergerakan fluida dalam keadaan normal, dan pengambilan data kedua dilakukan dengan mengamati pergerakan fluida melewati *grid* pada *wind tunnel*.

Desain *grid* yang digunakan dalam penelitian ini didapatkan melalui perhitungan dengan didasari dari konstruksi *wind tunnel* pada penelitian sebelumnya. Variasi *square bar* dipilih karena variabilitas bangun mereka terbatas. Variasi dari kecepatan aliran akan menguntungkan varian *square bar* untuk membatasi variabilitas medan turbulen (Vita, 2016). Ukuran mesh didapatkan dari perhitungan ukuran *mesh* optimal (Laneville, 1973) seperti rumus berikut:

$$\text{Optimal Mesh Size} = L/8 \quad (1)$$

L = menunjukkan panjang dari *test section* dari *wind tunnel* yang akan dipasang *passive grid*. Ukuran *mesh* yang terdapat pada *grid* merupakan ukuran optimal hasil dari perhitungan (Laneville, 1973). Untuk ukuran lebar batang *grid* (*b*) sebesar 20 mm. Setelah rancangan *grid* selesai, besaran koefisien *drag* dapat diketahui berdasarkan ukuran lebar batang *grid* (*b*) dan ukuran *mesh* (*M*) dengan rumus sebagai berikut (Laneville, 1973):

$$C_d = \frac{b/M(2-b/M)}{(1-b/M)^4} \quad (2)$$

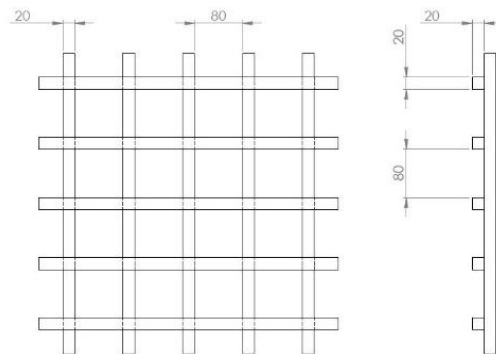
Berdasarkan ukuran mesh dan lebar batang *grid*, didapatkan C_d sebesar 0,879 dari rumus 2.

Drag pada *grid* ini juga terhubung dengan porositas yang dapat dikalkulasi dengan rumus sebagai berikut (Nakamura, Ohya and Ozono, 1988):

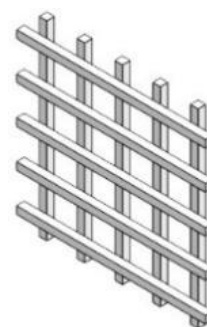
$$\beta = (1 - b/M)^2 \quad (3)$$

Besaran porositas pada rancangan *grid* ini sebesar 0,64 didapatkan dari rumus 3. Besaran porositas yang dianjurkan adalah 0,5 dan akan cenderung menghasilkan besaran $C_d < 2$. Hal ini cukup umum ditemui pada penelitian terkait aerodinamika (Roach, 1987).

Berdasarkan dimensi *wind tunnel* dan hasil perhitungan yang telah dilakukan, didapatkan dimensi dari *passive grid* yang digunakan dalam penelitian seperti pada Gambar 5, Gambar 6, dan Gambar 7.

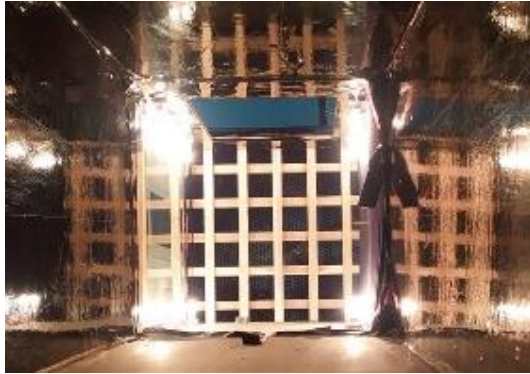


Gambar 5. Dimensi rancangan *passive grid* dalam satuan mm



Gambar 6. Desain 3D rancangan *passive grid*

Passive grid dimanufaktur dengan material kayu agar *grid* memiliki rigiditas yang baik, ringan, dan tidak merusak bagian dalam *wind tunnel* pada saat instalasi. Jenis material yang digunakan tidak akan berpengaruh pada perilaku fluida pada saat pengujian (Vita, 2016).



Gambar 7. *Passive grid* yang sudah terpasang

Setelah melakukan studi analitik, studi eksperimental dilakukan untuk mengetahui secara langsung perilaku fluida. Pengujian dilakukan di Laboratorium Rekayasa Energi Baru Terbarukan Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Adapun tahapannya antara lain:

a. Pra Pengujian:

- 1) Menyiapkan kamera yang diletakkan di depan *test section wind tunnel*,
- 2) Memastikan kapas di dalam *smoke generator* telah dibasahi dengan campuran gliserin dan minyak telon,
- 3) Memastikan *nozzle* keluaran *smoke* tidak tersumbat,
- 4) Menghubungkan *smoke generator* dengan *speed control*,
- 5) Menghubungkan *inverter* dengan motor penggerak fan.

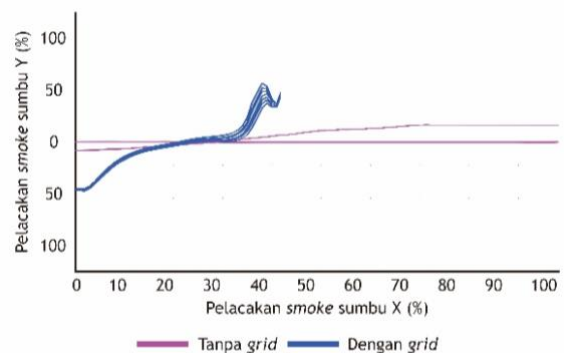
b. Pengujian:

- 1) Melakukan prosedur menghidupkan *wind tunnel*,
- 2) Mengatur frekuensi *inverter* untuk mencapai kecepatan yang diinginkan,
- 3) Memeriksa kembali kecepatan angin dengan *testometer*,
- 4) Menyalakan *smoke generator* dengan arus 3,0 - 4,0 A dan memastikan katup terbuka,
- 5) Memulai perekaman dengan kamera,
- 6) mengulangi langkah 2-5 dengan kecepatan angin yang berbeda,
- 7) Melakukan prosedur mematikan *wind tunnel*,
- 8) Memasangkan *passive grid* di antara *contraction* dan *test section* pada *wind tunnel*,

- 9) Mengulangi langkah 2-5 dengan kecepatan angin yang berbeda,
- 10) Mengolah video yang telah didapatkan,
- 11) Melacak pergerakan *smoke* menggunakan *software SynthEyes*,
- 12) Selesai.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan pengujian, didapatkan data hasil pelacakan pergerakan *smoke* dengan kecepatan angin berbeda. Pengujian dilakukan tanpa *grid* dan dengan *grid*. Analisa pergerakan *smoke* dilakukan menggunakan *software SynthEyes* dengan menempatkan *tracker* pada *nozzle smoke generator* yang kemudian dianalisis per *frame* (Bontas dkk., 2013). Setelah dilakukan analisa, didapatkan grafik hasil pelacakan pergerakan *smoke* dengan kecepatan angin yang berbeda.

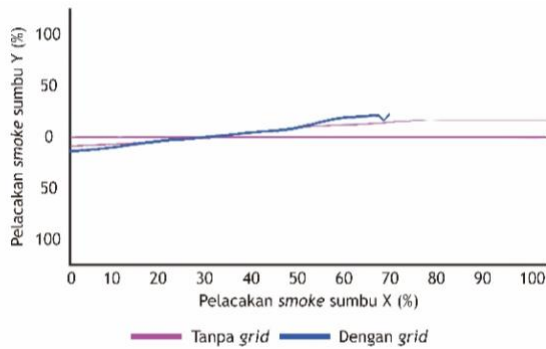


Gambar 8. Grafik pergerakan *smoke* dengan kecepatan angin 0,5 m/s

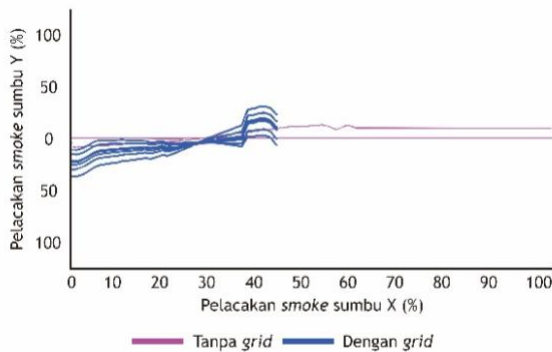
Grafik pada Gambar 8 menunjukkan bahwa pergerakan *smoke* dengan kecepatan angin 0,5 m/s cukup laminar. Terlihat dari konsistensi pergerakan *smoke*, namun terjadi separasi aliran dari bagian tengah hingga akhir *test section*. Sedangkan aliran *smoke* dengan *grid* terdeteksi sangat turbulen sehingga aliran *smoke* tidak dapat terlacak seluruhnya.

Grafik pada Gambar 9 terlihat bahwa pergerakan *smoke* dengan kecepatan angin 1,0 m/s. Konsistensi pergerakan laminar pada *smoke* terjadi hingga bagian tengah *test section*. Setelah melewati bagian tengah *test section*, terjadi separasi aliran yang cukup jauh hingga akhir *test section*. Apabila dibandingkan dengan aliran

smoke dengan grid, terdeteksi sangat turbulen. Pergerakan smoke hanya terlacak sampai bagian tengah *test section*, selebihnya sudah tidak dapat terlacak.



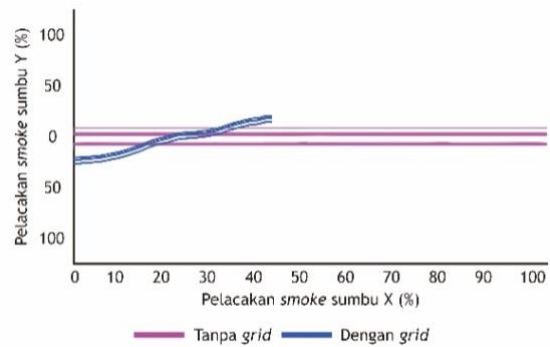
Gambar 9. Grafik pergerakan smoke dengan kecepatan angin 1,0 m/s



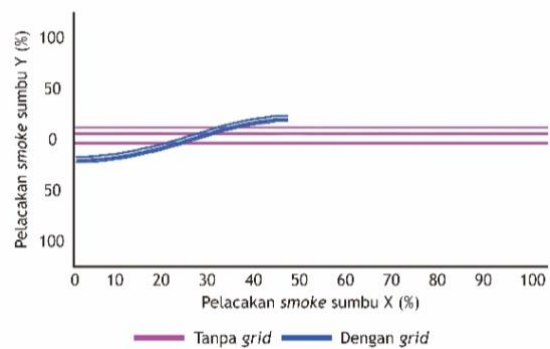
Gambar 10. Grafik pergerakan smoke dengan kecepatan angin 1,5 m/s

Terlihat pada Gambar 10 bahwa pergerakan smoke dengan kecepatan angin 1,5 m/s hingga bagian tengah *test section* cukup rapat dan laminar. Setelah melewati bagian tengah *test section*, terjadi penyebaran aliran arah smoke yang melebar pada akhir *test section*. Pada aliran smoke dengan grid, terdeteksi separasi aliran di awal, membentuk aliran smoke yang sangat turbulen pada bagian tengah *test section*. Aliran smoke sudah terpecah sepenuhnya sehingga aliran smoke tidak dapat terlacak.

Pergerakan smoke yang ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 11 terlihat laminar. Selanjutnya terjadi penyebaran aliran dan sedikit perubahan arah gerak smoke hingga akhir *test section*. Aliran smoke dengan grid terdeteksi mulai terbentuk aliran turbulen pada bagian tengah *test section* sehingga aliran smoke tidak dapat terlacak hingga akhir *test section*.

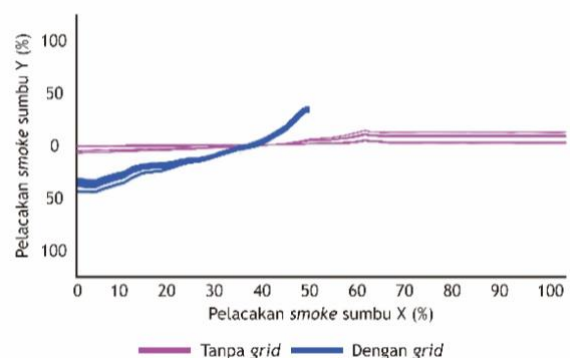


Gambar 11. Grafik pergerakan smoke dengan kecepatan angin 2,0 m/s



Gambar 12. Grafik pergerakan smoke dengan kecepatan angin 2,5 m/s

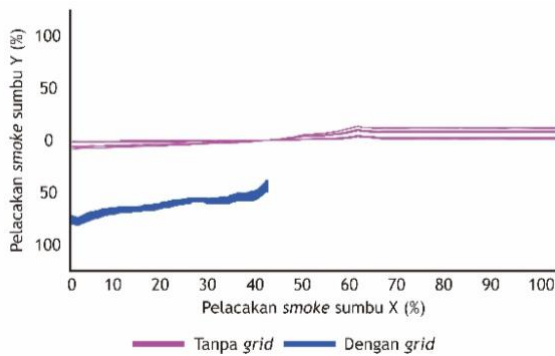
Grafik yang terlihat pada Gambar 12 menunjukkan pergerakan smoke yang cukup laminar, namun terjadi separasi aliran pada bagian awal hingga bagian akhir *test section*. Grafik perbandingan aliran smoke dengan grid terdeteksi membentuk aliran turbulen dari tengah *test section* sehingga aliran smoke terpecah dan tidak dapat terlacak.



Gambar 13. Grafik pergerakan smoke dengan kecepatan angin 3,0 m/s

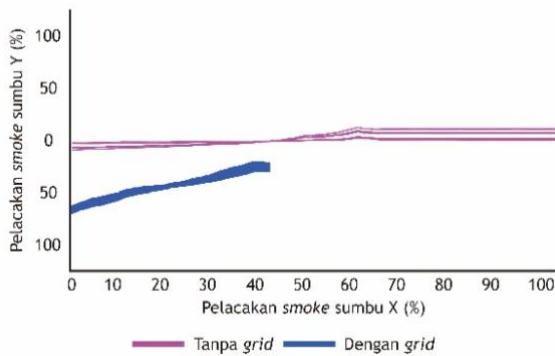
Gambar 13 menunjukkan grafik pergerakan smoke dengan kecepatan angin 3,0 m/s. Terlihat

aliran laminar seragam dari *smoke* pada awal hingga tengah *test section*. Bagian tengah *test section*, terlihat separasi aliran laminar dari pergerakan *smoke*. Melihat grafik aliran *smoke* dengan *grid*, terlacak membentuk aliran turbulen sehingga aliran *smoke* tidak dapat terlacak seluruhnya.



Gambar 14. Grafik pergerakan *smoke* dengan kecepatan angin 3,5 m/s

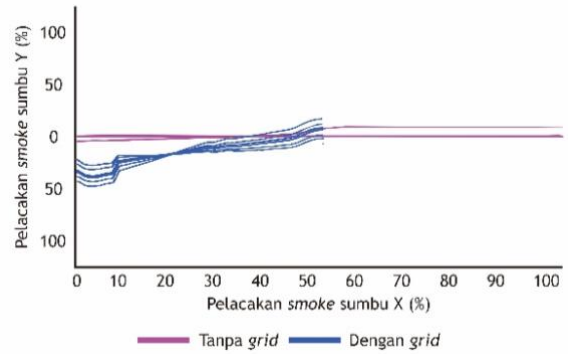
Grafik pada [Gambar 14](#) menunjukkan pergerakan *smoke* yang cukup laminar dari awal hingga akhir *test section*. Terjadi sedikit separasi aliran pada bagian tengah hingga akhir *test section*. Pada aliran *smoke* dengan *grid*, terdeteksi aliran *smoke* bersifat turbulen mulai dari awal *test section* sehingga aliran *smoke* terpecah di bagian tengah dan tidak dapat terlacak.



Gambar 15. Grafik pergerakan *smoke* dengan kecepatan angin 4,0 m/s

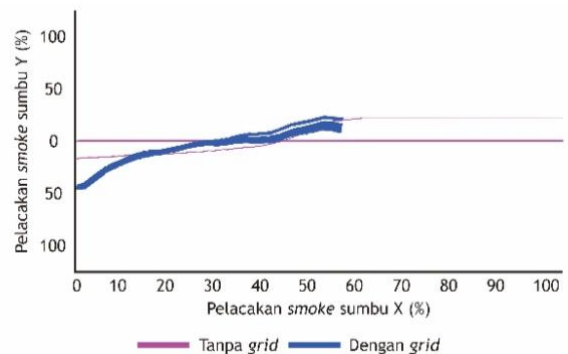
Grafik pada [Gambar 15](#) menunjukkan pergerakan *smoke* yang laminar dan konstan hingga bagian tengah *test section*. Terjadi sedikit separasi aliran *smoke* pada bagian akhir *test section*. pergerakan *smoke* juga terlihat bergerak sedikit ke atas dari bagian tengah hingga akhir

test section. Grafik aliran *smoke* dengan *grid* terdeteksi membentuk aliran turbulen dari awal *test section*. Pada bagian tengah *test section*, terjadi sedikit separasi aliran sebelum aliran *smoke* terpecah dan aliran *smoke* tidak dapat terlacak seluruhnya.



Gambar 16. Grafik pergerakan *smoke* dengan kecepatan angin 4,5 m/s

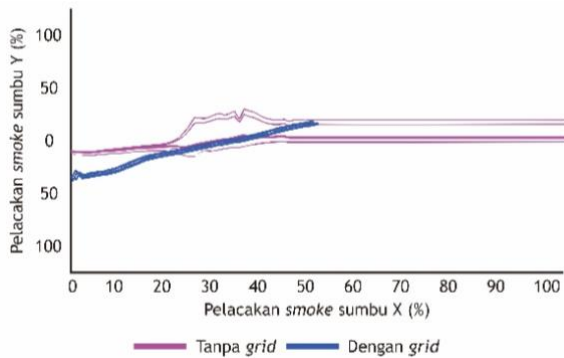
Aliran *smoke* yang ditunjukkan grafik pada [Gambar 16](#) menunjukkan terjadinya sedikit separasi aliran laminar pada *smoke* yang terjadi pada bagian tengah hingga akhir *test section*. Dibandingkan dengan grafik aliran *smoke* yang melewati *grid*, terlacak membentuk aliran turbulen dan separasi aliran dari awal *test section*, pada bagian tengah *test section*, aliran *smoke* terpecah dan tidak dapat terlacak seluruhnya.



Gambar 17. Grafik pergerakan *smoke* dengan kecepatan angin 5,0 m/s tanpa *grid*

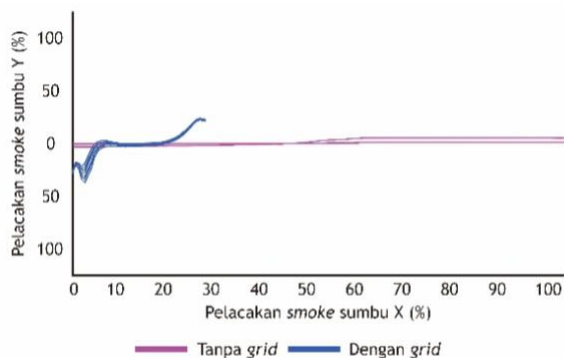
Pergerakan aliran *smoke* laminar pada kecepatan angin 5,0 m/s terlihat seragam hingga bagian tengah *test section*. pada bagian akhir *test section*, terjadi separasi aliran laminar yang cukup jauh pada bagian tengah hingga akhir *test*

section. Sedangkan pada aliran *smoke* dengan *grid*, terjadi sedikit separasi aliran turbulen dari awal hingga bagian tengah *test section* seperti yang ditunjukkan grafik pada Gambar 17.



Gambar 18. Grafik pergerakan *smoke* dengan kecepatan angin 5,5 m/s

Separasi aliran laminar seragam pada *smoke* ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 18. Terjadinya separasi aliran seragam dimulai pada bagian tengah *test section*, kemudian berlanjut hingga ke bagian akhir *test section*. aliran *smoke* pada awal separasi mengalami sedikit perubahan arah, namun kembali normal ketika berada di bagian tengah *test section*. Melihat grafik aliran *smoke* dengan *grid*, terlacak membentuk aliran turbulen pada bagian tengah *test section* sehingga aliran *smoke* terpecah tidak dapat terlacak kembali.



Gambar 19. Grafik pergerakan *smoke* dengan kecepatan angin 6,0 m/s

Grafik pada Gambar 19 menunjukkan pergerakan aliran laminar *smoke* yang cukup baik. Separasi aliran sedikit terjadi pada bagian tengah *test section*. Ketika diuji dengan menggunakan *grid*, dari awal *test section*, aliran *smoke* mulai tidak stabil dan akhirnya membentuk aliran

turbulen pada bagian tengah *test section*. Aliran *smoke* terpecah dan akhirnya tidak dapat terlacak *software*.

Aliran *smoke* yang telah dianalisis sebelumnya beberapa kali mengalami separasi aliran laminar pada variasi kecepatan yang berbeda. Hal ini terjadi karena terdapat deviasi sebesar 9,8% pada keseragaman distribusi aliran yang melewati *test section* pada *wind tunnel*. Hal ini tidak terlalu mempengaruhi hasil dari pengujian karena deviasi yang terjadi masih dalam batas toleransi, yakni sebesar 10% (Erwin, Hidayat dan Wiyono, 2022).

Studi pada penelitian sebelumnya dilakukan untuk mengetahui intensitas turbulensi pada *wind tunnel* dengan kecepatan angin yang lebih tinggi (8,5 m/s) menunjukkan bahwa intensitas turbulensi tertinggi terjadi pada bagian tengah *test section wind tunnel*. Pada bagian tengah hingga akhir *test section*, terjadi penurunan intensitas turbulensi pada aliran (Loganathan dkk., 2017).

Pada penelitian lain juga membuktikan proses terbentuknya aliran turbulen menggunakan *wind tunnel* yang diawali dengan perubahan profil pergerakan aliran angin, kemudian dilanjutkan dengan pembentukan aliran turbulensi yang memiliki intensitas tertinggi pada sekitar bagian tengah *test section* (Molina dkk., 2019).

Penelitian lain mengenai pengaruh turbulensi pada *wind tunnel* yang dilakukan dengan metode simulasi menunjukkan hasil berupa proses terjadinya aliran turbulensi yang dimulai pada bagian awal *test section*. Puncak dari intensitas turbulensi terjadi pada sekitar bagian tengah *test section* dengan keseragaman aliran yang terjadi secara menyeluruh pada *test section*.

4. SIMPULAN

Adapun kesimpulan dari penelitian yang telah dilaksanakan ini adalah perbandingan grafik pelacakan pergerakan aliran *smoke* pada *wind tunnel*. Aliran *smoke* yang mengalir melewati *test section* tanpa *grid* selalu terbentuk aliran laminar konstan pada variasi kecepatan angin antara 0,5 - 6,0 m/s dengan karakteristik aliran yang berbeda. Sedangkan pada aliran *smoke* yang mengalir melewati *test section* dengan *grid* memiliki

karakteristik aliran yang cenderung membentuk aliran turbulen pada variasi kecepatan angin yang sama, namun aliran turbulen yang dihasilkan masih terlalu jauh dari karakteristik aliran yang terdapat pada varian kecepatan tertinggi tanpa *grid*. Aliran turbulen ini terbentuk pada bagian awal *test section*, berlanjut hingga bagian akhir *test section*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kegiatan ini didukung oleh Kementerian Pendidikan Kebudayaan Riset Dan Teknologi dan Lembaga Pengelola Dana Pendidikan melalui pendanaan Program Riset Keilmuan tahun 2021 dengan Nomor Kontrak: 037/E4.1/AK.04.RA/2021.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfahma, F.A., Erwin dan Wiyono, S. (2022) 'Performance Investigation of Low-Speed Wind Tunnel: Stability Wind Speed in Test Section', in *Conference on Broad Exposure to Science and Technology 2021 (BEST 2021)*. *Conference on Broad Exposure to Science and Technology 2021 (BEST 2021)*, Atlantis Press, hal. 439-443.
- Anderson, J.D. (2017) *Fundamentals of Aerodynamics*. Sixth edition. New York, NY: McGraw Hill Education (McGraw-Hill series in aeronautical and aerospace engineering) [Cetak].
- Barlow, J.B., Rae, W.H. dan Pope, A. (1999) *Low-speed wind tunnel testing*. 3rd ed. New York: Wiley [Cetak].
- Bontas, O. dkk. (2013) 'Behaviour of solid particles on a flat oscillating surface', *Environmental engineering and management journal*, 12(1), hal. 17-22.
- Erwin, Hidayat, W.N. dan Wiyono, S. (2022) 'Low Wind Speed Wind Tunnel Performance Test: Uniformity Wind Speed in Test Section', in *Advances in Engineering Research. Conference on Broad Exposure to Science and Technology 2021 (BEST 2021)*, Atlantis Press, hal. 449-452.
- Landahl, M.T. dan Mollo-Christensen, E. (1992) *Turbulence and Random Processes in Fluid Mechanics*. 2nd edn. Cambridge: Cambridge University Press.
- Laneville, A. (1973) *Effects of turbulence on wind induced vibrations of bluff cylinders*. PhD Thesis. University of British Columbia.
- Loganathan, B. dkk. (2017) 'Effect of turbulence on a Savonius type micro wind turbine', *Energy Procedia*, 110, hal. 549-554.
- Molina, A.C. dkk. (2019) 'Effect of turbulence on the performance of VAWTs: An experimental study in two different wind tunnels', *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 193, hal. 103969-103982.
- Mukhlisin, A., Erwin, E. dan Wiyono, S. (2022) 'Rancang Bangun Smoke Generator pada Kecepatan Angin Rendah dengan Wind Tunnel Rangkaian Terbuka', *Jurnal Asimetri: Jurnal Ilmiah Rekayasa & Inovasi*, 4(1), hal. 81-88.
- Nakamura, Y., Ohya, Y. dan Ozono, S. (1988) 'The effects of turbulence on bluff-body mean flow', *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 28(1), pp. 251-259.
- Roach, P.E. (1987) 'The generation of nearly isotropic turbulence by means of grids', *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 8(2), hal. 82-92.
- Vita, G. (2016) *Generating turbulence in Wind tunnel experiments: use of passive grids*. Short-Term Scientific Mission. United Kingdom: University of Birmingham, hal. 1-14.
- Vita, G. dkk. (2018) 'Generating atmospheric turbulence using passive grids in an expansion test section of a wind tunnel', *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 178, hal. 91-104.

