

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) Indonesia menyatakan jumlah mobil penumpang di Indonesia terus meningkat dari tahun ke tahun. Jumlah mobil penumpang pada tahun 2017 adalah 13.968.202 unit sedangkan pada tahun 2021 jumlah mobil penumpang di Indonesia meningkat hingga mencapai 16.413.348 unit atau 17,50%. (Badan Pusat Statistik, 2021). Peningkatan ini timbul karena perubahan gaya hidup masyarakat yang semakin konsumtif. Hal ini membuat para produsen mobil penumpang (seperti : Honda, Daihatsu, Suzuki, Toyota, Nissan dan lain-lain) berkompetisi dalam melakukan inovasi terhadap produk mereka untuk menarik hati para konsumen. Salah satu aspek yang menjadi fokus inovasi dalam industri otomotif adalah *body* kendaraan, seiring dengan terus berkembang nya teknologi, para *engineer* industri otomotif berusaha menekan koefisien gaya tahanan (Cd) seminimal mungkin, sehingga konsumsi bahan bakar dapat ditekan (Joshua Sam Jhon & Tony Suryo Utomo, 2017).

Kendaraan yang mempunyai aerodinamis yang baik akan mempunyai banyak keunggulan. Yang mana kendaraan dengan aerodinamis yang baik akan mempunyai akselerasi yang baik dan memiliki kelebihan dalam stabilitas ketika melaju. Dalam hal lain, aerodinamis juga berpengaruh terhadap konsumsi bahan bakar (Defi Ramdani et al, 2017). Secara umum, kendaraan yang bergerak dengan kecepatan tertentu akan mengalami hambatan aerodinamika yang dipengaruhi oleh faktor bentuk dan aliran udara yang bersentuhan secara langsung pada permukaan kendaraan. Hambatan aerodinamika disebabkan oleh adanya penurunan tekanan dan separasi aliran yang terjadi pada bagian belakang kendaran. Aliran udara yang bergerak secara teratur akan terpecah ketika terjadi separasi aliran sehingga menyebabkan terjadinya penurunan tekanan secara drastis dan akan menimbulkan hambatan aerodinamika (Rustan Tarakka et al, 2016).

Mobil penumpang yang banyak diminati di Indonesia cenderung pada bentuk *Multi Purpose Vehicle* (MPV) atau sering disebut mobil keluarga (*family van*). Mobil ini mampu memuat 5-7 orang penumpang dengan bentuk (*body*) yang kurang *streamline* sehingga memiliki *drag* tinggi (Budarso Harinaldi et al, 2012). Sehingga kebanyakan penelitian akan melakukan pendekatan dengan menggunakan objek *reversed ahmed body* yang berbentuk menyerupai mobil keluarga.

Berbagai upaya telah dilakukan untuk mengurangi hambatan aerodinamika pada mobil penumpang, baik menggunakan metode kontrol aktif maupun kontrol pasif. Pada tahun 2016 penelitian yang dilakukan oleh Marsaut Maurit Rumapea et al dengan menambahkan *fin* pada *rudder* kapal menemukan bahwa dengan penambahan 2 *fin* dapat mengurangi nilai *drag* sebesar 64% dari nilai *drag* tanpa menggunakan *fin* dan mempunyai rasio L/D tertinggi sebesar 8.16. Penelitian serupa

juga telah dilakukan Yosafat Nugraha Putra et al (2017) menemukan bahwa penambahan *fin* pada *centerbulb* kapal Katamaran mampu mengurangi hambatan total sebesar 20% yaitu 1.65 N pada kecepatan tinggi dengan *Fraude Number* = 0.35, jumlah *fin* yang ditambahkan sebanyak 6 buah, serta dengan ukuran lebar *fin* 0.13 m.

Penelitian yang dilakukan Zoynal Abedin tahun 2019 menggunakan model *Ahmed body* yang telah diberikan perlakuan metode kontrol pasif dengan memodifikasi bentuk kendaraan berupa penambahan *dimple* di seluruh permukaan miring belakang terbukti dapat mengurangi koefisien drag sebesar 13.23%. Penelitian serupa juga dilakukan Grover Shabir pada tahun 2017 menggunakan model *ahmed body* dengan metode kontrol pasif berupa *dimple* pada bagian belakang dengan sudut kemiringan 25° dapat mengurangi 0.3% hambatan aerodinamika.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka akan dilakukan penelitian dengan judul : **“ANALISIS PENGARUH *FIN* DAN *DIMPLE* KONFIGURASI ZIG-ZAG TERHADAP HAMBATAN AERODINAMIKA PADA MODEL KENDARAAN DENGAN GEOMETRI MUKA 25° ”.**

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu :

1. Bagaimana karakteristik aliran pada model kendaraan tanpa kontrol aliran dan menggunakan kontrol pasif berupa *fin* dan *dimple* konfigurasi zig-zag?
2. Bagaimana nilai koefisien tekanan pada model kendaraan tanpa kontrol aliran dan menggunakan kontrol pasif berupa *fin* dan *dimple* konfigurasi zig-zag?
3. Bagaimana nilai koefisien *drag* pada model kendaraan tanpa kontrol aliran dan menggunakan kontrol pasif berupa *fin* dan *dimple* konfigurasi zig-zag?

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, penelitian ini memiliki beberapa

tujuan yaitu :

1. Menganalisis karakteristik aliran pada model kendaraan tanpa kontrol aliran dan menggunakan kontrol pasif berupa *fin* dan *dimple* konfigurasi zig-zag
2. Menganalisis nilai koefisien tekanan pada model kendaraan tanpa kontrol aliran dan menggunakan kontrol pasif berupa *fin* dan *dimple* konfigurasi zig-zag
3. Menganalisis nilai koefisien *drag* pada model kendaraan tanpa kontrol aliran dan menggunakan kontrol pasif berupa *fin* dan *dimple* konfigurasi zig-zag

1.4. Batasan Masalah

Penelitian ini membatasi diri berdasarkan kondisi berikut :

1. Fluida uji merupakan udara yang dianggap fluida tak mampu mampa dan mengalir secara seragam pada aliran bebas yang berjarak jauh di hulu.
2. Model uji berbentuk *bluff body* model kendaraan (*modified/reversed Ahmed body*) berdimensi 1 : 6 dari *Ahmed body* versi original. Geometri model berupa panjang ($l = 0.174$ m), lebar ($w = 0.06483$ m), dan tinggi ($h = 0.048$ m).
3. Kemiringan sudut pada bagian depan model uji adalah 25° terhadap sumbu horizontal.
4. Kecepatan aliran *upstream* 11.1 m/s (40 km/h), 13.9 m/s (50 km/h), 16.7 m/s (60 km/h), 19.4 m/s (70km/h), dan 20.83 m/s (75 km/h).
5. Kontrol pasif yang digunakan adalah *fin* dan *dimple* konfigurasi zig-zag
6. Tipe dimple yang dikombinasikan *semi spherical*
7. *Dimple Ratio* (DR) yang digunakan 0.5
8. Jumlah *fin* yang digunakan ada 3 *fin*.
9. Jarak *fin* dari bagian belakang mobil adalah 21.5 mm.

1.5. Manfaat Penelitian

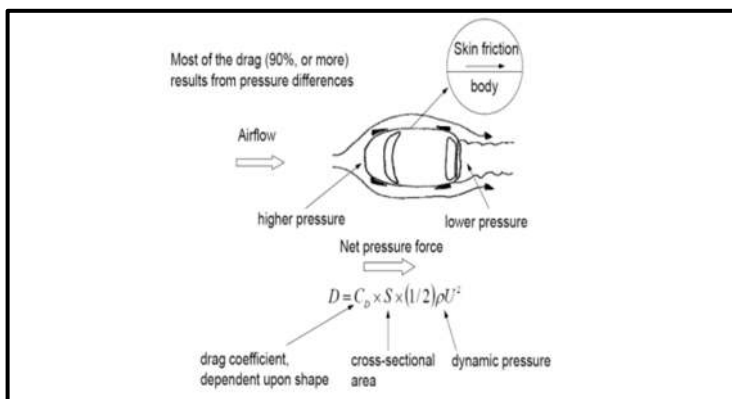
Manfaat yang diharapkan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagi Mahasiswa
Dapat memberikan gambaran kepada mahasiswa mengenai distribusi tekanan pada model kendaraan yang menggunakan konfigurasi *dimple* dan *fin*.
2. Bagi Universitas
Dapat dijadikan sebagai referensi untuk penelitian dan pengembangan model kendaraan yang akan datang dan juga dalam pembuatan dan penyusunan tugas akhir..
3. Bagi Industri
Sebagai referensi bagi industri otomotif untuk mengembangkan model kendaraan yang aerodinamis dan efisien dalam penggunaan bahan bakar.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Fenomena Aerodinamika pada Mobil

Hambatan aerodinamis mewakili sekitar 50% pengeluaran energi mekanik kendaraan pada kecepatan jalan raya hampir 55 hingga 60 mph. Gaya hambat aerodinamis adalah hasil dari perbedaan tekanan antara bagian depan dan belakang kendaraan dan gesekan viskos akibat seluruh permukaan bodi. Bentuk kendaraan dan luas penampang depan menentukan koefisien hambatannya. Sebagian besar gaya hambat (90% atau lebih) diakibatkan oleh perbedaan tekanan antara bagian depan kendaraan dan bagian belakang kendaraan dan sebagian kecil disebabkan oleh *drag* gesekan. Oleh karena itu, drag aerodinamis dapat dikurangi dengan modifikasi geometri dan modifikasi aliran sedemikian rupa sehingga menghasilkan pengurangan *drag* tekanan dan *drag* gesekan. Kedua pendekatan ini telah digunakan oleh pabrikan dalam batasan fungsionalitas yang berbeda untuk kendaraan kelas ringan dan kelas berat. Untuk kendaraan kelas ringan, beberapa perangkat modifikasi aliran pasif seperti *spoiler* dan *flap* juga telah digunakan. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 1, hambatan aerodinamis dipengaruhi oleh bentuk kendaraan dan kecepatannya (Ramesh K. Agarwal, 2013).

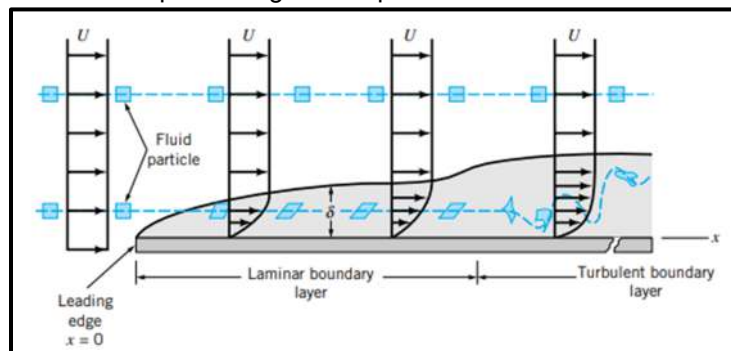


Gambar 1 Pengaruh bentuk kendaraan dan kecepatan terhadap hambatan aerodinamika (Ramesh K. Agarwal, 2013).

2.2. Lapisan Batas

Konsep lapisan batas dikembangkan oleh seorang ilmuwan dari Universitas Gottingen, yakni Ludwig Prandtl (1874-1953). Lapisan batas muncul pada permukaan benda karena sifat viskositas dari fluida yang cenderung menempel pada permukaan. Lapisan tepat di atas permukaan yang bersifat stasioner menyebabkan aliran fluida di atasnya melambat karena interaksi berupa tumbukan antar molekul. Kecepatan pada daerah lapisan batas meningkat secara perlahan hingga mencapai kecepatan aliran bebas (*freestream*). Di luar daerah lapisan batas, fluida dengan kecepatan aliran bebas dapat dimodelkan sebagai fluida *inviscid*.

Lapisan batas dapat didefinisikan sebagai lapisan yang terbentuk pada permukaan suatu benda yang terendam dalam aliran fluida, dimana area efek-efek viskos dalam lapisan tersebut mempunyai peranan penting dan diluarnya fluida berperilaku seakan-akan *inviscid*. Proses pembentukan lapisan batas divisualisasikan dengan membayangkan aliran di sepanjang sebuah pelat datar. Situasi dimana lapisan batas terbentuk pada sebuah plat datar dengan panjang tak terhingga yang disepanjangnya mengalir suatu fluida viskos, tak mampu-mampat seperti yang di tunjukkan pada gambar di bawah ini. Jika permukaannya melengkung (misalnya sebuah silinder bundar atau airfoil), struktur lapisan batas akan lebih rumit. Seperti yang terlihat pada gambar 2, misalkan ada aliran seragam sebuah fluida tak dapat mampat mendekati pelat dengan kecepatan arus bebas U .

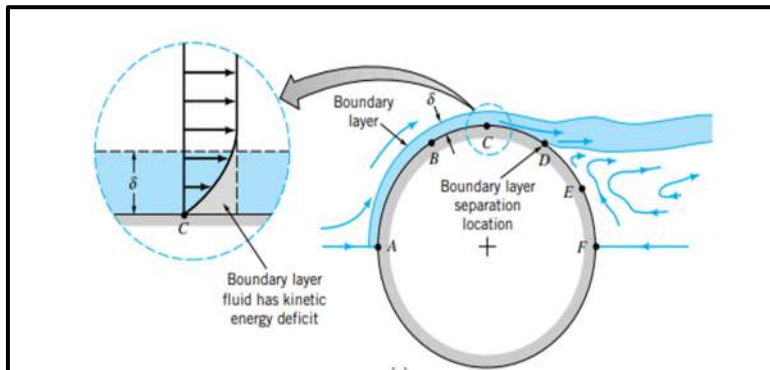


Gambar 2 Karakteristik dari lapisan batas yang terbentuk pada pelat datar (Munson, 2002).

2.3. Separasi Aliran

Separasi aliran adalah sebuah kondisi dimana aliran udara yang mengalir disepanjang permukaan benda tidak mampu lagi menempel pada permukaan tersebut. Separasi aliran berakibat pada terbentuknya aliran balik disekitar benda. Aliran yang bergerak secara teratur akan terpecah saat terjadinya separasi dan mengakibatkan terjadinya penurunan distribusi tekanan dan menimbulkan gaya drag (Anderson, 2001). Pada aplikasi kendaraan, daerah bertekanan rendah ini menyebabkan perbedaan tekanan antara bagian depan dan bagian belakang model kendaraan, yang merupakan kontributor utama dari keseluruhan *drag*.

Secara teoritis separasi aliran merupakan bentuk efek viskos dari fluida. Seperti yang ditunjukkan dalam gambar 3, efek viskos menyebabkan fluida pada titik 'C' di permukaan silinder kehilangan energi kinetik, sehingga tidak memiliki momentum yang cukup untuk mengalir dalam lapisan batas menuju titik 'F'. Titik 'D' adalah titik dimana separasi aliran terjadi, sedangkan diluar titik 'D' (dari D menuju F) terjadi aliran balik karena perbedaan kecepatan yang tinggi antara daerah olakan dengan lapisan batas (Munson, 2002).



Gambar 3 Separasi aliran yang terjadi pada silinder (Munson, 2002).

Situasinya mirip dengan pengendara sepeda yang meluncur menuruni bukit dan naik ke sisi lain lembah. Jika tidak ada gesekan, pengendara yang memulai dengan kecepatan nol dapat mencapai ketinggian yang sama dengan saat dia memulai. Jelas adanya gesekan (*rolling resistance*, *drag* aerodinamis) menyebabkan hilangnya energi dan momentum, membuat pengendara tidak mungkin mencapai ketinggian dari mana dia memulai tanpa memberikan energi tambahan yaitu mengayuh.

2.4. Drag Aerodinamis

Drag adalah besarnya gaya yang bergerak diatas sebuah objek yang memiliki posisi sejajar dengan aliran bebas. Gaya *drag* pada suatu benda yang bergerak melalui suatu fluida diakibatkan oleh tekanan dan tegangan geser permukaan benda tersebut. *Drag* gesekan (*friction drag*), disebabkan oleh tegangan geser permukaan benda yang bersentuhan dengan fluida. Sedangkan *drag* tekanan (*pressure drag*), disebabkan oleh tekanan yang bekerja pada sebuah benda yang bergerak melalui sebuah fluida. *Pressure drag* besarnya sangat tergantung pada bentuk dari benda itu sendiri sehingga *drag* tekanan sering disebut dengan *form drag*.

Drag dapat dituliskan dalam bilangan tak berdimensi yang disebut dengan koefisien drag. Koefisien drag merupakan sebuah gaya dari fluida yang mengalir melalui permukaan benda searah aliran. Persamaan yang digunakan untuk menghitung koefisien drag dapat dituliskan sebagai berikut (Munson, 2002) :

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2}\rho U^2 A} \quad (2.1)$$

Dimana :

C_D = Koefisien *drag*

ρ = Massa jenis fluida (kg/m^3)

F_D = *Drag force* atau Gaya *drag* (N)

- A = Luas daerah yang mengalami gesekan (m^2)
 U = Kecepatan fluida (m/s)

Drag tekanan (C_p) merupakan bagian dari *drag* yang langsung disebabkan oleh tekanan P terhadap sebuah benda. *Drag* ini sering disebut sebagai *form drag* karena ketergantungan yang sangat kuat pada bentuk dari kendaraan. *Drag* tekanan adalah fungsi dari besarnya tekanan dan orientasi arah elemen permukaan dimana gaya tekan tersebut bekerja.

Drag tekanan (*pressure drag*) adalah bentuk paling umum yang digunakan untuk mendefinisikan *drag* pada benda yang disebabkan oleh resistansi fluida untuk mengubah aliran untuk mengisi ruang di belakang benda, sehingga menimbulkan perbedaan tekanan antara aliran *upstream* dan *downstream*. Ini menyebabkan tekanan total pada bagian belakang lebih rendah dari bagian depan, sehingga memunculkan tarikan ke arah belakang.

Sebagai contoh, gaya tekan pada kedua sisi plat datar sejajar aliran mungkin saja sangat besar, tetapi gaya tersebut tidak berkontribusi pada *drag* karena gaya tersebut bekerja pada arah tegak lurus terhadap kecepatan *upstream*. Sebaliknya gaya tekanan pada plat datar yang tegak lurus aliran menyebabkan *drag* secara keseluruhan (Munson, 2002). Untuk menyatakan nilai *drag* tekanan, parameter tidak berdimensi C_p secara umum digunakan yaitu :

$$C_p = \frac{P - P_0}{\frac{1}{2} \rho U_0^2} \quad (2.2)$$

Dimana :

- C_p = Koefisien tekanan
 P = Tekanan pada permukaan model uji (Pa)
 P_0 = Tekanan streamline atau garis arus (Pa)
 ρ = Massa jenis fluida (kg/m^3)
 U_0 = Kecepatan *upstream* (m/s)

Pada aplikasi kendaraan, penyebab utama drag aerodinamika adalah distribusi tekanan, terutama pada jendela belakang dan permukaan kendaraan. Kedua lokasi tersebut berkontribusi sebesar 90% dari total drag aerodinamika dan 80%-nya terjadi di bagian belakang mobil (Kourta, A. & Gillieron, P., 2009).

2.5. Aliran Laminar dan Turbulen

Aliran laminar dan turbulen dibedakan berdasarkan karakteristik internal aliran. Umumnya klasifikasi ini bergantung pada gangguan-gangguan yang dapat dialami suatu aliran yang mempengaruhi gerak partikel-partikel fluida tersebut. Apabila aliran mempunyai kecepatan relatif rendah atau fluidanya sangat *viscous*, gangguan yang mungkin dialami medan aliran akibat getaran, ketidakraturan permukaan batas dan sebagainya, relatif lebih cepat teredam oleh viskositas fluida dan aliran fluida tersebut disebut dengan aliran laminar. Saat gangguan yang timbul semakin besar hingga mencapai kondisi peralihan (*transition state*) pada kecepatan aliran yang bertambah besar atau efek viskositas yang mulai berkurang. Terlampauinya kondisi peralihan menyebabkan sebagian gangguan tersebut menjadi semakin kuat, dimana partikel bergerak fluktuatif atau acak dan terjadi percampuran gerak partikel antara lapisan-lapisan yang berbatas atau disebut dengan aliran turbulen.

Perbedaan mendasar antara aliran laminar dan turbulen adalah gerak olakan atau ketidakraturan pada aliran turbulen jauh lebih efektif dalam pengangkutan massa serta momentum fluida dibandingkan gerak molekuler. Kondisi aliran laminar dan turbulen dapat dinyatakan dengan bilangan Reynolds. Adapun penurunan rumus dari bilangan Reynold untuk aliran luar (*eksternal flow*) (Kestin J, 1978) adalah sebagai berikut:

$$Re = \frac{\text{gaya inersia}}{\text{gaya geser}} \quad (2.3)$$

dimana :

$$\text{Gaya inersia} = \rho \times A = \rho \cdot U^2 \cdot L^2$$

$$\text{Gaya geser} = \tau \times A = (\mu \cdot U / L) \cdot L^2$$

sehingga,

$$Re = \frac{\rho \cdot U \cdot L}{\mu} \quad (2.4)$$

dimana:

U = Kecepatan aliran fluida (m/s)

L = Panjang karakteristik (m)

ρ = Massa jenis fluida (kg/m^3)

M = Viskositas dinamis fluida (N.s/m^2)

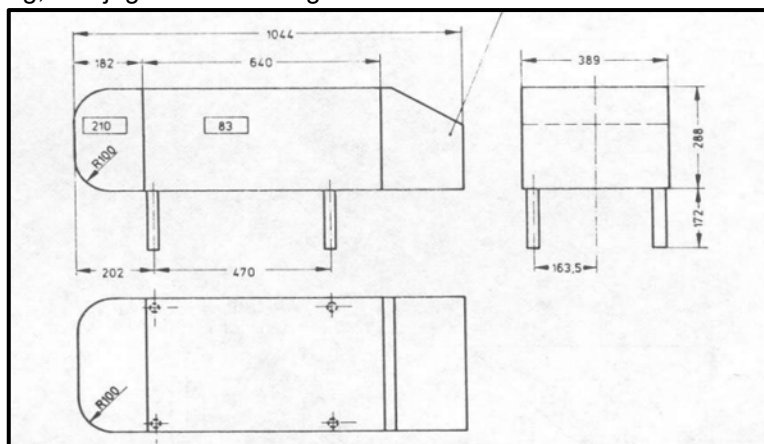
Bilangan Reynolds sangat dipengaruhi oleh kecepatan aliran fluida dan kekentalan fluida. Berikut batasan bilangan Reynolds untuk aliran eksternal:

Turbulen :	$Re > 1000000$
Laminar :	$Re < 500000$
Transisi :	$500000 < Re < 1000000$

2.6. Model *Bluff Body* Kendaraan

Penggunaan model geometris merupakan cara yang efisien dalam menggambarkan fenomena fisik aliran yang kompleks disekitar kendaraan. Salah satu model geometris kendaraan yang sering digunakan adalah model *Ahmed body* gambar 4. Dengan menggunakan model ini, sangat memungkinkan untuk mengetahui fenomena fisik aliran turbulen disekitar kendaraan.

Model *Ahmed body* paling umum digunakan untuk kendaraan jenis *bluff body*, yaitu model kendaraan yang memiliki bidang frontal di bagian depan dan tidak ada permukaan miring yang cukup untuk mentransfer energi tekanan menjadi energi kinetik. Contoh kendaraan dengan model *bluff* adalah bus, kereta api, kendaraan angkut barang, dan juga mobil keluarga.



Gambar 4 Model kendaraan *Ahmed body* (Ahmed S.R. et al ,1984)

Salah satu penelitian secara eksperimental tentang olakan pada Ahmed body, menggunakan model dengan perbandingan 3/20 dari Ahmed model orisinal dengan panjang 156.6 mm (Uruba, V. & Hladik, O., 2009). Kecepatan aliran dan bilangan Reynolds masing-masing 6.5 m/s dan 54,000. *Ahmed body* yang dianalisis mempunyai sudut kemiringan 25° dan 35° pada bagian belakang terhadap bidang horizontal. Model uji ditempatkan pada seksi uji terbuka (*open test section*) dengan ukuran (250 x 250) mm². Pengukuran dilakukan dengan menggunakan metode PIV (*particles image velocimetry*). Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa pada kasus 25°, down-flow terlihat sangat kuat di sekitar bidang simetri sehingga pasangan *contra-rotating vortex* lemah, sedangkan pada kasus 35° terlihat *vortex* sangat kuat.

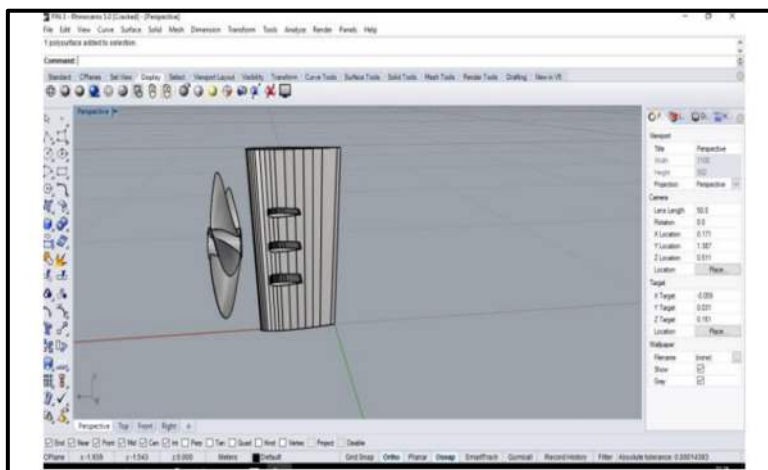
Sementara itu penelitian secara eksperimental tentang aerodinamika kendaraan jenis *bluff body* dilakukan dengan mengkombinasikan PIV dan *oil visualization* untuk

memahami secara mendalam perilaku aliran di sekitar *Ahmed body* dan menginterpretasi secara fisik evolusi dari koefisien *drag* (Conan B., et al, 2011). Model *Ahmed body* yang digunakan pada pengujian ini diberikan variasi sudut kemiringan pada bagian belakang. Adapun sudut kemiringan yang digunakan adalah 10°, 20°, 25°, 30° dan 40°. Hasil koefisien *drag* yang diperoleh jika dibandingkan dengan hasil dari Ahmed model orisinal menunjukkan bahwa untuk sudut 10° s/d 20°, koefisien *drag* tidak mengalami perubahan yang banyak, hampir konstan. Untuk 20° s/d 30°, ada perbedaan sekitar 50% dimana koefisien drag yang diperoleh dari 0.27 ke 0.40 yang terjadi pada sudut 30°. Dan setelah sudut 30°, koefisien *drag* yang diperoleh hampir konstan.

2.7. Fin

Marsaut Maurit Rumapea et al (2016) melakukan penelitian untuk menganalisa performa yang dihasilkan akibat penambahn *fin* pada daun kemudi dengan menggunakan menggunakan pendekatan software CFD (*Computational Fluid Dynamic*). *Rudder Fin* merupakan *fin* yang dipasang pada *rudder* (kemudi kapal) yang bertujuan untuk mengurangi hambatan pada kemudi kapal. Variasi yang digunakan yaitu perbedaan jumlah *fin* yang digunakan pada *rudder* yaitu 1-3 *fin* dengan panjang *chord fin* sebesar 36 % dari panjang *chord* kemudi.

Berdasarkan hasil analisa, kemudi dengan menggunakan 2 *fin* merupakan kemudi dengan nilai *drag* paling optimal dengan nilai *drag* sebesar 473.6 kN dimana perubahan nilai *drag* sebesar 64% dari nilai *drag* kemudi tanpa menggunakan *fin* dan mempunyai nilai rasio L/D tertinggi yaitu sebesar 8,16.



Gambar 5 Pemodelan Kemudi menggunakan software Rhinoceros (Rumapea Marsaut M et al, 2016)

2.8. Dimple

Sejarah ditemukan *dimple* pada permukaan sebagai teknik kontrol aliran diawali dengan fenomena yang terjadi pada bola golf dimana pada mulanya bola yang dipakai tidak memiliki tekstur *dimple*. Namun diperhatikan bahwa bola golf yang memiliki tekstur yang tidak rata justru memiliki lintasan yang jauh setelah dipukul. Penelitian oleh (Bearman,1973), telah dibuktikan secara ilmiah melalui percobaan bahwa bola golf dengan tekstur permukaan *dimple* memiliki drag aerodinamis yang kecil dari permukaan yang rata. sejak saat itu bola golf dibuat memiliki tekstur permukaan berupa *dimple*.

Dari percobaan yang dilakukan oleh Stanly et. al (2016) menggunakan *Ahmed body* yang terlihat pada gambar 6 dengan sudut miring 25° dan 35° , ditemukan bahwa *dimple* dapat mengurangi *drag* pada kecepatan rendah untuk model dengan sudut miring 25° dan meningkatkan *drag* pada kecepatan tinggi untuk model dengan kemiringan 35° . Untuk *Ahmed body* 25° dengan penggunaan *dimple*, pada kecepatan rendah, udara mengalir di sepanjang lekukan *dimple* dan dipastikan bahwa jarak yang lebih jauh dari aliran kecepatan rendah menghasilkan sebuah daerah separasi yang jauh lebih kecil, sehingga menyebabkan pengurangan tekanan *drag*. Sedangkan untuk *Ahmed body* 35° yang sudah memiliki daerah separasi yang lebih besar, *dimple* memicu pemisahan aliran sebelumnya pada kecepatan aliran yang lebih tinggi, yang menghasilkan daerah separasi lebih besar dan tekanan *drag* yang lebih tinggi.



Gambar 6 Mobil dengan dimple pada Shell Eco Marathon 2015 (Stanly et al, 2016).

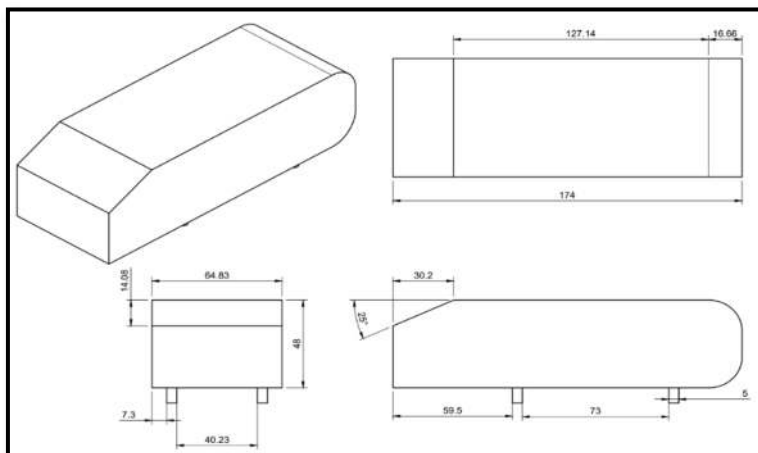
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

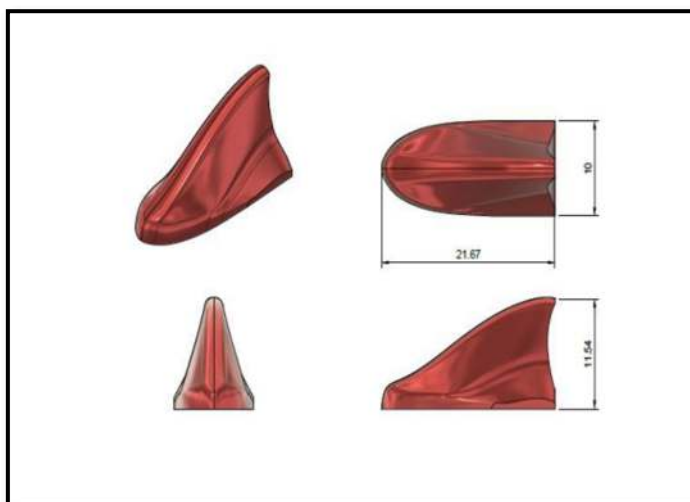
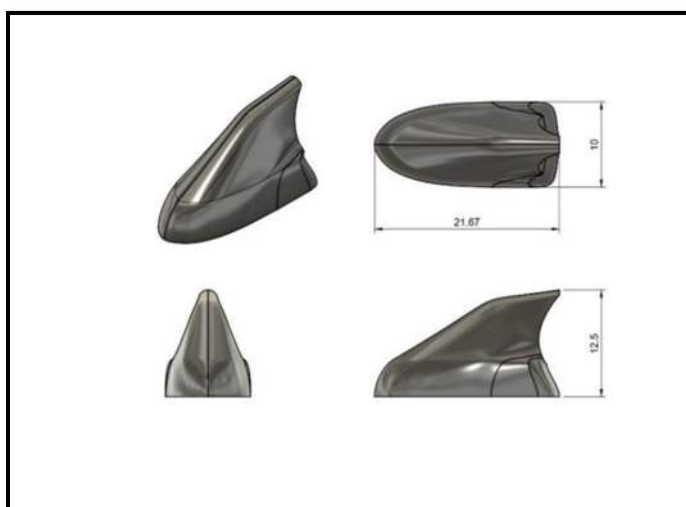
Penelitian kontrol pasif secara komputasional dan eksperimental dilaksanakan pada bulan Desember 2023 sampai dengan Mei 2024. Tempat dilaksanakannya di Laboratorium Mekanika fluida Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

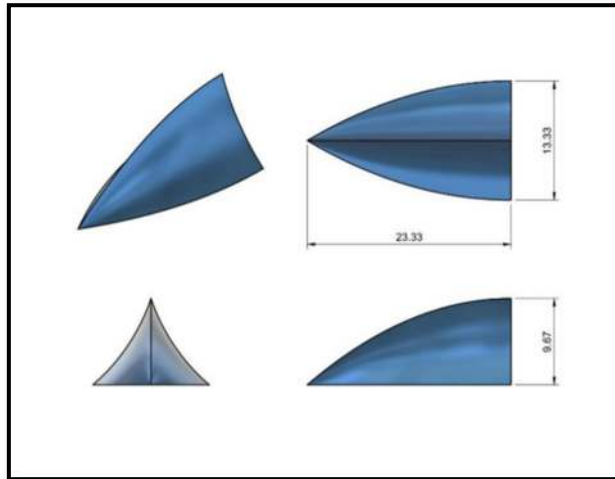
3.2. Objek Penelitian

Objek penelitian yang digunakan adalah *bluff body* model kendaraan (*reversed ahmed body*). Sebagai bahan acuan, digunakan dimensi yang dipakai pada percobaan sebelumnya dengan skala 1 : 6. Skala 1 : 6 dari model sebelumnya digunakan dengan alasan untuk memudahkan dalam percobaan, dan mengurangi biaya untuk pembuatan model pada Gambar 7 Penggunaan kontrol pasif berupa *fin* dan *dimple* konfigurasi zig-zag pada *bluff body* model kendaraan ditunjukkan pada Gambar 11



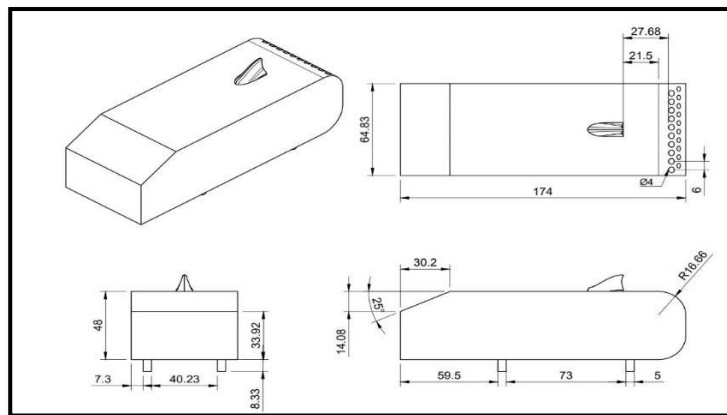
Gambar 7 Dimensi model uji tanpa kontrol pasif

Gambar 8 Dimensi *fin 1*Gambar 9 Dimensi *fin 2*



Gambar 10 Dimensi *fin* 3

Model *fin* divariasikan dengan posisi penempatan *fin* berada pada 21.5 mm dari garis belakang model uji. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada gambar 11.



Gambar 11 Dimensi model uji dengan geometri muka 25° yang telah dimodifikasi dengan penambahan *fin* dan *dimple* konfigurasi zig-zag

3.3. Pendekatan Komputasi

Pendekatan komputasi pada penelitian ini menggunakan *software* Autodesk Fusion 360, Gambit 2.4.6, dan Fluent 6.3.26. Adapun prosedur pengambilan data menggunakan metode komputasi ini sebagai berikut :

1. Langkah pertama dalam CFD adalah menggambar desain model. Desain model dibuat menggunakan perangkat *software* Autodesk Fusion 360 dengan merujuk pada model kendaraan yang sesungguhnya. Model yang telah siap kemudian di export ke *software* Gambit 2.4.6.
2. Penggabungan model kendaraan dengan *wind tunnel*. Pengujian aerodinamis dilakukan pada suatu terowongan angin (*wind tunnel*). Dalam simulasi CFD, pengujian ini juga merupakan suatu pengujian dalam terowongan angin namun dalam bentuk virtual.
3. Pembuatan mesh unit volume pada simulasi CFD diinterpretasikan dengan pembuatan mesh. Ukuran mesh yang diterapkan pada model akan mempengaruhi ketelitian analisis CFD. Semakin kecil ukuran mesh pada mode, maka hasil yang di dapatkan akan semakin teliti, tetapi membutuhkan daya komputasi dan waktu yang lebih lama dibandingkan dengan mesh yang memiliki ukuran yang lebih besar.
4. Penentuan kondisi batas diatur pada setiap sisi *wind tunnel* dan model kendaraan. Model yang telah siap kemudian di export ke *software* Fluent. Penentuan kondisi batas pada penelitian ini ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Kondisi batas model kendaraan

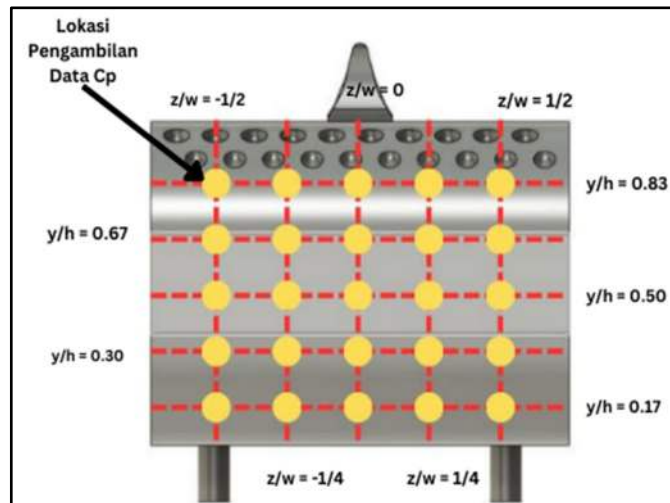
Kondisi Batas	Jenis	Nilai
<i>Inlet</i>	<i>Velocity Inlet</i>	Divariasikan (11.1; 13.9; 16.7; 19.4; dan 20.83 m/s)
<i>Outlet</i>	<i>Pressure Outlet</i>	0 pa (<i>gauge</i>)
<i>Model</i>	<i>Wall</i>	-
<i>Wall / Wind Tunnel</i>	<i>Wall</i>	-

5. Simulasi yang digunakan *software* Fluent 6.3.26. Fluent sendiri merupakan salah satu jenis program CFD yang menggunakan metode diskritisasi volume. Sehingga memiliki fleksibilitas mesh, sehingga kasus-kasus aliran fluida yang memiliki mesh tidak teratur akibat geometri benda yang rumit dapat diselesaikan dengan mudah. Selain itu, Fluent memungkinkan untuk penggenerasian mesh lebih halus atau lebih besar dari mesh yang sudah ada berdasarkan pemilihan solusi aliran dalam menyelesaikan suatu kasus, Fluent memiliki beberapa langkah pengerjaan yaitu :

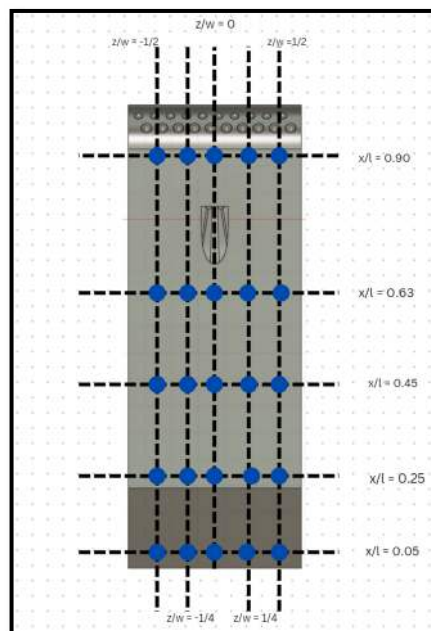
- Memilih solver yang tepat untuk model tersebut (2D atau 3D)
- Mengimport file model
- Memilih persamaan dasar yang akan dipakai dalam analisa
- Menentukan sifat material yang akan dipakai
- Menentukan kondisi batas
- Mengatur parameter kontrol solusi
- *Initialize the flow field*
- Melakukan perhitungan/iterasi
- Menampilkan hasil iterasi
- Menyimpan hasil iterasi

Dalam pendekatan komputasi pengambilan data distribusi tekanan dimaksudkan untuk mendukung hasil hambatan aerodinamika model kendaraan yang diperoleh. Pada prinsipnya untuk aplikasi model kendaraan, pengurangan hambatan aerodinamika ditandai dengan peningkatan medan tekanan pada dinding bagian belakang model kendaraan. Kontributor utama munculnya hambatan aerodinamika sebesar 80% terjadi pada dinding belakang kendaraan (Kourta & Gilieron, 2009). Sehingga hal ini mendasari alasan menentukan lokasi pengambilan data distribusi tekanan.

Lokasi pengambilan data medan tekanan difokuskan pada lima area berbeda, yaitu $z/w = -1/2$, $z/w = -1/4$, $z/w = 0$, $z/w = 1/2$, dan $z/w = 1/4$ sepanjang sumbu horizontal serta 5 area ($y/h = 0.83$, $y/h = 0.67$, $y/h = 0.50$, $y/h = 0.30$, dan $y/h = 0.17$) sepanjang sumbu vertikal (y/h), dimana tinggi grid adalah 8 mm dan tinggi model 48 mm pada gambar 13 Sehingga akan diperoleh data sebanyak 25 titik untuk model tanpa kontrol dan 25 titik data untuk mode dengan kontrol pasif. z/w adalah perbandingan antara lebar grid dengan lebar model sedangkan y/h adalah perbandingan antara tinggi grid dengan tinggi model.



Gambar 12 Titik-titik pengambilan data medan tekanan bagian belakang



Gambar 13 Titik-titik pengambilan data medan tekanan

3.4. Pendekatan Eksperimen

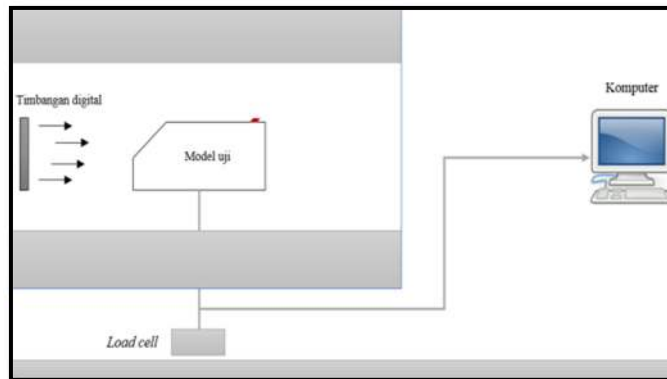
Pengujian dengan metode eksperimental dimaksudkan untuk memvalidasi hasil-hasil yang telah diperoleh melalui simulasi komputasi sebelumnya pada kecepatan *upstream* terbaik. Kondisi dan dimensi model uji (*bluff body*) memiliki kesamaan dengan metode komputasi numerik. Pengujian dilakukan dengan memanfaatkan fasilitas terowongan angin (*wind tunnel*) dimana model uji ditempatkan pada seksi uji *wind tunnel* yang dilengkapi dengan perangkat *load cell* untuk memastikan kevalidan data drag aerodinamika serta dapat di lihat pada gambar 14 Kecepatan aliran udara maksimum yang dalam seksi uji adalah 20.83 m/s serta lowongan angina tersebut dilengkapi dengan satu sesi *diffuser* yang bertujuan untuk menyeragamkan aliran.



Gambar 14 *Wind Tunnel*

Pengukuran gaya drag aerodinamika melalui pendekatan eksperimental dilakukan dengan menggunakan *load cell*. *Load cell* tersusun dari sebuah plat besi dan dihubungkan ke *prototype bluff body* dengan batang alumunium. Model ditempatkan dalam *wind tunnel* yang akan dialiri udara sehingga model menerima gaya dorong. Gaya dorong yang diterima oleh model secara otomatis juga diterima oleh plat yang menjadikan plat menerima bending. *Load cell* akan membaca proses tersebut dalam bentuk perubahan hambatan material dan menghasilkan tegangan keluar sebagai *output*. Dengan bantuan kalibrasi, *output* tegangan pada *load cell* akan langsung ditampilkan dalam bentuk gaya dengan satuan gram pada monitor. Kalibrasi dari *load cell* dilakukan dengan menempatkan beban yang telah diketahui masanya pada ujung dari *load cell*. Nilai beban ini pertama dimasukkan sebagai data awal yang direkam oleh monitor, kemudian beban masa sesungguhnya diletakkan pada *load cell* dan monitor akan menyimpan informasi setting ini sebagai nilai konversi untuk proses pengukuran selanjutnya. Pada penelitian ini, kalibrasi *load cell* dilakukan dengan memanfaatkan timbangan digital dimana timbangan tersebut diposisikan berdiri dan tepat berada di samping model uji yang telah dipasang *load cell*. Selanjutnya timbangan akan di dorong dan menyentuh model sehingga besar gaya dorong tersebut akan ditampilkan dalam *display* timbangan. Besarnya gaya

yang terbaca pada *display* timbangan kemudian dimasukkan ke dalam *input load* pada monitor diperlihatkan pada gambar 15.



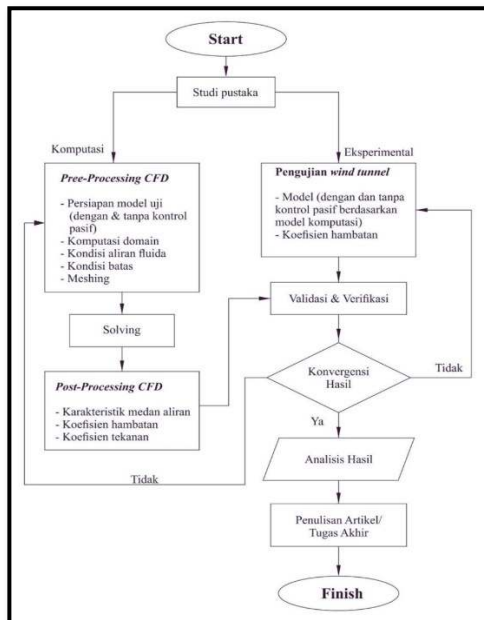
Gambar 15 Sketsa penempatan model uji pada *load cell* dan kalibrasi

Adapun prosedur pengujian gaya drag aerodinamika dengan pendekatan eksperimental menggunakan *load cell* tanpa kontrol aliran dan menggunakan kontrol pasif dengan kecepatan *upstream* adalah sebagai berikut :

1. Model uji dipasang padaudukan benda uji pada seksi uji *wind tunnel*
2. *Load cell* dipasang pada benda uji yang terlebih dahulu dilekatkan pada plat
3. *Load cell* yang dipasang harus menyentuk tiang besi benda uji, kemudian dikalibrasi sampai tidak ada nilai yang terbaca pada *display*
4. Menyalakan motor *wind tunnel* dan mengatur kecepatan *upstream* pada kecepatan 11.1 m/s sehingga angin yang dihirup akan membuat benda uji terdorong ke belakang dan plat akan mengalami *blending* pada plat *load cell* sehingga *blending* pada plat akan terbaca pada *load cell* dengan nilai gram
5. Mengulangi langkah 3-4 untuk kecepatan diulangi sebanyak tiga kali selama masing-masing tiga menit sehingga diperoleh hasil rata-rata guna memastikan validitas data yang diperoleh.

3.5. Diagram Alir

Diagram alir dalam penelitian ini diperlihatkan pada Gambar berikut :



Gambar 16 Diagram Alir