



Smoke Machine Design For Visualization Air Flow In A Wind Tunnel

Rancang Bangun *Smoke Machine* Untuk Visualisasi Aliran Udara Pada *Wind Tunnel*

Restu Sahid¹, M. Yasep Setiawan^{1*}, Dwi Sudarno Putra¹, Hendra Dani Saputra¹

Abstract

This study explores the construction of a smoke machine for visualizing air movement in a wind tunnel. The device produces synthetic smoke using a flat nickel wire heating mechanism to heat liquid glycerin. During the test, three coils were selected to produce the smoke namely flat nickel wire, each with a resistance of 3.5 Ω. A power supply adapter with a 220V DC input and 24V 10A output powers the device. Glycerin liquid is used as the heating medium due to its safety and compatibility with the machine and wind tunnel equipment. The equipment heats 200 ml of glycerin, evaporating it in about 2-3 minutes to produce sufficient smoke. According to research, the device can operate for 4 minutes, allowing the observation of air movements in the wind tunnel using a slow-motion camera.

Keywords

Smoke Machine, Nickel Wire, Glycerin, Subsonic, Wind tunnel

Abstrak

Penelitian ini membahas tentang proses pembuatan alat *smoke machine* pada *wind tunnel* sebagai visualisasi aliran udara. Alat ini digunakan sebagai alat penghasil asap buatan (*smoke*). Peneliti merancang alat menggunakan alat pemanas tipe kawat nikel pipih dengan memanaskan cairan *glycerin*. Dari percobaan yang telah dilakukan peneliti memutuskan menggunakan 3 buah lilitan kawat nikel pipih dengan tahanan 3,5 Ω. Untuk arus supply menggunakan *adaptor power supply* dengan input 220V DC output 24V 10A dan menggunakan cairan *glycerin* yang akan dipanaskan, dikarenakan cairan ini aman untuk digunakan dan tidak menyebabkan kerusakan pada alat *smoke machine* maupun *wind tunnel*. Prinsip kerja alat ini yaitu memanaskan cairan *glycerin* sebanyak 200 ml sehingga menguap yang membutuhkan waktu sekitar 2-4 untuk menghasilkan asap yang baik dan bagus. Dari hasil penelitian alat ini dapat digunakan selama 4 menit menggunakan kamera *slow motion* di *wind tunnel* dalam proses visualisasi aliran udara.

Kata Kunci

Smoke Machine, Kawat Nikel, Glycerin, Subsonic, Wind Tunnel

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

Submitted : July 28, 2024. Accepted : September 14, 2024. Published : September 22, 2024



PENDAHULUAN

Fenomena alam yang banyak terjadi dalam kehidupan nyata adalah fenomena fluida. Zat yang mengalami gaya adalah fluida. Meski ukurannya relatif kecil, zat ini mampu mengalami deformasi lebih lanjut. Zat cair dalam kehidupan sehari-hari sangatlah penting, mengingat hampir semua aktivitas melibatkan cairan. teori mekanika fluida pada awalnya dan secara mendasar dipahami melalui penyelidikan sifat fisik dan atribut suatu fluida [1]. Mekanika fluida adalah subbidang fisika yang berkaitan dengan penyelidikan gaya-gaya yang mempengaruhi cairan, gas, dan plasma. Dua subdisiplin mekanika fluida terdiri dari fluida statis dan fluida dinamis. Ilmu fluida statis menyelidiki keadaan fluida ketika diam, sedangkan ilmu fluida dinamis mengkaji pengaruh gaya pada fluida yang bergerak. Dalam kejadian sehari-hari pada bidang teknik otomotif melibatkan penerapan teori mekanika fluida. Misalnya saat mengoperasikan sepeda motor atau roda tiga. Hambatan udara terlihat jelas. Gaya tarik dapat menghambat kemajuan kita dan mengurangi kecepatan kita [2].

Pergerakan udara sangat sulit untuk dilihat dan diperhatikan secara langsung, hal ini dapat dilihat dengan menggunakan teknik atau metodologi visualisasi. Dengan menggunakan cara mengumpulkan data atau dengan memvisualisasikan aliran dalam bentuk asap. Kita dapat menemukan dan memahami fenomena laju aliran sebenarnya dalam keadaan yang nyata.

Dalam mempelajari aerodinamika secara umum, sering kali kita menemui beberapa kendala terkait pemahaman pengaruh gerak terhadap benda atau kendaraan dalam aliran udara. Tempat latihan yang dapat melakukan simulasi aliran udara dan benda-benda yang bergerak pada aliran udara tersebut adalah tempat latihan aerodinamika yang mempunyai alat yang disebut dengan terowongan angin (*wind tunnel*). Karena di terowongan angin (*wind tunnel*) kita hanya bisa merasakan bagaimana udara mengalir melewati benda uji di terowongan angin [3].

Agar dapat menghasilkan aliran asap pada alat *Smoke Machine* maka diperlukan beberapa alat dan bahan pendukung yang dapat menghasilkan panas. Maka disini peneliti tertarik untuk merancang alat *Smoke Machine* yang aplikatif dengan menggunakan alat dan bahan yang ideal yaitu menggunakan cairan *glycerin* dan menggunakan lilitan kawat lebih dari satu dengan tujuannya untuk mengetahui spesifikasi komponen-komponen yang digunakan untuk membangun mesin pengasap sehingga dapat menghasilkan asap yang pekat dan terus menerus.

Research and Development (R&D) terdiri dari dua istilah “penelitian” dan “pengembangan”, Menurut [4] ada dua kata kerja dalam pernyataan ini, yang masing-masing mempunyai tujuan tindakan. Pembangunan adalah sebutan untuk suatu kegiatan yang mengacu pada penambahan dan perbaikan, baik kualitas maupun kuantitas, serta terjaminnya kegiatan suatu kegiatan itu berfungsi; penelitian adalah suatu proses atau kegiatan ilmiah yang menganut prinsip atau norma penelitian yang konvensional dan diakui secara luas.

Dalam pengujian ini, peneliti akan menggunakan metodologi penelitian dan pengembangan (*Research & Development*) dalam bahasa Inggris berdasarkan eksperimen. Ini adalah teknik penelitian untuk membuat item tertentu dan mengevaluasi kemanjurannya. Ketika peneliti membuat barang tertentu dan sekaligus mengevaluasi kemanjurannya, mereka menggunakan metodologi penelitian dan pengembangan (*Research & Development*) [5].

Smoke Machine

Smoke Machine yaitu sebuah mesin asap yang bisa difungsikan sebagai alat peraga serta menampilkan tampilan angin berupa asap serta benda yang menjadi objek didalam visualisasi udara. Dalam hal ini tujuannya adalah untuk menghubungkannya dengan terowongan angin sebagai visualisasi udara untuk latihan mekanika fluida [6]. *Smoke Machine* berfungsi sebagai alat untuk menciptakan aliran udara berupa asap buatan, yang dapat digunakan untuk mensimulasikan dan memperlihatkan aliran udara serta benda yang bergerak di dalam aliran

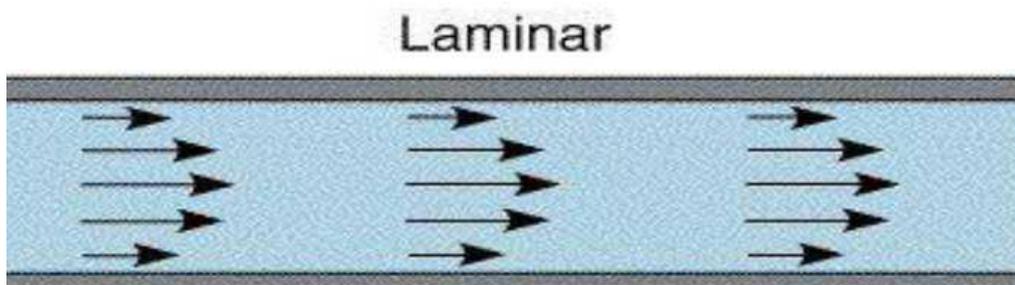
udara yang diarahkan ke terowongan angin (*wind tunnel*) atau dihembuskan. Mesin kabut ini digunakan sebagai pengganti udara karena pergerakan udara sangat sulit diamati secara langsung dengan mata telanjang.

Visualisasi Aliran

Visualisasi Aliran merupakan suatu proses yang membuat fisika pergerakan fluida yang terlihat. Karena sebagian besar fluida udara, air, dll. bersifat transparan, kita tidak dapat melihat pola alirannya kecuali kita menggunakan teknik khusus. Ada tiga metode yang tersedia untuk memvisualisasikan aliran: teknik optik, teknik pelacakan partikel, dan visualisasi aliran permukaan [7]. *Fluid flow* (aliran fluida) adalah aliran gas atau zat cair yang tegangan gesernya merupakan faktor penentu pergerakan zat cair tersebut. Alirannya bisa konstan dan tidak stabil. Dalam mekanika fluida, besaran dimensi seperti bilangan *Reynolds* selalu digunakan untuk menggambarkan perilaku fluida [8].

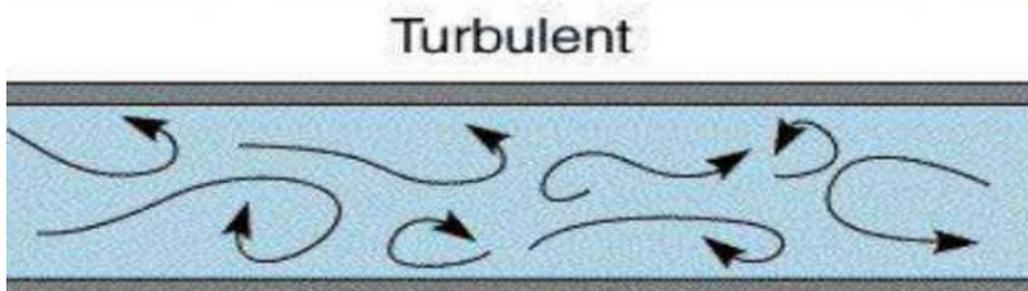
Aliran fluida dapat di kategorikan sebagai berikut:

- Aliran laminar adalah aliran yang suatu lapisan mengalir secara seragam atau aliran fluida yang berlapis-lapis. Viskositas ini digunakan dalam aliran laminar untuk mengurangi kecenderungan pergerakan relatif antar lapisan



Gambar 1 Aliran Laminar

- Aliran turbulen dicirikan oleh pergerakan partikel fluida yang tidak menentu akibat rotasi melintasi lapisan, yang mengakibatkan perpindahan momentum skala besar dari satu komponen fluida ke komponen fluida lainnya.



Gambar 2 Aliran Turbulet

Untuk Bilangan Reynolds, rasio gaya inersia dan gaya viskos, digunakan untuk membedakan aliran laminar, transien, dan turbulen.

$$Re = \frac{v \cdot d \cdot \rho}{\mu}$$

Dimana :

V = Kecepatan (rata-rata) fluida yang mengalir (m/s)

D = Diameter dalam pipa (m)

P = Massa jenis fluida (kg/m³)

μ = Viskositas dinamik fluida (kg/m.s) atau (N.det/m²)

Wind Tunnel

Terowongan angin adalah alat yang difungsikan pada pengujian aerodinamis dengan tujuan mengetahui pengaruh Bergeraknya angin melalui media padat. Motor kipas menggerakkan udara di sekitar produk. Produk ujinya yaitu jenis *wind tunnel* dan dilengkapi menggunakan sensor yang sesuai untuk mengukur sifat aerodinamis seperti gaya aerodinamis, distribusi tekanan, dan koefisien *drag* [9]. Terowongan angin dapat digunakan untuk melakukan analisis numerik aliran fluida yang berhubungan dengan udara yang mengalir melalui terowongan angin [10]. Terowongan angin adalah cara yang cepat, ekonomis dan akurat untuk melakukan studi mekanika fluida dan memperoleh data aerodinamis untuk mendukung keputusan desain [11]. Penjelasan dasar *wind tunnel* merupakan aliran angin dengan penampang berbeda di setiap segmennya, dirancang untuk menyesuaikan sifat angin sebagai contoh percepatan serta tekanan menurut hukum Bernoulli [12]. Model *wind tunnel* dapat dilihat pada [Gambar 3](#).



[Gambar 3](#). Wind Tunnel

Nozzle Smoke Machine

Merupakan alat yang dapat berfungsi sebagai tempat mengeluarkan asap pada terowongan angin untuk memvisualisasikan aliran yang diuji pada objek tertentu dengan menggunakan sistem kabut, Sistem kabut digunakan sebagai sarana visualisasi untuk melihat aliran yang ada di dalam terowongan angin (*Wind Tunnel*) [7]. lubang-lubang dari *Nozzle Smoke Machine* membentuk garis-garis seperti aliran fluida udara di dalam *Wind Tunnel* yang dapat dilihat oleh mata dengan baik berbentuk aliran turbulen maupun aliran laminar. Berikut ini bentuk *Nozzle Smoke Machine* dapat dilihat pada [Gambar 4](#).



Gambar 4. Nozzle Smoke Machine

Glycerin

Glycerin berguna sebagai bahan komersial yang dimurnikan. Cairan ini mengandung 95% mungkin lebih. Macam-macam jenis *glycerin* tersedia secara komersial. Akibatnya kandungan *glycerin* sedikit berbeda dalam berbagai sifat contoh warna, aroma dan pengotor logam. Akhiran -ol pada *glycerin* menunjukkan adanya gugus hidroksil. Pengucapan *glycerin* jarang terjadi karena akhiran ini secara kimiawi menunjukkan basa dan tidak digunakan bersama dengan *glycerin*. *Glycerin* merupakan senyawa gliserida yang paling sederhana. *Glycerin* dalam pembuatan hand sanitizer membantu memudahkan penggunaan alkohol pada kulit. *Glycerin* melembabkan kulit dan mencegah kekasaran kulit akibat alkohol. *Glycerin* bertindak sebagai penghalang kelembapan yang mendorong penyebaran cairan dan melindunginya dari kemungkinan kekeringan [13].

METODE PENELITIAN

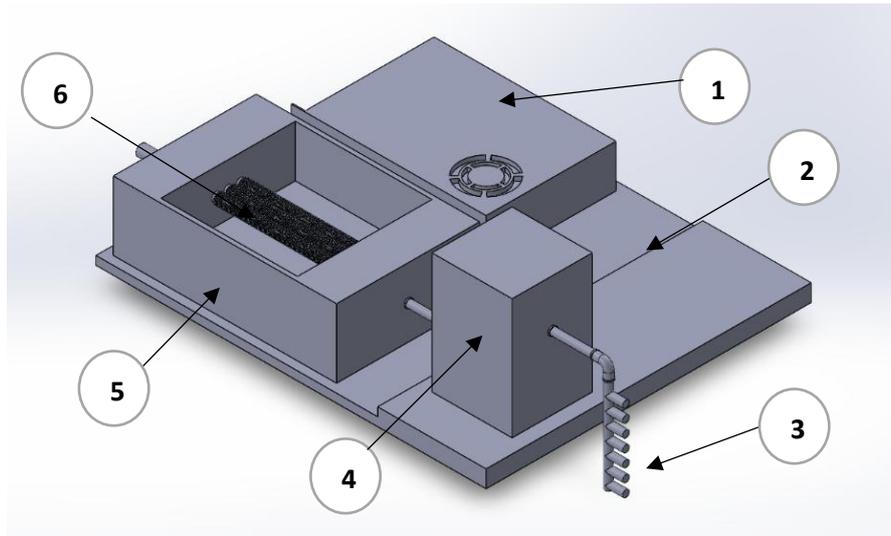
Penulis menggunakan pendekatan desain pengembangan berbasis eksperimen atau *Research and Development* (R&D) untuk melakukan kajian terhadap instrumen ini. merupakan upaya untuk memastikan detail bagian-bagian yang terlibat dalam pembuatan alat *Smoke Machine* ini. Analisis yang dilakukan meliputi pembuatan mesin penghasil asap, mencari tahu berapa banyak pompa asap dan cairan *glycerin*, dan memahami hasil kinerja alat berdasarkan jumlah asap yang dihasilkan selama pengujian [1].

Metode penelitian pengembangan adalah penelitian yang melibatkan pengembangan produk yang sudah ada atau pengembangan produk baru dan menguji keefektifan produk serta ketersediaannya untuk digunakan dalam proses pembelajaran [14].

Langkah-langkah pengembangan yang diaplikasikan dalam penelitian ini diambil dari model Barrows (1996). Terdapat lima langkah pengembangan model: (1) penelitian pendahuluan, (2) pengembangan dan perancangan produk awal, (3) validasi dan revisi ahli, (4) pengujian dan evaluasi model, dan (5) tahapan akhir model dan laporan. Validitas model ditentukan dengan menggunakan uji ahli [15].

Desain alat

Produk-produk (*Research & Development*) dalam bidang teknik diharapkan dapat meningkatkan keefektifan dalam praktek di *workshop*, serta membantu mahasiswa mengetahui pembelajaran praktek dengan baik, berkualitas, dan relevan dengan kebutuhan. Berikut bentuk desain alat *smoke machine* pada Gambar 5.

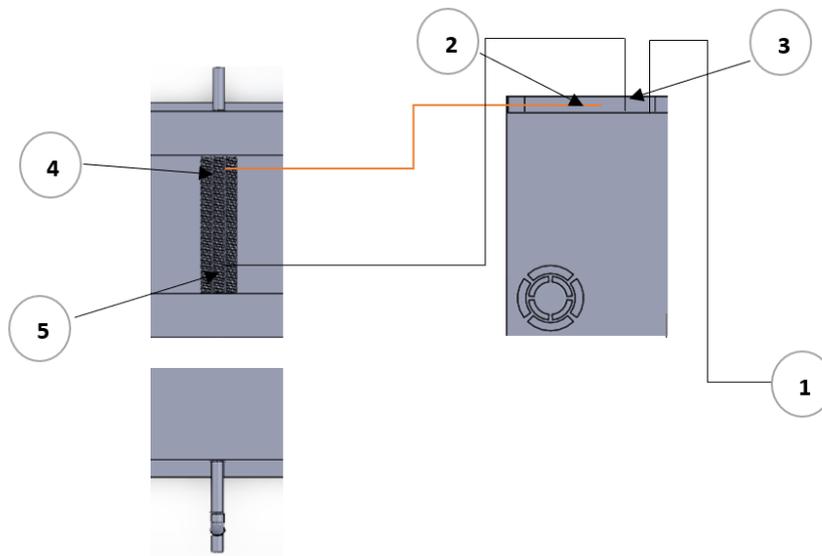


Gambar 5. Desain Alat Smoke Machine

Keterangan:

1. *Adaptor (Power Supply)*
2. Alas papan
3. *Nozzle Smoke*
4. Tempat penampung asap
5. Tempat produksi asap
6. Lilitan kawat nikel

Gambar Kerja



Gambar 6. Gambar Kerja Smoke Machine

Keterangan gambar:

1. Saklar
2. Kutub Positif Adaptor *Power Supply*
3. Kutub Negatif Adaptor *Power Supply*
4. Kutub Positif Kumbaran Kawat Nikel
5. Kutub Negatif Kumbaran Kawat Nikel

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Pada pembuatan alat ini peneliti akan menguraikan proses pembuatan *Smoke Machine* dengan melakukan beberapa tambahan variasi pada alat agar dapat menghasilkan beberapa perbedaan asap yang bagus dan tebal. Yaitu melakukan pergantian *rake nozzle* pada proses pengujian di lakukan. Untuk melakukan proses pengujian peneliti hanya menggunakan satu jenis sistem pemanas berupa kawat nikel yang tipe pipih.

Pada lilitan kawat nikel yang diletakan diposisi tengah. Saat proses pengujian dengan bantuan kamera *slow motion* menghasilkan waktu 4 menit agar dapat menampilkan proses aliran asap yang ada di *Wind Tunnel*. Berikut dapat dilihat bentuk kawat nikel tipe pipih.

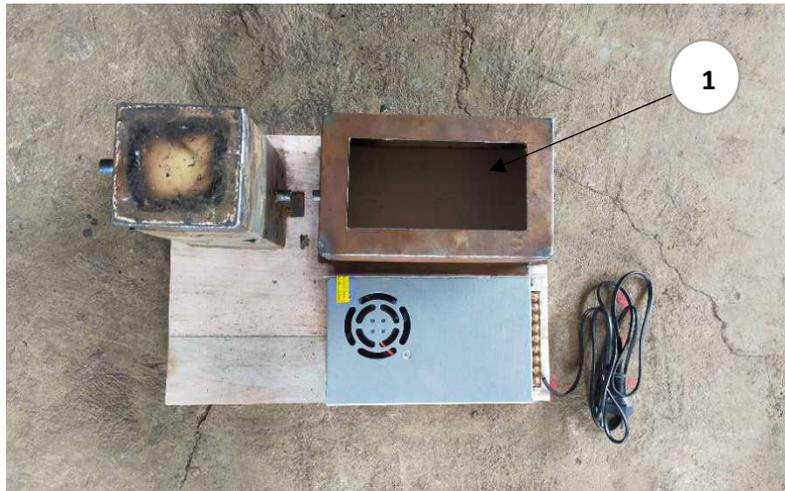


Gambar 7. Lilitan Kawat Nikel

Pemasangan masing-masing alat dan bahan serta posisi alat dan posisi kawat nikel pipih pada alas meja yang telah disediakan, dapat dilihat pada Gambar 8 dan Gambar 9.



Gambar 8. Posisi Alat *Smoke Machine*



Gambar 9. Posisi Kawat Nikel Pipih

Pada proses pembuatan *Rake Nozzle*, sesuai dengan rencana awal pada saat pembuatan dimana peneliti akan membuat 2 variasi *Rake Nozzle* dengan jumlah *Rake* nya sudah ditentukan sebelumnya, maka dilakukan beberapa kali uji coba dan penyesuaian pada *Test Section Wind Tunnel* dengan diameter 20 cm.

Ketika kutub *positive* (+) dan kutub *negative* (-) digabungkan dengan kumparan kawat, banyak panas yang dihasilkan dalam kumparan kawat. Asap dalam jumlah besar kemudian dihasilkan oleh kawat nikel pipih yang dibasahi dengan cairan yang mengandung *glycerin*. Asap ini digunakan dalam terowongan angin untuk menciptakan aliran laminar dan turbulen. Berikut merupakan Gambar dari lilitan kawat nikel terendam cairan *glycerin*.



Gambar 10. Lilitan Kawat Terendam Cairan *Glycerin*

Setelah melakukan beberapa uji coba alat dan bahan yang digunakan untuk menghasilkan asap dari alat *Smoke Machine*. Dari uji coba yang telah dilakukan, peneliti menggunakan lilitan kawat nikel pipih dengan jumlah 3 buah lilitan dengan ketentuan panjang lilitan masing masing kawat nikel yaitu 11 cm, diameter 1 cm dengan memiliki tahanan per lilitan 3,5 Ω . Hasil uji coba alat *smoke machine* dinyatakan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil dari uji coba alat *Smoke Machine*:

Alat <i>Smoke Machine</i>	Keterangan	Skor Kinerja Alat Dan Bahan	
		Sesuai	Tidak Sesuai
	Dari hasil uji coba alat <i>Smoke Machine</i> dapat menghasilkan asap dan alat dapat bekerja dengan sebagaimana fungsinya.	√	

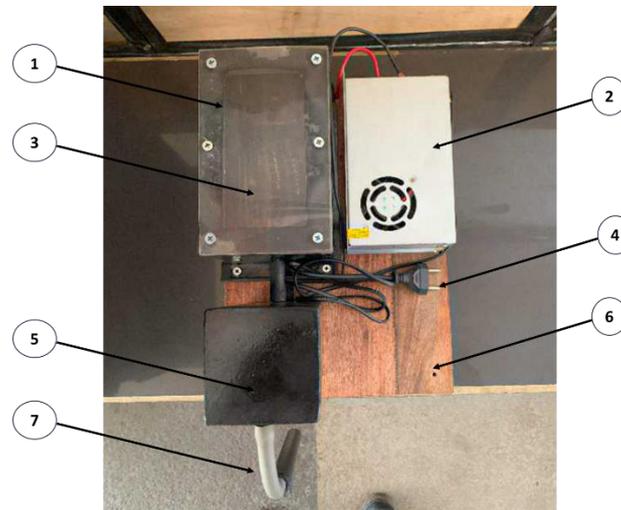
Hasil Pengujian Pada Masing-Masing Alat dan Bahan dilihat pada [Tabel 2](#).

Tabel 2. Pengujian pada Masing-Masing Alat dan Bahan

No.	Alat Dan Bahan	Fungsi	Skor Kinerja Alat Dan Bahan	
			Sesuai	Tidak Sesuai
1	Power Suplai	Tegangan 220 Volt AC Dan 24V dan sebagai sumber arus utama alat	√	
2	Kawat Nikel	Kawat nikel dapat Menghasilkan panas sesuai Dengan fungsinya	√	
3	Cairan <i>Glycerin</i>	<i>Glycerin</i> dapat berfungsi Sebagai cairan dalam sistem pemanas	√	
4	<i>Rake Nozzle</i>	Sebagai tempat keluarnya Asap	√	

Pembahasan

Kawat nikel akan dipanaskan dengan cairan *glycerin* menggunakan *adaptor Power Supply* dengan tipe arus AC input 220V DC output 24V 10A. alat dari *Smoke Machine* ini akan memanaskan cairan *glycerin* sebanyak 200 ml. Jika sudah terhubung semuanya, seperti: sambungan pipa, kawat nikelin, *adaptor power supply* maka alat *smoke machine* siap untuk dilakukan proses pengujian. Berikut gambar dari hasil akhir alat *Smoke Machine*.



Gambar 11. Bentuk Alat *Smoke Machine*

Keterangan:

1. Tempat produksi asap
2. *Adaptor power supply*
3. Lilitan kawat nikel
4. Kabel kontak
5. Tempat menampung asap
6. Alas *Smoke Machine*
7. *Rake Nozzle*

Tabel 3. Spesifikasi Alat

1	Nama alat	<i>Smoke Machine</i>
2	Bahan Alat	Plat Besi
3	Ukuran Alat (P x L x T)	18,5 cm x 11,5 cm x 11,5 cm
4	Daya Listrik	24V 10A

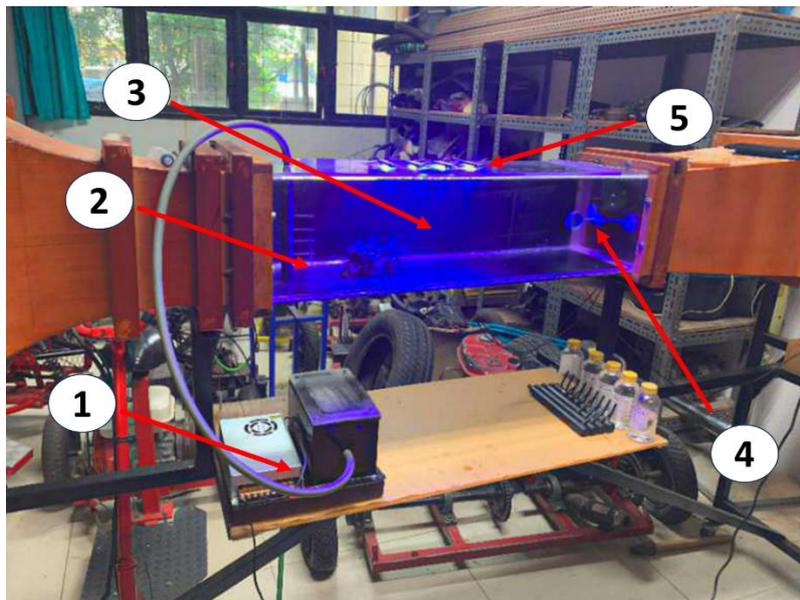
Langkah-langkah proses pengujian:

- a. Tuangkan cairan *glycerin* pada wadah tempat produksi sebanyak 200 ml.
- b. Perhatikan pada lilitan kawat nikel apakah sudah terendam dengan cairan *glycerin*
- c. Kemudian tutup tabung produksi asap dengan mengunci beberapa sisi bagian tabung dengan baut sekrup.
- d. Sambungkan tombol *on* ke stop kontak agar dapat menghidupkan *adaptor power supply*.
- e. Kemudian tunggu 2-3 menit untuk memanaskan lilitan kawat agar dapat menghasilkan asap.
- f. Pada saat *smoke* telah terlihat pada *Wind Tunnel*, mesin asap sudah bisa dilakukan uji coba untuk mengambil data aliran.

- g. Untuk pengambilan data dapat menggunakan foto/video dengan keluaran *rake nozzle* dengan uji coba berkali-kali.
- h. Hasil aliran udara dari *Smoke Machine* dapat mengalir dalam waktu 4 menit dengan menggunakan kamera *Slow Motion*
- i. Setelah hasil data telah dapat, maka alat *Smoke Machine* bisa dimatikan dengan menekan tombol *OFF* pada saklarnya.

Posisi alat smoke machine pada wind tunnel

Setelah dilakukan proses pengujian alat *Smoke Machine*. Maka alat dapat digunakan untuk pengambilan data dengan secara valid. Data yang diambil dari visualisasi aliran udara tersebut berupa gambar maupun video. Berikut merupakan posisi penyetingan alat *Smoke Machine* Di *Wind Tunnel*.



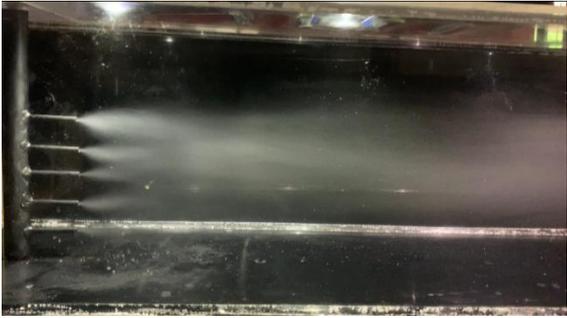
Gambar 12. Posisi Alat Smoke Machine

Keterangan:

1. *Smoke Machine*
2. *Rake Nozzle*
3. *Test Section*
4. *Sensor Anemometer*
5. Lampu Penerangan

Setelah melakukan pengujian alat pada *Wind Tunnel* maka aliran asap akan mengalir melalui *test section* pada *wind tunnel*. Untuk batas waktu dari alat dapat digunakan selama 4 menit menggunakan bantuan kamera *slow motion*. Berikut hasil dari tes produksi asap.

Tabel 4. Rekaman Pengujian

No	Hasil Rekaman Pengujian	Lama Produksi Asap	Keterangan
1.		1 Menit	Asap yang dihasilkan kurang tebal dan kurang terlihat dikarenakan bagian pencahayaan yang tidak cocok dengan warna asap yang dihasilkan.
2.		2 menit	Asap yang dihasilkan tebal dan konstan sehingga aliran udara berupa asap dapat terlihat.
3.		2 Menit	Ketika aliran asap dialiri menggunakan Media yang akan terkena aliran udara tersebut. Kondisi asap yang tebal dengan catatan memanaskan alat selama 2 menit.
4.		2 Menit	Asap yang dihasilkan tebal dan jelas sehingga aliran udara mengenai objek terlihat oleh kamera.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Berdasarkan dari pembahasan dan hasil yang diperoleh peneliti, maka dapat diambil kesimpulan:

Pada pengerjaan rancang *smoke machine* ini telah menguji dengan beberapa percobaan eksperimen seperti, mengidentifikasi desain alat, pemilihan alat serta bahan yang digunakan serta proses pembuatan alat. Agar mendapatkan hasil yang diinginkan peneliti melakukan beberapa kali percobaan agar dapat menentukan berapa lilitan kawat yang akan digunakan dan peneliti menggunakan 3 lilitan kawat nikel tipe pipih sebagai *system* pemanas, dengan menambahkan cairan *glycerin* karna pada cairan ini sangat aman digunakan dan tidak menyebabkan kerusakan pada alat di *wind tunnel*.

Alat ini bekerja dengan cara memanaskan cairan *glycerin* yang berada pada wadah tempat produksi asap (*smoke*) menggunakan lilitan kawat nikel yang berjumlah 3 buah yang terendam Bersama cairan nikel sebanyak 200 ml. Alat ini membutuhkan waktu kurang lebih 2-3 menit untuk mendapatkan asap yang dihasilkan.

Dari hasil pengujian alat *Smoke Machine*, dapat diketahui bahwa alat ini mampu digunakan selama 4 menit per *rake* dalam mengambil data menggunakan kamera *slow motion* dengan produksi asap yang konstan.

Saran

Dalam proses uji coba rancang bangun *smoke machine* di *wind tunnel*, terdapat beberapa kekurangan pada proses pengujian maka peneliti memberi saran sebagai berikut:

Dikarenakan tutup dari tempat produksi asap terbuat dari bahan akrilik, alat tidak dapat lebih lama digunakan dikarenakan akrilik kurang tahan dengan panas maka diperlukan bahan yang bisa mengganti tempat tutup tempat produksi. Pada saat melakukan proses pengujian dengan alat *Smoke Machine*, pada bagian *Wind Tunnel* terdapat sistem penerangan yang tidak tepat atau kurangnya pencahayaan pada *test section* sehingga asap yang terlihat kurang jelas. Diharapkan untuk pengembangan alat ini agar dapat divariasikan atau mencoba mengganti sistem pemanasnya nikel bulat dan mengganti cairan dengan *parrafin*.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] P. Matondang and A. G. Wailanduw, "Rancang Bangun Smoke Generator dengan Aliran Asap secara Konstan untuk Media Pembelajaran di Laboratorium Aerodinamika," *Ejournal.Unesa.Ac.Id*, vol. 6, no. 3, pp. 31–39, 2021, [Online]. Available: <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/jurnal-rekayasa-mesin/article/view/44949>
- [2] M. saifuddin zuhri dan A. G. Wailunduw, "Rancang Bangun Sistem Perpipaian 'Rake' Pada Alat Visualisasi Aliran Di Laboratorium Aerodinamika," vol. 06, pp. 40–48, 2021.
- [3] A. Chaeroni and A. Sugiharto, "Analisa Perancangan Smoke Tunnel Portable Sebagai Alat Visualisasi Airflow Wind Tunnel," *J. Teknol. Kedirgant.*, vol. 7, no. 2, 2022, doi: 10.35894/jtk.v7i2.61.
- [4] S. Rabiah, "Penggunaan Metode Research and Development dalam Penelitian Bahasa Indonesia di Perguruan Tinggi," no. April 2015, pp. 1–7, 2018, doi: 10.31227/osf.io/bzfsj.
- [5] A. Tajuddin, I. Hanafi, and C. S. Kusumohadi, "P Pengembangan Wind Tunnel Berbasis Digital Sebagai Media Pembelajaran Pada Program Studi Teknik Penerbangan Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma," *J. Teknol. Kedirgant.*, vol. 7, no. 1, pp. 66–71, 2022, doi: 10.35894/jtk.v7i1.45.
- [6] A. Chaeroni, "Penyederhanaan Sistem Pemanas Dan Cairan Yang Digunakan Pada Smoke Generator Untuk Alat Peraga Ilmu Aerodinamika," *J. Teknol. Kedirgant.*, vol. 7, no. 1, 2022, doi: 10.35894/jtk.v7i1.52.

-
- [7] A. Mukhlisin, E. Erwin, and S. Wiyono, "Rancang Bangun Smoke Generator pada Kecepatan Angin Rendah dengan Wind Tunnel Rangkaian Terbuka," *J. Asimetrik J. Ilm. Rekayasa Inov.*, vol. 4, pp. 81–88, 2022, doi: 10.35814/asiimetrik.v4i1.2944.
- [8] R. T. Indrawati, "Pola Aliran Fluida Pada Deliquidiser," *J. Penelit. dan Pengabd. Kpd. Masy. UNSIQ*, vol. 5, no. 2, pp. 237–241, 2018, doi: 10.32699/ppkm.v5i2.470.
- [9] M. Y. Setiawan et al., "Subsonic Wind Tunnels Air Speed Control Devices Base on Arduino Controller," *E3S Web Conf.*, vol. 500, 2024, doi: 10.1051/e3sconf/202450003026.
- [10] M. Y. Setiawan, T. Sugiarto, and D. S. Putra, "Pembuatan Perangkat Kontrol Kecepatan Udara di Terowongan Angin Berbasis Arduino Creating Airspeed Control Devices in Arduino-Based Wind Tunnels," no. September, pp. 541–554, 2023.
- [11] H. N. Firmansyah, P. Wirardi, R. F. Naryanto, and K. Karnowo, "Simulasi 3D dan Studi Eksperimental Aliran Udara pada Variasi Geometri Menggunakan Wind Tunnel," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 18, no. 3, p. 395, 2023, doi: 10.32497/jrm.v18i3.4973.
- [12] K. Yanel and A. Yanto, "DESIGN OF LOW SUBSONIC WIND TUNNEL WITH OPEN RETURN," pp. 82–96, 2023, doi: 10.24853/sintek.17.2.82-96.
- [13] S. Rizki, N. Farida, S. W. Sudarman, and Y. Rahmawati ES, "Pelatihan Pembuatan Hand Sanitizer pada Masa Pandemi Covid-19 di Kelurahan Purwosari Kota Metro," *J. Pengabd. Kpd. Masy. TABIKPUN*, vol. 1, no. 1, pp. 11–18, 2020, doi: 10.23960/jpkmt.v1i1.4.
- [14] S. Mandalika1, "Pengembangan Media Pembelajaran Berbasis Video Tutorial untuk Meningkatkan Efektifitas Pembelajaran Pada Mata Kuliah Tata Rias Pengantin," *Pengemb. Media Pembelajaran Berbas. Video Tutor. untuk Meningkatkan. Ef. Pembelajaran Pada Mata Kuliah Tata Rias Pengantin Indones. Mandalika1**, vol. 20, no. 9, pp. 85–92, 2020.
- [15] H. Maksum and W. Purwanto, "Development of a model for automotive vocational education (AVE) learning in technical and vocational education training," *Int. J. Innov. Creat. Chang.*, vol. 9, no. 10, pp. 279–294, 2019.