

## RANCANG BANGUN SISTEM PERPIPAAN "RAKE" PADA ALAT VISUALISASI ALIRAN DI LABORATORIUM AERODINAMIKA

**Mochamad Saifudin Zuhri**

D3 Teknik Mesin, Program Vokasi, Universitas Negeri Surabaya

Email : [mochamad.17050423018@mhs.unesa.ac.id](mailto:mochamad.17050423018@mhs.unesa.ac.id)

**A. Grummy Wailanduw**

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email : [grummywailanduw@unesa.ac.id](mailto:grummywailanduw@unesa.ac.id)

### Abstrak

Mekanika Fluida merupakan disiplin ilmu, yaitu bagian dari bidang mekanika terapan yang mengkaji perilaku dari zat cair dan gas dalam keadaan diam atau pun bergerak. Mekanika fluida dapat dibagi menjadi statika fluida, kinematika fluida, dan dinamika fluida. Dinamika fluida adalah mekanika fluida yang mempelajari fluida bergerak terutama cairan dan gas. Dinamika fluida memiliki pengaplikasian yang luas. Contohnya digunakan dalam menghitung gaya dan moment pada pesawat, *mass flow rate* dari petroleum dalam jalur pipa, dan perkiraan pola cuaca. Fluida merupakan zat-zat yang bisa mengalir yang mempunyai partikel kecil sampai tak kasat mata dan mereka dengan mudah untuk bergerak serta berubah-ubah bentuk tanpa pemisahan massa. Visualisasi aliran digunakan untuk membuat pola aliran dari suatu fluida (salah satunya udara) terlihat yang bertujuan memperoleh data yang akurat. Tujuan penelitian ini adalah untuk membuat penghasil asap yang dapat menyemprotkan asap secara kontinyu. Metode yang digunakan dalam rekayasa adalah dengan memvariasi jarak antara pipa keluaran (*tube*). Variasi *rake* yang digunakan berjumlah tiga buah dengan masing-masing jarak antara pipa keluaran (*tube*) 60 mm (5 buah), 42 mm (7 buah), dan 30 mm (9 buah). Diameter pipa keluaran (*tube*) dan pipa utama (*manifold*) dibuat sama. Hasil rekayasa ini menunjukkan dengan adanya variasi jarak antara pipa keluaran (*tube*) pada *rake* didapatkan hasil visualisasi yang berbeda. Pada variasi pipa keluaran 9 buah hasil keluaran asap (*stream line*) lebih bagus dibandingkan dengan kedua versi yang lain, bisa dilihat dari visualisasi aliran pada titik stagnasi dan aliran terdefleksi ke *upper surface* dan *lower surface*. Sedangkan pada visualisasi aliran dibelakang kendaraan tidak terlalu ada perubahan dikarenakan tidak memvariasikan sudut *diffuser*.

**Kata kunci:** Visualisasi Aliran, *Rake*, Fluida

### Abstract

*Fluid mechanics is a scientific discipline, which is part of the field of applied mechanics which studies the behavior of liquids and gases in a state of rest or motion. Fluid mechanics can be divided into fluid statics, fluid kinematics, and fluid dynamics. Fluid dynamics is fluid mechanics which studies fluids in motion, especially liquids and gases. Fluid dynamics has a wide range of applications. Examples are used in calculating forces and moments on aircraft, mass flow rates of petroleum in pipelines, and forecasting weather patterns. Fluids are substances that can flow which have small to invisible particles and they can easily move and change shape without mass separation. Flow visualization is used to make the flow pattern of a fluid (one of which is air) visible in order to obtain accurate data. The purpose of this research is to create a smoke generator that can spray smoke continuously. The method used in engineering is to vary the distance between the output pipes (tubes). There are three variations of rake used with each distance between the output pipes (tubes) of 60 mm (5 pieces), 42 mm (7 pieces), and 30 mm (9 pieces). The diameter of the outlet pipe (tube) and the main pipe (manifold) are made the same. The results of this engineering show that with variations in the distance between the output pipes (tubes) on the rake, different visualization results are obtained. In the 9 output pipe variations the smoke output (stream line) is better than the other two versions, it can be seen from the visualization of the flow at the stagnation point and the flow is deflected to the upper and lower surfaces. While the visualization of the flow behind the vehicle there is not too much change because it does not vary the angle of the diffuser.*

**Keywords:** Flow Visualization, *Rake*, Fluid

## PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Mekanika fluida adalah bagian dari ilmu fisika yang mempelajari tentang fluida baik cairan atau gas maupun plasma, dan gaya yang mempengaruhinya. Mekanika fluida dapat dibagi menjadi dua yaitu fluida statis dan fluida dinamis. Fluida statis adalah studi tentang keadaan fluida dalam keadaan diam, sedangkan fluida dinamis adalah studi tentang pengaruh gaya terdapat pada fluida yang dalam keadaan bergerak.

Mekanika fluida, terlebih fluida dinamis, adalah bidang penelitian dengan permasalahan terbanyak yang sebagian besar pertanyaannya belum terjawab dengan hanya sebagian yang sudah terjawab. Perhitungan dalam mekanika fluida bisa sangat susah terpecahkan meskipun sudah menggunakan cara matematis, tetapi bisa terselesaikan menggunakan metode numerik, umumnya memanfaatkan perhitungan yang ada pada komputer.

Dinamika fluida merupakan bagian dari mekanika fluida yang fokus untuk mempelajari fluida yang bergerak, terlebih cairan dan gas. Penyelesaian masalah terkait fluida dinamis umumnya menggunakan penghitungan berbagai macam sifat dari fluida, seperti suhu, tekanan, densitas, dan kecepatan. Disiplin ilmu ini memiliki beberapa cabang ilmu yaitu aerodinamika (penelitian tentang gas) dan hidrodinamika (penelitian tentang cairan). Fluida dinamis memiliki berbagai penerapan. Misalnya, dipakai untuk menghitung gaya dan momen pada pesawat terbang, laju aliran minyak bumi di jaringan perpipaan, dan memprakirakan pola cuaca, dan juga termasuk rekayasa lalu lintas, yang mana lalu lintas dianggap sebagai fluida kontinu. Fluida dinamis memberikan struktur matematis yang mendasari ilmu praktis ini, yang mana sering menggunakan hukum empiris dan semi-empiris, yang merupakan turunan dari pengukuran aliran.

Menurut Harinaldi (2013) Mekanika fluida merupakan cabang ilmu dari bidang mekanika terapan yang mempelajari sifat-sifat zat cair dan gas dalam keadaan diam maupun bergerak. Dilihat dari segi mekanis, fluida dibagi menjadi dua, yaitu fluida dinamis dan fluida statis.

Fluida statis merupakan fluida yang dalam fase diam atau fluida yang bergerak tetapi tidak memiliki perbedaan kecepatan diantara partikel-partikelnya atau bisa dikatakan partikel-partikelnya bergerak dengan kecepatan yang sama sehingga tidak terjadi gaya geser. Fluida dinamis merupakan fluida yang berpindah tempat. supaya lebih gampang dipahami, fluida di sini dianggap *steady* (mempunyai kecepatan konstan terhadap waktu), tidak termampatkan (tidak terjadi perubahan volume), tidak kental, tidak turbulen (tidak ada rotasi).

Penelitian ini adalah pengembangan dari penelitian terdahulu (Fahmi, 2016), yang mana pada penelitian terdahulu diberikan beberapa saran untuk mengembangkan alat penghasil asap yaitu *smoke generator*, penghasil asap yang digunakan peneliti sebelumnya untuk memvisualisasikan penelitiannya memiliki beberapa kekurangan, salah satunya yaitu interval dari pengeluaran asap yang tidak bisa terus-menerus dan ada jeda waktu tertentu sehingga kurang efisien digunakan dalam penelitian tersebut.

Penelitian kali ini bertujuan untuk mengembangkan alat sistem perpipaan (*rake*) tersebut agar pengeluaran asap bisa terus berlangsung tanpa jeda waktu tertentu serta pola asap yang keluar lebih baik dan efisien dari sebelumnya. Istilah *rake* diambil dari jurnal penelitian yang dilakukan oleh B. Terry Beck (2008) yang berjudul "A Simple Educational Wind Tunnel Setup for Visualization of Duct Flow Streamlines and Nozzle/Diffuser Boundary Layer Separation". Menurut Merzkirch, (1987:24) istilah "*smoke*" tidak didefinisikan dengan baik dan di sini digunakan dalam arti luas, tidak hanya terbatas pada produk pembakaran juga memasukkan uap, aerosol, kabut, dan *tracer gases* yang menjadi terlihat tanpa perlu menerapkan teknik optik tertentu.

Menurut Asanuma (1979) Metode penelusuran dinding digunakan untuk mempelajari aliran di dekat permukaan objek yang ditempatkan dalam aliran. Metode pelacak pertama (teknik injeksi langsung) diklasifikasikan menjadi lima sub tipe: metode garis-garis (*streak-line*), garis-jalur (*path-line*), suspensi-partikel (*particle-suspension*), permukaan-mengambang (*surface-floating*), dan metode-metode garis waktu (*time-line methods*). Metode pelacak kedua (teknik kontrol kelistrikan) dapat berupa metode gelembung-hidrogen (*hydrogen-bubble*) atau metode penelusuran percikan (*spark-tracing method*). Metode optik menggunakan fenomena seperti refraksi (*refraction*), interferensi (*interference*), *birefringence*, lucutan pijar (*glow discharge*), dan refraksi permukaan (*surface refraction*).

Menurut Merzkirch (1982) Metode penggunaan visualisasi aliran untuk pemeriksaan pembakaran dalam tungku, perpindahan panas dengan penukar panas, dan mesin fluida dieksplorasi, bersama dengan visualisasi aliran dalam pemrosesan makanan, pengecoran baja (*steel-casting*), dan rekayasa proses. Perhatian lebih lanjut diberikan pada aliran pipa dan saluran, pemisahan aliran pada aliran laminar dan sekitar airfoil yang berosilasi (*oscillating airfoils*), *wakes and vortices*, aliran supersonik dan gelombang kejut, serta aliran bertingkat dan oseanografi (*stratified flow and oceanography*). Visualisasi lapisan batas dipertimbangkan untuk berbagai kondisi, dan aplikasi untuk aliran multifase (*multiphase*

*flow*), reologi (*rheology*), dan masalah medis dirinci. Film minyak (*Oil film*), lapisan permukaan kering (*dry-surface coating*), kimia, fluoresen, dan metode minituft (*minituft methods*) disajikan, serta penggunaan pelacak, teknik optik, lampu strobo, laser, akuisisi data terkomputerisasi, dan anemometri kawat panas (*hot-wire anemometry*).

Menurut Yang (1985) Berbagai makalah tentang metode dan aplikasi dalam visualisasi aliran disajikan. Topik yang dibahas meliputi: metode pelacak (*tracer methods*), metode aliran permukaan (*surface flow methods*), reaksi kimia dan metode yang diinduksi laser (*chemical reaction and laser-induced methods*), metode optik, metode grafik yang dihasilkan komputer, dan metode pemrosesan gambar. Juga dibahas adalah: arus terpisah *separated flows* (*separated flows*), pusaran dan bangun (*vortices and wakes*), aliran supersonik dan gelombang kejut, jet, arus internal, aliran lapisan bertingkat dan batas (*stratified and boundary layer flows*), *rheology*; kapal dan ombak, aerodinamika, atmosfer, dan oseanografi (*oceanography*), mesin fluida, perpindahan panas, pembakaran, dan aplikasi biomedis (*biomedical applications*).

Menurut Veret (1987) Aerodinamika dan hidrodinamika masih menjadi bidang penelitian utama yang menggunakan teknik visualisasi aliran, serta teknik optik klasik seperti *schlieren* dan interferometri. Perkembangan yang lebih baru termasuk holografi, spekel (*speckle*), lembaran sinar laser (*laser light sheets*), pelacak yang diinduksi laser dan fluoresensi yang diinduksi oleh laser (*laser-induced tracers and laser-induced fluorescence*). Studi lain menyangkut jet, aliran dua fase (*two-phase flows*), dan antarmuka udara-air (*air-water interface*). Bidang baru penelitian telah dibuka dengan pengembangan perolehan gambar dan teknik pemrosesan menggunakan komputer. Teknik baru ini memungkinkan untuk mendapatkan distribusi kecepatan 2-D atau 3-D secara otomatis dari penempatan jejak partikel pada satu atau beberapa gambar.

Menurut Tanida (1992) dalam dekade terakhir, visualisasi aliran telah maju seiring dengan kemajuan teknologi laser dan komputer. Cakupan dari Simposium Internasional tentang visualisasi aliran akan lebih luas dari sebelumnya, mencakup berbagai informasi yang umumnya dianggap nonvisual dan mencerminkan dimasukkannya metodologi dengan bantuan komputer. Simposium Internasional Keenam tentang Visualisasi Aliran bertujuan untuk menarik partisipasi para ahli dan pengguna teknik visualisasi aliran untuk memajukan filosofi lanjutan untuk pengembangan metode dan aplikasinya.

Visualisasi aliran dalam dinamika fluida digunakan untuk membuat pola aliran terlihat, untuk mendapatkan

informasi kualitatif atau kuantitatif. Visualisasi aliran adalah seni membuat pola aliran terlihat. Sebagian besar fluida (udara, air) transparan sehingga pola alirannya tidak terlihat oleh mata telanjang tanpa metode untuk membuatnya terlihat. Secara historis metode tersebut termasuk metode eksperimental.

Dalam penelitian tugas akhir ini upaya yang mungkin dapat membantu peneliti sebelumnya yaitu dengan cara mengembangkan penghasil asap yang konstan tanpa ada jeda waktu dalam menghasilkan asap serta menambahkan pola pada asap yang keluar. Oleh karena itu peneliti tertarik untuk membuat judul "Rancang Bangun Sistem Perpipaan "Rake" Pada Alat Visualisasi Aliran Di Laboratorium Aerodinamika" diharapkan dengan adanya alat ini hasil visualisasi aliran model bus dengan jelas dari hasil asap yang pekat dan dapat dipergunakan untuk di Laboratorium Aerodinamika.

### Rumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi dan batasan masalah tersebut maka dapat ditentukan rumusan masalah sebagai berikut :

- ❖ Bagaimana desain rancang bangun perpipaan *smoke generator* dengan aliran asap yang konstan?
- ❖ Bagaimana menentukan jarak antara *rake* yang sesuai dengan *output* asap yang diinginkan?
- ❖ Bagaimana perbedaan pola asap yang keluar dari setiap *rake*?

### Batasan Masalah

Agar diperoleh hasil penelitian yang maksimal, maka perlu diberikan pembatasan masalah. Karena cukup banyak masalah yang teridentifikasi, adapun pembatasan masalah diantaranya :

- ❖ Menggunakan tiga variasi *rake*
- ❖ Menggunakan *windtunnel* di laboratorium aerodinamika Universitas Negeri Surabaya
- ❖ Menggunakan obyek miniatur bus dengan skala 1:32.

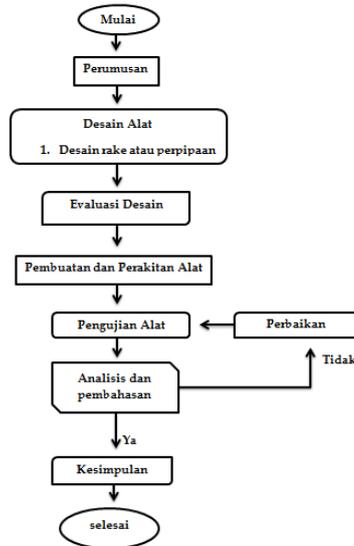
### Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini berdasarkan rumusan masalah yakni sebagai berikut :

- ❖ Mengetahui desain rancang bangun perpipaan *smoke generator* dengan aliran asap yang konstan
- ❖ Mengetahui ukuran pipa yang sesuai dengan hasil asap yang diinginkan
- ❖ Mengetahui panjang pipa yang sesuai dengan *output* asap yang diinginkan

## METODE

Berikut merupakan penjelasan bagaimana tahapan dan metode yang digunakan dalam perancangan sistem perpipaan (*rake*) agar sesuai dengan yang diinginkan



Gambar 1. Flowchart perancangan alat

### Metode Rancang Bangun Alat

Metode yang digunakan dalam pembuatan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

#### ❖ Studi Literatur

Studi literatur digunakan untuk memperoleh informasi, dasar teori yang diperoleh dari buku, dan internet sebagai studi pustaka yang akan mendukung pembuatan tugas akhir.

#### ❖ Analisa

Analisa digunakan untuk menganalisa data dan menghitung data yang diperoleh.

#### ❖ Diskusi

Diskusi ini dilakukan dengan rekan-rekan sesama mahasiswa guna mendapatkan masukan sekaligus koreksi dan pembanding.

### Prosedur Uji Coba

Dikarenakan pengujian dilakukan pada *rake* yang berbeda dan secara bertahap maka dalam proses pengujian tersebut perlu dilakukan pencatatan atau pengumpulan data untuk memudahkan dalam Analisa data dan pengambilan kesimpulan. Diperlukan beberapa variable ketika proses pengujian dan menghasilkan data yang akurat. Peralatan sesuai SOP juga diperlukan dalam pengambilan data. Setelah itu data-data yang dihasilkan dapat dianalisa.

## Hasil Uji Coba

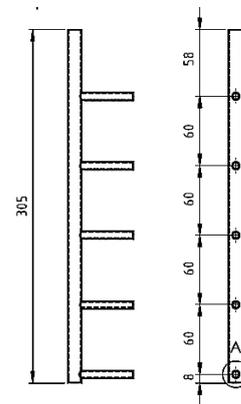
Analisis data menggunakan metode deskriptif. Metode deskriptif adalah suatu metode untuk meneliti status suatu kelompok, objek, keadaan, pemikiran atau golongan dari kejadian-kejadian terkini. Tujuan dari metode deskriptif ini adalah untuk membuat gambaran atau deskripsi yang sistematis, faktual, dan akurat tentang fakta-fakta, ciri-ciri atau hubungan antara fenomena yang diselidiki. (Nazir, 2005:54). Hal ini dilakukan untuk memberikan gambaran dari setiap data yang dihasilkan. Langkah selanjutnya adalah mendeskripsikan data dalam bentuk kalimat-kalimat yang mudah dibaca dan dipahami sebab merupakan upaya mencari jawaban atas permasalahan yang diteliti.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

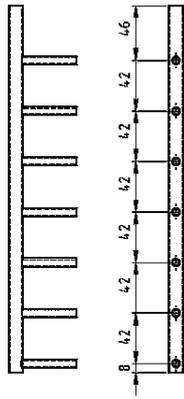
Hasil penelitian data "rancang bangun sistem perpipaan "rake" pada alat visualisasi aliran di laboratorium aerodinamika" yang di peroleh dari pengujian di Lab Aerodinamika Gedung A8 Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya mendapatkan hasil sebagai berikut:

### Mendesain Sistem Perpipaan (Rake)

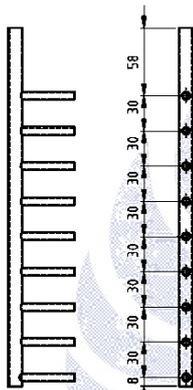
Sesuai dengan rencana awal pada saat pembuatan proposal tentang sistem perpipaan (*rake*) yang direncanakan dibuat tiga variasi jarak antara pipa keluaran (*tube*) asap pada *rake* dengan ukuran yang ditentukan sebelumnya, maka dengan dilakukannya beberapa percobaan dan penyesuaian dengan *windtunnel* didapatkanlah desain *rake* yang digunakan sekarang dengan desain gambar sebagai berikut:



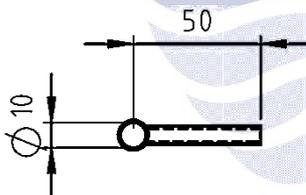
Gambar 2. Desain akhir *rake* versi 1 dengan jumlah pipa keluaran (*tube*) 5 buah



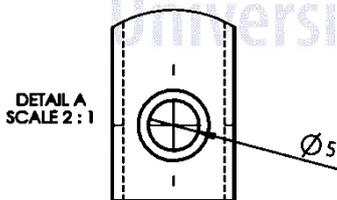
**Gambar 3.** Desain akhir rake versi 2 dengan jumlah pipa keluaran (*tube*) 7 buah



**Gambar 4.** Desain akhir rake versi 3 dengan jumlah pipa keluaran (*tube*) 9 buah



**Gambar 5.** Diameter pipa utama (*manifold*) dan panjang pipa keluaran (*tube*) dilihat menggunakan pandangan atas



**Gambar 6.** Diameter pipa keluaran (*tube*) dengan skala 2:1 dilihat menggunakan pandangan kanan

Keterangan:

1. Semua ukuran dalam milimeter(mm)
2. Panjang pipa utama (*manifold*) dan pipa keluaran (*tube*) sama, hanya jarak antara pipa keluaran dan jumlah pipa keluarannya yang berbeda

**Proses Visualisasi**

Pada sub bab ini peneliti akan menguraikan data yang diperoleh saat pengujian dan dokumentasi yang diambil selama pengujian. Masing-masing data yang diperoleh pada saat pengujian meliputi ketiga variasi dari rake dengan dua variasi dari kepala obyek uji dalam hal ini adalah miniatur bus. Dengan kemiringan kepala bus 35,4° mengacu pada variasi kepala bus yang dibuat oleh peneliti sebelumnya.

1. Perhitungan kecepatan *freestream*

Dapat ditentukan sebagai berikut:

$$Re = \frac{\rho \cdot U \cdot h}{\mu} \dots \dots \dots (4.1) \text{ atau}$$

$$U = \frac{Re \cdot \mu}{\rho \cdot h} \dots \dots \dots (4.2)$$

Keterangan:

$\rho$  = massa jenis udara = 1,1799 kg/m<sup>3</sup>

$\mu$  = viskositas udara = 1,789 x 10<sup>-5</sup> kg/m.s

$h$  = tinggi model kendaraan = 0,12 m

$Re$  = bilangan reynold = 0,26 x 10<sup>5</sup>

$$U = \frac{Re \cdot \mu}{\rho \cdot h} = \frac{0,26 \times 10^5 \times 1,789 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s}}{1,1799 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0,12 \text{ m}} = \frac{0,46514}{0,1415} = 3,3 \text{ m/s}$$

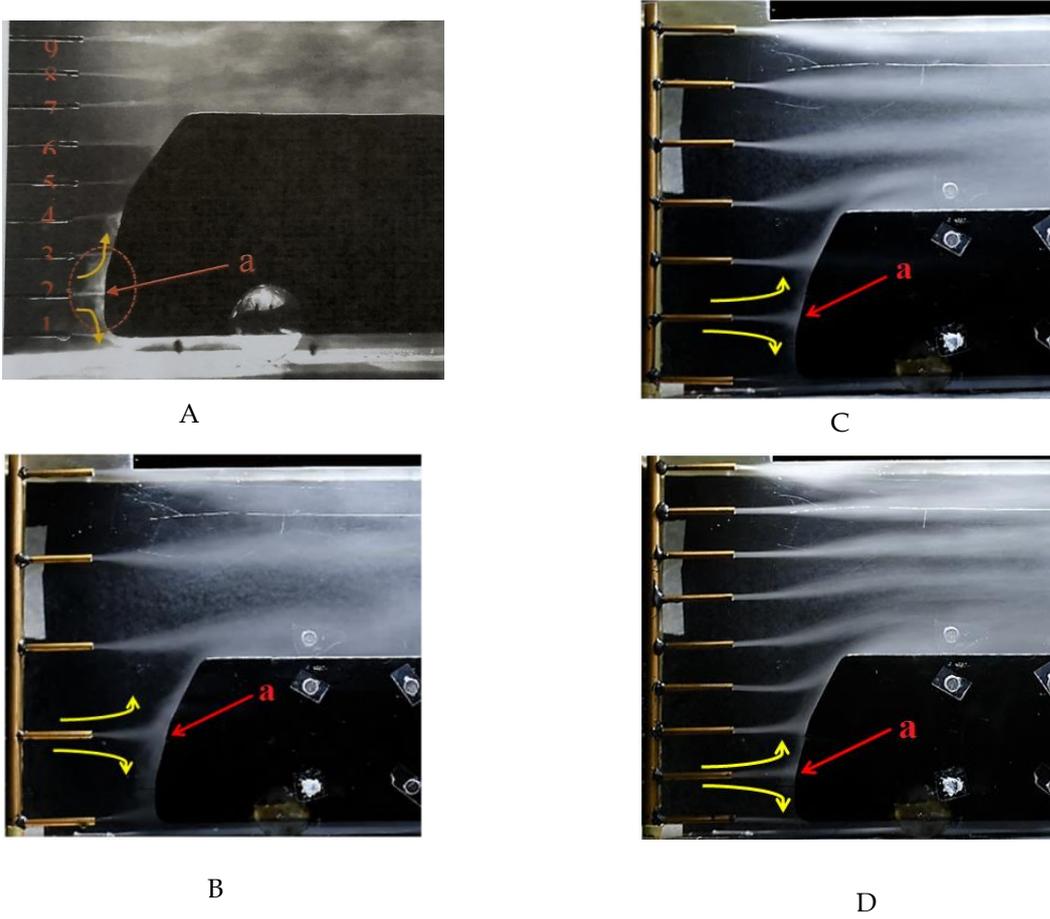


**Gambar 7.** Set up keseluruhan pengambilan data visualisasi aliran

**A. Hasil Pengujian**

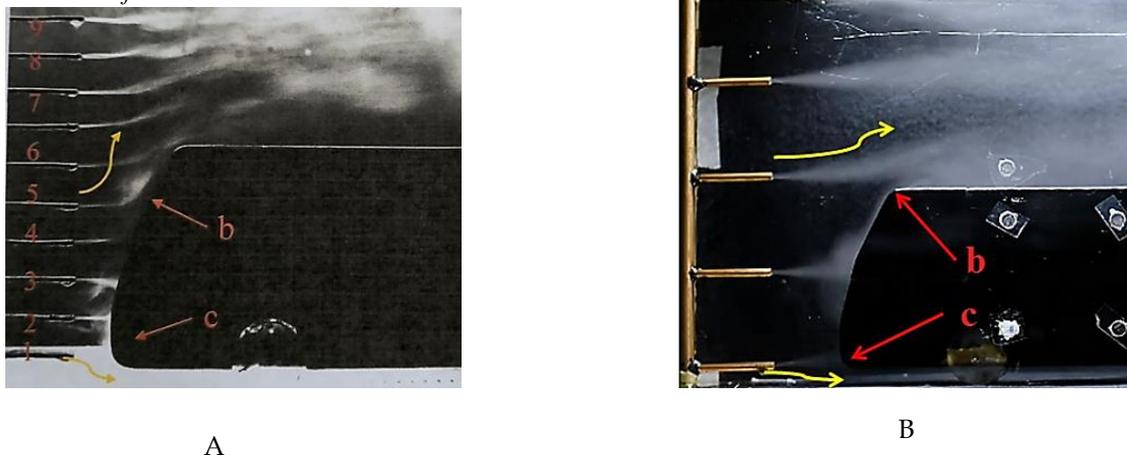
Hasil pengujian ini ditampilkan dalam bentuk visualisasi berupa dokumentasi foto dan video ketiga variasi rake dengan menggunakan kepala obyek dengan sudut kemiringan 35,4° (*standart*). Semua data pengujian menggunakan *Reynold number* 0,26 x 10<sup>5</sup> (V= 3,3 m/s).

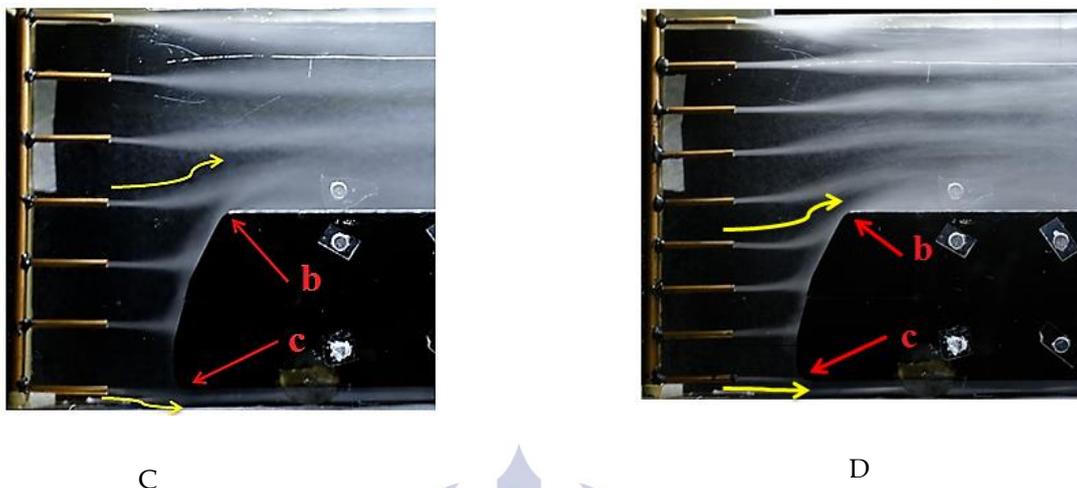
1. Perbandingan pola aliran pada titik stagnasi



**Gambar 8.** Perbandingan pola aliran stagnasi dari hasil (A) penelitian terdahulu dengan hasil sekarang diperbandingkan dengan *rake* (B) versi 1 ,(C) versi 2 ,(D) versi 3.

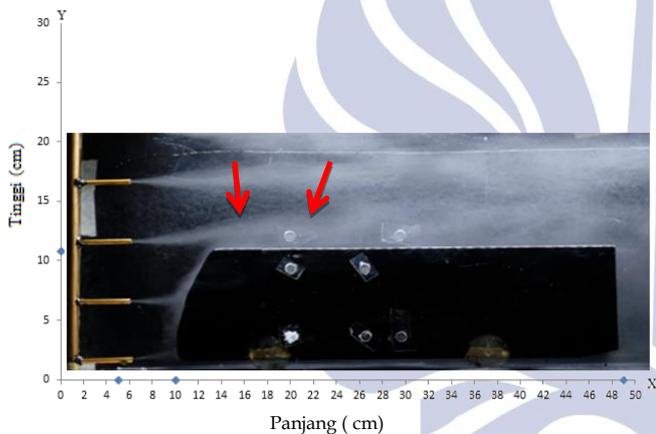
2. Perbandingan aliran terdefleksi ke *upper surface* dan *lower surface*





**Gambar 9.** Perbandingan aliran terdefleksi ke *upper surface* dan *lower surface* pada (A) penelitian terdahulu dengan hasil sekarang diperbandingkan dengan *rake* (B) versi 1, (C) versi 2, (D) versi 3.

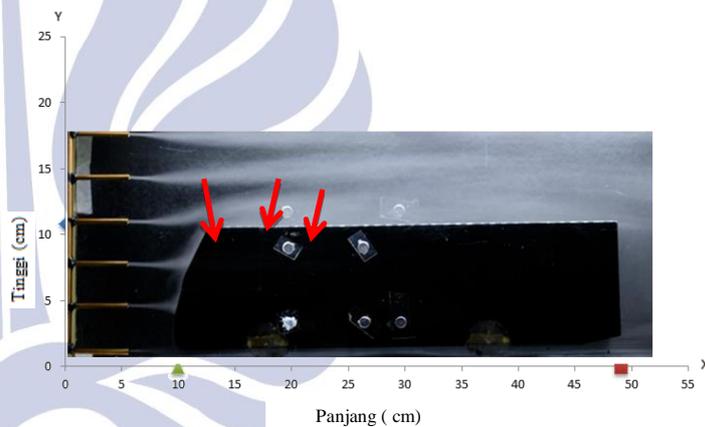
3. Pola aliran pada *buble separation* pada obyek uji



**Gambar 10.** Gambar diagram titik *buble separation* menggunakan *rake* versi 1 dengan pipa keluaran 5 buah

Keterangan:

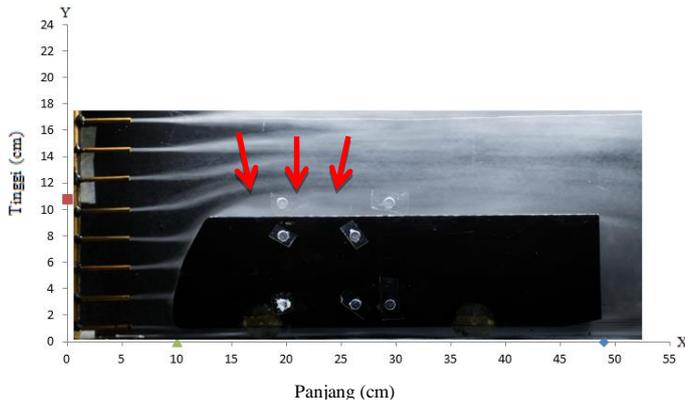
- 1) (X 0)(Y 10,8) = tinggi obyek bus (10,8 cm)
- 2) (X 49)(Y 0) = panjang obyek bus (39 cm)
- 3) (X 10)(Y 0) = titik awal panjang obyek bus



**Gambar 11.** Gambar diagram titik *buble separation* menggunakan *rake* versi 2 dengan pipa keluaran 7 buah

Keterangan :

- 1) (X 0)(Y 10,8) = tinggi obyek bus (10,8cm)
- 2) (X 49)(Y 0) = panjang obyek bus (39 cm)
- 3) (X 25)(Y 14) = titik *buble separation*

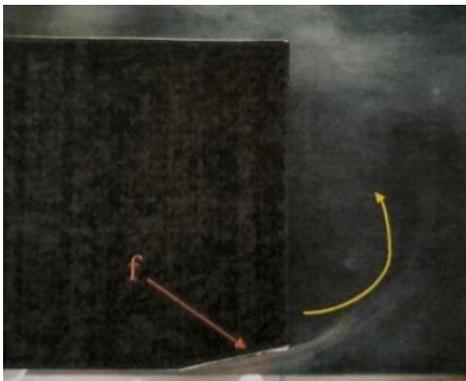


**Gambar 12.** Gambar diagram garis *bubble separation* menggunakan *rake* versi 3 dengan pipa keluaran 9 buah

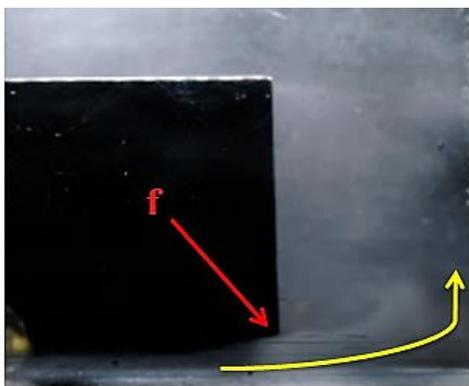
Keterangan :

- 1) (X 0)(Y 10,8) = tinggi obyek bus (10,8 cm)
- 2) (X 49)(Y 0) = panjang obyek bus (39 cm)
- 3) (X 27,5)(Y 11,8) = titik *bubble separation*

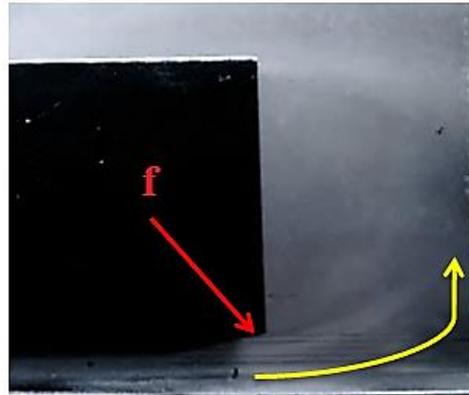
1. Perbandingan aliran dibelakang obyek uji (*near wake*)



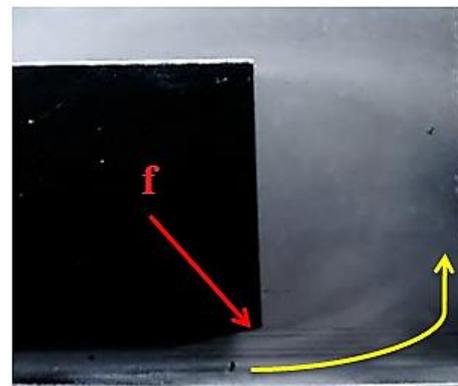
A



B



C



D

**Gambar 13.** Perbandingan pola aliran belakang hasil penelitian (A) terdahulu dengan dengan hasil sekarang diperbandingkan dengan *rake* (B) versi 1 ,(C) versi 2 ,(D) versi 3.

Prinsip persamaan kontinuitas dimana:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 \dots \dots \dots (4.1) \text{ atau}$$

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 + \dot{m}_3 + \dot{m}_4 \dots \dots \dots (4.2)$$

Dengan melihat prinsip persamaan kontinuitas diatas seharusnya hasil terbaik ada pada *rake* dengan pipa keluaran (*tube*) paling sedikit, dalam hal ini yaitu pada *rake* versi 1 (5 buah) yang mana jika melihat dari persamaan diatas seharusnya *rake* versi inilah yang keluaran asapnya paling tebal. Tetapi setelah dilakukan visualisasi hasil terbaik ada pada *rake* dengan pipa keluaran paling banyak yaitu *rake* versi 3 (9 buah), sedangkan pada *rake* versi 2 (7 buah) hasilnya lebih bagus dari *rake* versi 1 (5 buah) tetapi kurang bagus jika dibandingkan dengan *rake* versi 3 (9 buah). Hasil ini berbanding terbalik dari yang seharusnya. Hasil ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, faktor yang pertama adalah jarak antara pipa keluaran (*tube*) yang terlalu lebar pada *rake* versi 1 (5 buah) sehingga penyebaran asapnya lebih luas dan asap yang mengenai obyek (bus) lebih

terbatas, faktor yang kedua adalah ukuran dari obyek visualisasi (bus) yang terlalu kecil jika menggunakan rake versi 1 (5 buah) sehingga bidang yang terkena aliran asap dari rake juga terbatas.

Dari keseluruhan percobaan yang dilakukan bisa disimpulkan bahwa jarak antara pipa keluaran (*tube*) pada rake sangat berpengaruh pada hasil keluaran asap saat visualisasi. Dimana jika jarak antara pipa keluaran semakin lebar maka hasil dari keluaran asap juga akan lebih menyebar, sedangkan jika jarak antar pipa keluaran (*tube*) diperkecil maka hasil *stream line* asap yang didapatkan juga akan lebih rapat dan jelas.

## PENUTUP

### Simpulan

Dari serangkaian rancang bangun, pengujian dan analisis data yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Pada penelitian ini didapatkan hasil rancangan sistem perpipaan (*rake*) dimana ketiga versi rake dapat menyalurkan asap secara konstan, meskipun dalam beberapa keadaan terjadi kebuntuan yang disebabkan oleh asap yang berubah kembali menjadi cair dikarenakan perbedaan suhu yang cukup signifikan.
2. Jarak antara rake ditentukan menggunakan panduan rake yang digunakan oleh peneliti terdahulu dengan beberapa modifikasi dan penyesuaian ke *windtunnel* maka didapatkan variasi jarak yang digunakan saat ini. Untuk hasil *output* asap, rake versi 3 dengan pipa keluaran (*tube*) 9 buah dan jarak antara pipa keluaran 30 mm adalah versi dengan hasil *output* yang mendekati peneliti inginkan.
3. Perbedaan pola asap dari setiap rake terlihat sangat signifikan, dimana pada rake versi pertama *stream line* pecah pada jarak yang relatif pendek, sedangkan pada versi ketiga *stream line* lebih panjang. Perbedaan jarak antara pipa keluaran (*tube*) juga dapat menyebabkan perbedaan titik *buble separation* dimana semakin rapat jarak antara pipa keluaran semakin panjang titik *buble separation* yang terlihat saat visualisasi.

### Saran

Adapun saran pada penelitian ini adalah:

1. Ketika melakukan pengambilan data visualisasi aliran usahakan menggunakan kamera dengan spesifikasi terbaik yang bisa anda dapatkan, agar hasil gambar yang dihasilkan lebih bagus.
2. Ketika melakukan pengambilan data visualisasi aliran, lakukan variasi *output* tekanan angin dari kompresor untuk mendapatkan hasil *stream line* yang terbaik pada saat visualisasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Asanuma, T., Ed. (1979) Flow visualization, *Proc. 1st Int. Symp. Flow Visualization*, Hemisphere, Washington, D.C.
- Beck, B. T. (2008). Aerospace Engineering. *A Simple Educational Wind Tunnel Setup For Visualization Of Duct Flow Streamlines And Nozzle/Diffuser Boundary Layer Separation*, 13.102.1 - 13.102.11.
- Fahmi, W. 2016. *Visualisasi Pengaruh Variasi Sudut Kemiringan Leading Edge Terhadap Karakteristik Aerodinamika Kendaraan Bus*. Vol. 08(3): hal. 81-89.
- Fox, R. W. et al (2008). *Introduction to Fluid Mechanics 7th Edition*. New York: Wiley.
- Harinaldi. 2013. *Mekanika Fluida*. Surabaya: Erlangga.
- Hilgers, S. (1995). Flow Visualization. *Journal of Flow Visualization and Image Processing*, 343-350.
- Merzkirch, W., Ed. (1982) Flow visualization II, *Proc. 2nd Int. Symp. Flow Visualization*, Hemisphere, Washington, D.C.
- Tanida, Y, Miyashiro, H., Eds. (1992) Flow visualization VI, *Proc. 6th Int. Symp. Flow Visualization*, Springer, Berlin.
- Veret, C, Ed. (1987) Flow visualization IV, *Proc. 4th Int. Symp. Flow Visualization*, Hemisphere, Washington, D.C.
- Yang, W.-J., Ed. (1985) Flow visualization III, *Proc. 3rd Int. Symp. Flow Visualization*, Hemisphere, Washington, D.C.