

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang

Teknologi kontrol aliran pasif menjadi salah satu bidang penelitian yang intensif dalam pengembangan aerodinamika kendaraan modern. Penggunaan perangkat seperti fin dan Vortex Generator sebagai elemen pasif telah terbukti efektif dalam memodifikasi karakteristik aliran udara untuk mengurangi hambatan aerodinamis (drag) dan meningkatkan stabilitas kendaraan. Ahmed Model yang sederhana namun representatif sering digunakan dalam studi ini untuk mendokumentasikan pola aliran pada kendaraan nyata (ScienceDirect, 2020)

Studi-studi terbaru dari tahun 2016 ke atas menyoroati peran pusaran generator sebagai alat yang mampu menciptakan tegangan kecil dalam lapisan batas udara, yang bekerja untuk menstabilkan aliran dan mencegah pelepasan aliran yang menyebabkan peningkatan drag. Contohnya, penelitian yang dipublikasikan di ScienceDirect (2020) menunjukkan pengurangan drag hingga sebesar 11,7% dengan penggunaan pusaran generator berbentuk silinder pendek yang dipasang di bagian belakang Ahmed Model (Lakshminarayanan dkk, 2015)

Selain generator pusaran, fin pasif juga memberikan kontribusi penting dalam pengendalian aliran dengan menggerakkan aliran udara secara lebih terstruktur dan mengurangi turbulensi. Kolaborasi antara fin dan Vortex Generator ini menghasilkan efek sinergis yang meningkatkan energi kinetik di dalam lapisan batas serta mengurangi daerah bangun belakang kendaraan. Lakshminarayanan dan Miyagi (2015) melaporkan bahwa kombinasi ini memberikan penurunan drag yang lebih signifikan dibandingkan penggunaan perangkat secara individu (Springer, 2021)

Lebih jauh lagi, penelitian yang dilakukan oleh Springer (2021) menekankan pentingnya konfigurasi dan penempatan perangkat tersebut untuk mengoptimalkan hasil pengendalian aliran. Desain dan posisi fin serta pusaran generator yang tepat dapat mempengaruhi pola vortisitas dan distribusi tekanan, yang berujung pada pengendalian yang lebih efisien terhadap karakteristik drag dan lift pada Ahmed Model (Sage Journals, 2022)

Pendekatan penelitian menggunakan simulasi CFD (Computational Fluid Dynamics) serta uji terowongan angin juga memberikan data yang akurat mengenai perilaku aliran serta tekanan yang terjadi di sekitar permukaan Ahmed Model. Melalui metode ini, interaksi antara fin dan Vortex Generator dapat dimodelkan secara detail, memberikan wawasan mendalam untuk optimalisasi desain aerodinamis (Versteeg dkk, 2017).

Studi penggunaan kontrol pasif berupa hemispherical dimple dengan konfigurasi sejajar dan zigzag pada model menunjukkan reduksi drag yang signifikan. Dimana konfigurasi drag menggunakan konfigurasi sejajar mencapai 5.88% dan konfigurasi zigzag mencapai 8.65% (Salam N. et al, 2018). Kombinasi penggunaan kontrol pasif berupa fin dan dimple pada model menunjukkan peran kontrol pasif dalam menunda separasi aliran dan pengaruhnya pada bagian belakang model kendaraan, dengan reduksi drag hingga 8.999% (Tarakka et al, 2022).



Penelitian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan teknologi otomotif melalui penerapan kontrol aliran pasif yang sederhana namun efektif. Dengan mengoptimalkan penggunaan fin dan Vortex Generator, kendaraan masa depan dapat dirancang dengan efisiensi aerodinamis yang lebih tinggi, mendukung tujuan kemiskinan dan pengurangan konsumsi energi di industri transportasi. Selain itu, temuan dari penelitian juga dapat menjadi rujukan bagi pengembangan teknologi kontrol aliran baru maupun aplikasi praktis dalam desain kendaraan komersial.⁷

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka studi terkait penggunaan control pasif perlu dikembangkan. Sehingga, akan dilakukan penelitian dengan judul “**Analisis Penerapan Kontrol Pasif *Fin* dan *Vortex Generator* Model Segitiga Pada Model Kendaraan**”.

1.2. Rumusan masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, ada beberapa permasalahan yang dapat ditemukan adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana karakteristik aliran pada model kendaraan tanpa menggunakan kontrol aliran dan menggunakan kontrol pasif berupa fin dan *vortex generator* model segitiga.
2. Bagaimana nilai koefisien tekanan pada model kendaraan tanpa menggunakan kontrol aliran dan menggunakan kontrol pasif berupa fin dan *vortex generator* model segitiga.
3. Bagaimana nilai koefisien drag pada model kendaraan tanpa menggunakan kontrol aliran dan menggunakan kontrol pasif berupa fin dan *vortex generator* model segitiga.

1.3. Tujuan dan manfaat penelitian

1.3.1. Tujuan penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang ada diatas, dapat disimpulkan tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis karakteristik aliran pada model kendaraan tanpa menggunakan kontrol aliran dan menggunakan kontrol pasif berupa fin dan *vortex generator* model segitiga.
2. Menganalisis nilai koefisien tekanan pada model kendaraan tanpa menggunakan kontrol aliran dan menggunakan kontrol pasif berupa fin dan *vortex generator* model segitiga.



sis nilai koefisien drag pada model kendaraan tanpa kontrol aliran dan menggunakan kontrol pasif berupa fin dan *erator* model segitiga.

elitian

nelakukan penelitian ini, maka diharapkan dapat memberikan um bagaimana penggunaan kontrol pasif dapat mempengaruhi

distribusi tekanan pada model kendaraan. Dalam dunia akademik, penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam pengembangan model kendaraan. Dalam dunia industri, penelitian ini diharapkan dapat dijadikan sebagai referensi bagi perusahaan-perusahaan.

1.4. Batasan masalah

Adapun Batasan-batasan masalah yang ada didalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Fluida kerja yang digunakan adalah udara dengan densitas (ρ) = 1.164 kg/m³ dan viskositas (μ) = 1.872 × 10⁻⁵ kg/m · s. Udara dianggap mengalir secara inkompresibel.
2. Model kendaraan yang digunakan adalah *Reversed Ahmed Model* dengan perbandingan skala model 1 : 6 dari *Ahmed Model* yang asli yang memiliki dimensi panjang (l) = 0.174 m, lebar (w) = 0.06483 m dan tinggi (h) = 0.048 m.
3. Kemiringan sudut pada bagian depan model kendaraan terhadap arah aliran bebas (*slant angle*) adalah 30°.
4. Variasi ke cepatan *upstream* (U_0) yang digunakan adalah 11.1 m/s (40 km/jam), 13.9 m/s (50 km/jam), 16.7 m/s (60 km/jam), 19.4 m/s (70 km/jam) dan 20,8 m/s (75 km/jam).
5. Jumlah *vortex generator* model segitiga yang digunakan adalah sebanyak 8 buah
6. Variasi sudut *vortex generator* model segitiga terhadap arah aliran bebas adalah 0°, 5°, 10°, 15°, dan 20°.
7. Metode komputasi menggunakan model turbulensi k-epsilon ($k - \epsilon$) standar.
8. Metode eksperimental menggunakan *load cell* untuk melakukan pengukuran *drag*.

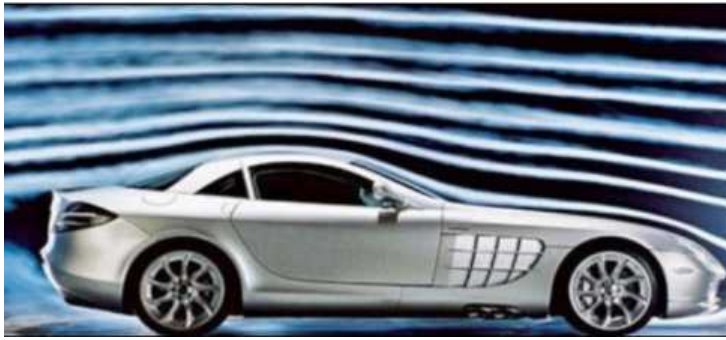
1.5. Tinjauan pustaka

1.5.1 Aerodinamika pada kendaraan

Umumnya dinamika aliran yang terjadi pada kendaraan dibagi atas dua jenis yaitu aliran internal dan aliran eksternal. Aliran eksternal merupakan aliran udara yang melalui permukaan kendaraan yang mengakibatkan timbulnya gaya-gaya yang mengganggu stabilitas dan optimalisasi performa kendaraan. Aliran disekitar kendaraan merupakan aliran yang kompleks, dimana akan menyebabkan tekanan ke dalam lapisan batas. Ketika aliran udara mencapai bagian belakang kendaraan, aliran akan mengalami separasi (pemisahan aliran) yang disebabkan oleh faktor gesekan dan viscositas fluida sehingga terbentuknya daerah turbulen yang besar



yang rendah dibagian belakang kendaraan yang disebut olakan atau olakan ini berakibat pada terjadinya *pressure drag* yang dapat mengurangi performa kendaraan (Krishnani & Nari P, 2006).



Gambar 1 Aliran Udara di Sekitar Kendaraan (Azizi, 2010)

Pertimbangan aerodinamika menjadi penting dalam sebuah desain kendaraan darat seperti truk, bus, atau mini bus. Hal ini dikarenakan gaya aerodinamika memberikan beban tambahan pada mesin kendaraan yang disebabkan oleh gaya tahanan. Perhatikan suatu kendaraan melaju dengan kecepatan konstan pada jalan datar. Kendaraan tersebut mengalami dua gaya yang menghambat gerak lajunya: perlawanan (rolling resistance) dan tahanan aerodinamika. Perlawanan rolling berkaitan dengan deformasi menerus dari roda kendaraan. Penjumlahan antara tahanan aerodinamika dan perlawanan rolling disebut dengan beban jalan (road load). Mesin kendaraan harus secara terus menerus menyediakan daya untuk mengatasi beban jalan tersebut. Daya tersebut merupakan hasil perkaian dari beban jalan dengan kecepatan kendaraan.

Pengurangan tahanan untuk mobil disulitkan dengan adanya permasalahan yang timbul akibat tahanan bawah (underbody drag) dan tahanan gangguan (interference drag). Bagian bawah kendaraan secara aerodinamika sangatlah rumit disebabkan oleh permukaan-permukaan yang menonjol seperti bagian-bagian penampungan oli, muffler dan suspensi. Masing-masing permukaan ini mengalami gaya tahanan yang relatif besar. Tahanan gangguan mengalami tahanan tetapi, hal yang sama pentingnya, mereka mengganggu aliran pada gangguan mengacu pada kenyataan bahwa tahanan total yang berkaitan dengan penonjolan permukaan biasanya lebih besar dari penjumlahan tahanan benda dasar yang diisolasi dan penonjolanpenonjolan yang diisolasi (Yudha Hafitsah, 2016).

1.5.2 Lapisan batas

Aliran fluida selalu menunjukkan adanya suatu daerah yang alirannya terhambat, yaitu dekat batas yang kecepatannya relatif terhadap batas bervariasi antara nol pada batas hingga suatu harga yang dapat diduga dari solusi aliran potensial di titik agak jauh dari dinding. Daerah yang alirannya terhambat disebut lapisan batas (boundary layer). Aliran eksternal memperlihatkan pertumbuhan lapisan batas yang kontinu karena tidak adanya batasan yang mengurung, sekitar sayap pesawat terbang (Frank M. White, 1997).

1904, Prandtl memperkenalkan hipotesa lapisan batas, yang mengasumsikan bahwa koefisien tahanan bentuk dan tahanan friksi muncul dalam aliran dengan kecepatan tinggi. Perhatikan aliran pada suatu benda tipis panjang, seperti sayap pesawat atau airfoil pada gambar 2.3. Prandtl berpendapat bahwa dengan mengabaikan viskositas, fluida semestinya masih tetap memenuhi kondisi



non-slip pada permukaan. Dengan demikian kecepatan fluida harus meningkat dari nol pada permukaan suatu nilai yang mendekati besarnya kecepatan aliran bebas pada jarak yang pendek diatas permukaan. Daerah dimana kecepatan meningkat dari nol ke harga aliran bebas ini disebut lapisan batas (boundary layer). Prandtl mencatat bahwa semakin tinggi bilangan Reynoldsnnya, lapisan batasnya semakin kecil, yang diperlihatkan dalam :

$$\frac{\delta}{L} \sim \sqrt{\frac{\nu}{V \infty L}} = \frac{1}{\sqrt{Re}}$$

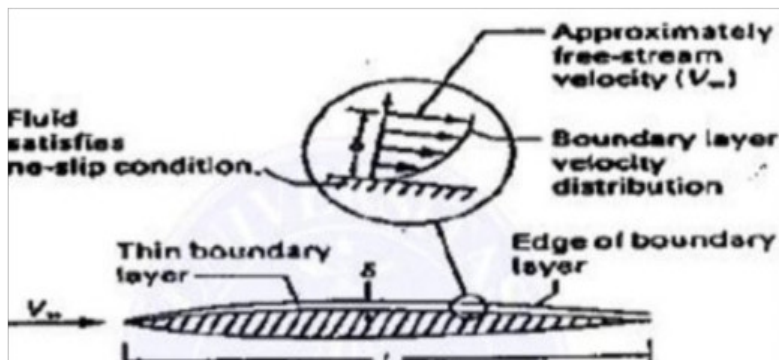
Dimana:

δ = tebal lapisan batas (m) L = panjang karakteristik (m) ν = viskositas kinematis fluida (m²/s)

V_{∞} = kecepatan fluida relatif terhadap objek (m/s)

Re = bilangan Reynolds.

Dalam hal ini tentu saja semakin tipis lapisan batas, semakin besar nilai dari $\frac{\partial u}{\partial y}$ didalam lapisan batas tersebut. Terdapat tegangan geser yang penting di dalam fluida lapisan batas, meskipun viskositasnya kecil.



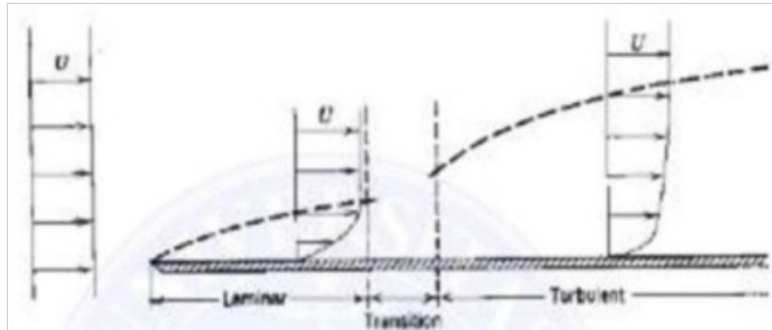
Gambar 2 Lapisan batas viskositas tipis pada suatu benda dalam aliran dengan bilangan Reynolds tinggi.

Selama lapisan batas tersebut tipis, keberadaannya memiliki efek kecil pada distribusi tekanan atau pola aliran dekat benda. Untuk plat datar atau airfoil tipis, bentuk-bentuk garis arus (streamline shape) pada dasarnya tidak berubah oleh adanya lapisan batas tersebut. Oleh karena lapisan batas adalah suatu daerah dimana fluida mengalami deformasi geser. Alirannya bisa laminar atau turbulen tergantung pada nilai bilangan Reynoldsnnya. Aliran lapisan batas dekat dengan leading edge) dari suatu plat selalu laminar karena bilangan Reynoldsnnya (local) kecil. Jika plat tersebut cukup panjang, transisi ke turbulen terjadi pada daerah hilir dari plat tersebut. Jika aliran menjadi turbulen pada daerah hilir dari plat tersebut, transisi ke aliran kasar atau turbulensi dalam aliran di luar lapisan batas, transisi terjadi ke ujung depan (leading edge). Gambar 2.4 mengilustrasikan pertumbuhan lapisan batas pada plat datar tersebut. Dikarenakan



Optimized using trial version
www.balesio.com

oleh pencampuran yang meningkat dalam aliran turbulen, lapisan batas turbulen memiliki tegangan geser yang lebih besar daripada lapisan batas laminar. Seperti halnya, permukaan kasar mengalami tegangan yang lebih besar dari permukaan halus.



Gambar 3 Lapisan batas pada suatu plat datar.

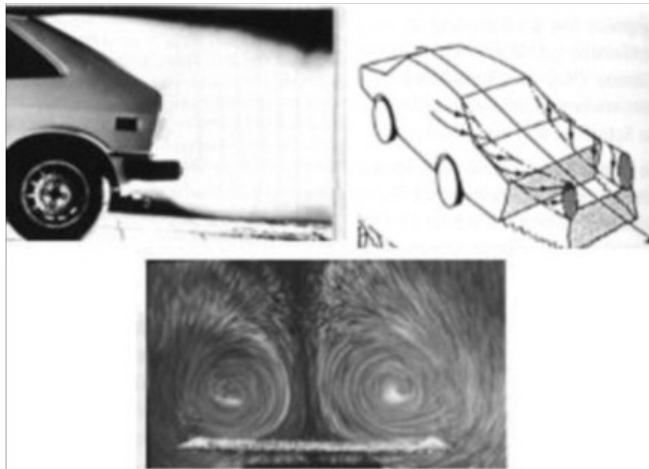
Fakta ini menerangkan perilaku koefisien tahanan untuk suatu plat datar yang sejajar dengan aliran seperti diperhatikan pada gambar 2.3 dan 2.4 pada bilangan Reynolds yang rendah, aliran dekat plat adalah laminar dan koefisien tahanannya lebih kecil. Pada bilangan Reynolds yang tinggi, aliran dekat plat adalah turbulen pada sebagian besar dari panjang plat dan koefisien tahanannya lebih tinggi karena tegangan gesernya lebih besar. transisi antara kurva laminar dan kurva turbulen bukanlah merupakan merupakan garis tunggal tetapi sekumpulan garis yang bergantung pada kekasaran plat dan tingkat turbulensi aliran fluida di atas plat tersebut. Pada setiap harga bilangan Reynolds tertentu, plat datar paralel harus memiliki koefisien drag yang paling kecil dari semua bentuk (Yudha Hafitsah, 2016). Pertimbangan aerodinamika menjadi penting dalam desain kendaraan darat seperti truk dan mobil dikarenakan gaya aerodinamika memberikan beban tambahan pada mesin kendaraan, hal ini berasal dari gaya tahanan. Perhatikan suatu kendaraan melaju pada kecepatan konstan pada jalan datar. Kendaraan tersebut mengalami dua gaya yang menghambat gerak lajunya: perlawanan rolling (rolling resistance) dan tahanan aerodinamika. Perlawanan rolling berkaitan dengan deformasi menerus dari roda kendaraan. Penjumlahan antara tahanan aerodinamika dan perlawanan rolling disebut dengan beban jalan (road load). Mesin kendaraan harus terus-menerus menyediakan daya untuk mengatasi beban jalan tersebut. Daya tersebut merupakan hasil perkalian dari beban jalan dengan kecepatan kendaraan. Daya perlawanan rolling hampir linier terhadap kecepatan, sedangkan gaya tahanan aerodinamika bervariasi terhadap pangkat tiga kecepatan (koefisien tahanan mendekati konstan). Kurva perlawanan rolling dan kurva tahanan aerodinamika asing-masing berkontribusi sama pada beban jalan) pada suatu v sekitar 50 mph (80 km/h) dan 60 mph (96 km/h). Di atas kecepatan ibuthkan untuk mengatasi tahanan aerodinamika mengkat dengan di faktor pengontrol daam kecepatan kendaraan.



1.5.3 Separasi aliran

Separasi aliran akibat efek viskos fluida. Fluida kehilangan energi kinetik di permukaan dinding sehingga tidak memiliki momentum yang cukup untuk mengalir dalam lapisan batas. Perubahan kontur secara drastis menyebabkan fluida tidak mampu bergerak mengikuti kontur sehingga mengalami separasi. Aliran yang ditimbulkan oleh separasi aliran memiliki tekanan yang rendah dan menyebabkan gaya drag. Drag aerodinamis kendaraan tersebut terutama hasil perbedaan tekanan yang signifikan antara depan dan permukaan belakang (D.Barros et. al 2017). Efek viskos juga menimbulkan kondisi yang disebut pemisahan aliran (flow separation). Sebuah garis arus yang semula menempel pada batas padat terlepas dan membentuk sebuah wake besar sehingga setelah hilir titik pemisahan itu aliran netto tidak berkembang. Lokasi titik pemisahan sering terjadi pada sudut-sudut yang tajam (Frank M. White, 1997).

Kemiringan bagian belakang mobil menimbulkan vortex longitudinal sehingga sehingga meningkatkan drag. Logitudinal Vortex yang terjadi di bagian belakang mobil diperlihatkan pada gambar 4 (Lajos 2002).



Gambar 4 Logitudinal Vortex yang terjadi di bagian belakang mobil (a) tampak samping (b) pola garis alir yang terjadi di sisi belakang mobil (c) visualisasi longitudinal vortex (Lajos 2002)

1.5.4 Gaya drag aerodinamika

Apabila gelombang atau drag terinduksi tidak ada, drag total sama dengan drag profil, yang ditimbulkan oleh tekanan dan geseran viskos. Drag profil dapat terjadi karena geseran viskos sepenuhnya, karena tekanan sepenuhnya, atau keduanya. Gaya geseran viskos memainkan peran penting dalam lapisan batas dari permukaan benda. Ini berpengaruh pada ukuran dan lokasi tekanan di dalamnya, keduanya turut menentukan besar drag. Perbedaan tekanan yang positif di bagian depan sebuah benda juga ada drag tekanan. Drag diekspresikan sebagai hasil kali koefisien amik arus bebas, dan luas karakteristik. Koefisien drag merupakan



fungsi sejumlah parameter seperti bentuk benda, angka Reynolds, angka Mach, angka Froude, kekasaran permukaan, dan turbulensi arus bebas. Pada umumnya diekspresikan sebagai:

$$drag = c_d \frac{\rho u_s^2}{2} A \dots\dots\dots$$

Koefisien drag atau biasa disingkat CD bergantung pada lapisan batas laminar atau turbulen. Jika lapisan batas laminar, nilai CD dipengaruhi oleh angka Reynolds aliran yang didasarkan pada kecepatan arus bebas dan panjang pelat x. Jika lapisan batas turbulen, nilai CD dipengaruhi oleh angka Reynolds aliran, kekasaran pelat, serta lokasi transisi dari lapisan batas laminar menjadi lapisan batas turbulen, yang sangat bergantung pada kekasaran pelat dan tingkat turbulensi arus bebas. Drag terjadi akibat pemisahan aliran. Teori lapisan batas dapat meramalkan titik pisah, distribusi tekanan biasanya rendah di daerah pemisahan itu. Perbedaan antara tekanan tinggi di daerah stagnasi di depan dan tekanan rendah di daerah pemisahan di belakang, memberikan kontribusi drag yang besar, yang disebut drag tekanan. Tegangan geser atau drag gesek benda menambah besar drag, Kontribusi relatif drag tekanan dan drag gesek tergantung pada bentuk benda, terutama tebalnya. (R.M. Olson et.al, 1993) Drag tekanan merupakan drag akibat tahanan fluida yang mengubah aliran hingga dapat mengisi ruang di belakang benda. Fenomena hisapan terjadi akibat perbedaan tekanan antara upstream dan downstream yang diakibatkan oleh tekanan total pada bagian belakang lebih rendah dari bagian depan. Drag akibat tekanan dipengaruhi oleh bentuk benda, utamanya bentuk benda datar yang tegak lurus terhadap arah aliran (Munson, 2002).

Secara umum drag tekanan pada kendaraan terdiri atas dua macam:

a. Frontal Pressure

Frontal pressure merupakan jenis drag tekanan yang diakibatkan oleh tekanan aliran udara pada bagian depan kendaraan. Molekul udara menabrak grill depan mobil sehingga mengakibatkan tekanan udara di depan mobil meningkat. Akibat tekanan ini, molekul udara akan mencari jalan keluar di sekitar sisi, bawah dan depan mobil.



Gambar 5 Tekanan Frontal Pada Mobil (Azizi, 2010)



Optimized using trial version
www.balesio.com

um merupakan jenis drag tekanan yang disebabkan oleh ruang di udara ketika kendaraan melaju yang dipengaruhi oleh kecepatan.

Molekul udara yang tidak dapat mengisi ruang hampa akibat kendaraan melaju dengan kecepatan tinggi merupakan penyebab terjadinya rear vacuum. Ruang hampa yang terbentuk di daerah belakang kendaraan disebabkan oleh kecepatan kendaraan melebihi kecepatan molekul udara yang memberikan efek hisapan.



Gambar 6 Rear Vacuum Daerah Belakang Mobil (Azizi, 2010)

1.5.5 Metode kontrol aliran

Kontrol aliran memungkinkan kita untuk mengubah aliran yang ada, menjadi aliran yang diinginkan. Kita bisa menggunakan kontrol aliran dalam berbagai hal, seperti peningkatan lift, penundaan separasi, kontrol perpindahan panas, dan sebagainya (Gad-el-Hak and Bushnell, 1991). Kontrol aliran terbagi menjadi 2 klasifikasi yaitu kontrol aktif dan kontrol pasif. Contoh kontrol aktif ialah jet, synthetic jet, plasma actuator, Lorentz forces, dan sebagainya. Lalu, pada kontrol pasif terdapat wing tip, gurney flap, vortex generator, dan lain-lain (Adiwidya Ega Fadila, 2021).

Pengembangan kendaraan saat ini membutuhkan basis aerodinamika yang kuat untuk meningkatkan kontrol aliran baik berupa alat kontrol pasif maupun kontrol aktif. Teknik kontrol aliran yang sudah dikembangkan dapat dibedakan menjadi 4 berdasarkan konfigurasi dan tujuannya (Aider et al, 2009) diantaranya:

- Melakukan kontrol aliran pada titik separasi. Hal ini akan dengan mudah dilakukan jika daerah separasi terdefinisi dengan jelas seperti pada kasus Ahmed body.
- Melakukan kontrol terhadap lapisan batas pada upstream dari daerah separasi, sehingga lokasi daerah separasi dan sifat lapisan geser dapat dimodifikasi.
- Melakukan kontrol aliran dengan aktuasi sepanjang dinding downstream daerah dimana separasi terjadi. Kontrol aliran tersebut berupa tiupan (blowing) atau hisapan (suction).
- Melakukan kontrol aliran dengan aktuasi pada region downstream daerah dimana separasi terjadi.



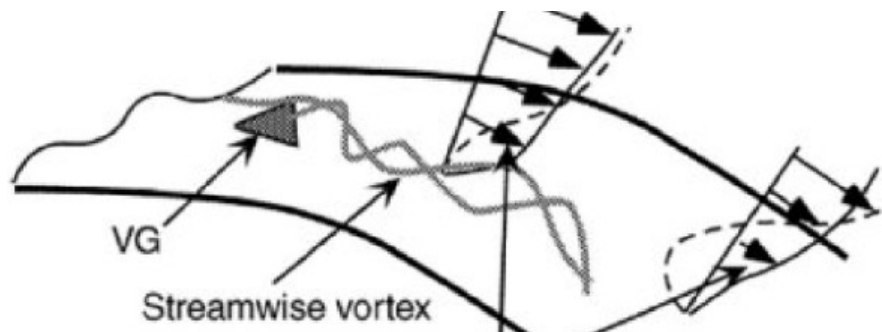
aliran

unyai dua alternative penerapan, pada dinding (at the wall) atau ling (apart from the wall) parameter-parameter permukaan dinding entuk, kelengkungan (curvature), kekasaran, temperature dan julasi untuk mendapatkan bentuk profil kecepatan tertentu dekat

dinding dapat meningkatkan ketahanan lapisan batas terhadap transisi dan separasi (bearman 1965, Bearman & Harvey, 1993).

Terdapat dua faktor utama yang menjadi penyebab dari separasi aliran, yaitu gradien tekanan yang merugikan dan viskositas. Kontrol separasi aliran dapat dilakukan dengan mengubah atau mempertahankan struktur aliran sehingga dapat mencegah atau menunda separasi aliran. Kontrol pasif aliran adalah salah satu metode yang dapat diaplikasikan tanpa menggunakan daya eksternal. Terdapat beberapa jenis kontrol pasif seperti slots, vortex generator dan splitter plate (Chang, 1970).

Vortex Generator adalah salah satu jenis kontrol pasif yang memindahkan energi dari luar lapisan batas ke dalam lapisan batas, dan digunakan untuk mengatur aliran yang telah mengalami separasi seperti pada sayap, diffuser kendaraan atau belokan pada kanal, baik pada kecepatan subsonik maupun supersonik. Saat berada menuju downstream, aliran yang bergerak di dekat dinding akan lebih cepat kehilangan momentum akibat sifat viskos dari udara. Tujuan dari penambahan Vortex Generator adalah untuk memindahkan momentum dari luar lapisan batas dimana kecepatannya lebih tinggi ke dalam lapisan batas dimana momentumnya lebih kecil, dengan streamwise vortex yang dibentuk oleh vortex generator tepat sebelum titik separasi aliran. Dengan menunda titik separasi, kecepatan pada titik separasi akan menjadi lebih kecil dan tekanan statis akan menjadi lebih tinggi (Koike, 2004).



Gambar 7 Skema Aliran Pada Vortex Generator (Koike, 2004)

Tetapi, vortex generator yang ditempatkan pada model kendaraan juga menambah gaya drag sendiri. Sehingga, efisiensi dari pengaplikasian vortex generator pada model kendaraan secara deduktif dapat dihitung dengan mengurangi reduksi gaya drag yang diperoleh oleh vortex generator dengan jumlah gaya drag yang dihasilkan oleh vortex generator itu sendiri. Kesimpulannya, yang optimal untuk vortex generator (Koike, 2004).



Optimized using
trial version
www.balesio.com

struktur yang digunakan untuk meningkatkan stabilitas, kendali, lam berbagai aplikasi. Fin dapat dibagi menjadi beberapa jenis, inamis dan fin hidrodinamika, yang masing-masing memiliki fungsi ng berbeda. Fin aerodinamis digunakan dalam desain pesawat obil untuk meningkatkan stabilitas dan kendali, sedangkan fin

hidrodinamika digunakan dalam desain kapal dan perahu untuk meningkatkan stabilitas dan kendali. Dengan demikian, fin memiliki peran penting dalam meningkatkan kinerja dan efisiensi dalam berbagai bidang. (John, 2020)

Fin tidak hanya berfungsi sebagai fin stabilizer, tetapi juga dapat diterapkan pada centerbulb kapal. Penggunaan dua fin pipih yang dipasang memanjang pada centerbulb memengaruhi hambatan dan gerakan vertikal kapal katamaran. Katamaran sendiri adalah jenis kapal dengan dua lambung (demihulls) yang terhubung oleh suatu struktur sehingga membentuk satu kesatuan kapal. Berdasarkan penelitian, penggunaan fin pada centerbulb menunjukkan peningkatan dalam pengendalian gerakan heave dan pitch pada berbagai kecepatan uji, serta menghasilkan koefisien hambatan sisa yang lebih rendah dibandingkan kapal tanpa fin di centerbulb (Zotti, 2007).

1.5.7 Computational Fluid Dynamics

Computational Fluid Dynamic atau biasa disebut CFD adalah suatu cara untuk menganalisa suatu sistem yang melibatkan aliran fluida, perpindahan panas, reaksi kimia dan fenomena fisik lainnya yang berdasarkan pada simulasi berbasis komputer (H. K. Versteeg dan W Malalasekera, 2007). Penyelesaian permasalahan dalam bidang mekanika fluida dan perpindahan panas dilakukan dalam dua pendekatan, yaitu pendekatan eksperimental dan pendekatan analitis. Namun, dikarenakan permasalahan yang muncul dari waktu ke waktu semakin susah untuk diselesaikan secara konvensional, maka dibutuhkan pendekatan baru yang dapat dilakukan dengan cepat, mudah dan tidak mengeluarkan banyak biaya, sehingga munculah perangkat lunak berbasis CFD. (Marga Yogatama dan Ramon Trisno, 2018)

Dalam penggunaan CFD terdapat beberapa tahapan yang harus dilakukan, yaitu tahap pre-processing, tahap CFD solver, dan tahap post-processing.

1. Tahap *Pre-Processing*: Pada tahap awal ini yang perlu dilakukan adalah memasukkan parameter-parameter yang terdapat pada permasalahan ke dalam program CFD dengan melakukan penyesuaian input yang diberikan, sehingga permasalahan tersebut dapat diselesaikan dengan baik pada program CFD.
2. Tahap CFD Solver: Pada tahap ini semua parameter yang telah dimasukkan ke dalam program CFD kemudian akan dilakukan perhitungan dengan menggunakan iterasi. Apabila hasil iterasi yang dikeluarkan adalah konvergen maka dapat disimpulkan iterasi yang telah dilakukan dikatakan berhasil, tetapi jika hasil iterasi yang dikeluarkan adalah divergen maka terdapat kesalahan input yang dilakukan pada tahap sebelumnya.

3. Tahap *Post Processing*: Pada tahap terakhir ini hal yang perlu dilakukan adalah melihat hasil perhitungan yang telah dilakukan pada tahap CFD solver. Hasil yang terdapat pada tahapan ini dapat dilihat dengan beberapa bentuk, yaitu Vector Plot, Kontur Plot, Report, dan Animasi.



BAB II METODOLOGI PENELITIAN

2.1. Tempat dan waktu penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Fluida Departemen Teknik Mesin Lt. 2, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin di Jl. Poros Malino Kecamatan Bontomarannu, Kabupaten Gowa dan dimulai pada bulan Juni hingga Selesai.

2.2 Langkah-langkah penelitian.

Untuk memperoleh data yang dibutuhkan dalam penyusunan tugas akhir ini, maka teknik pengumpulan data dilakukan dengan cara pengujian di lapangan secara langsung dan hasilnya divalidasi. Pada proses penelitian tugas akhir ini menggunakan beberapa teknik pengumpulan data dan penelitian sebagai berikut :

- a. Identifikasi dan Perumusan Masalah, Pada awal penelitian dan pengerjaan skripsi ini adalah dengan mengidentifikasi masalah yang ada. Perlu juga penulis merumuskan masalah yang ada untuk diselesaikan selama proses penelitian ini.
- b. Studi Pustaka (*library research*), yaitu dengan membandingkan, membaca, dan mengumpulkan data-data teoritis melalui buku-buku, tulisan ilmiah, literatur lainnya serta catatan pengetahuan perkuliahan yang bersangkutan dengan masalah-masalah yang akan dibahas, sehingga diperoleh landasan yang digunakan untuk mengatasi permasalahan tersebut.
- c. Pengambilan data, dengan melakukan proses pengambilan data sesuai parameter yang dibutuhkan. Hal ini dilakukan agar menghasilkan data yang dapat diolah secara matematis dan dapat dibandingkan dengan teoritis ataupun penelitian sebelumnya.

Adapun teknik pengumpulan data yang dilakukan yaitu :

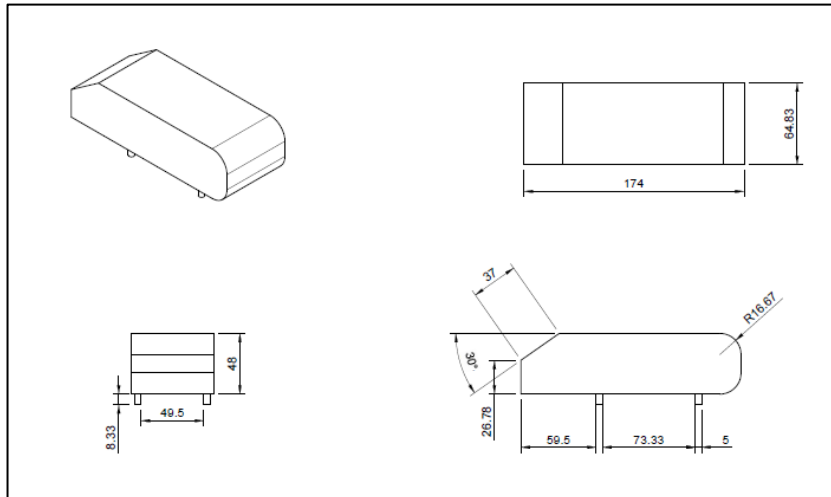
1. Teknik observasi langsung, dengan melakukan pengambilan data dari pengujian di lapangan dan mencatat hasil yang didapatkan dari setiap pengujian.
2. Teknik dokumentasi, untuk mengumpulkan data melalui hasil dokumentasi yang dilakukan untuk mengurangi kesalahan dalam pencatatan dan pengumpulan data hasil dari pengujian.
- d. Analisa hasil dan Pembahasan, setelah semua data yang dibutuhkan diperoleh maka selanjutnya adalah proses pengolahan data dengan perhitungan data secara matematis dengan persamaan-persamaan yang sesuai dengan topik dari penelitian ini.
- e. Penarikan Kesimpulan dan Saran, setelah semua data diolah dan telah dibuat n, maka akan dapat ditarik kesimpulan dan juga saran yang sebagai referensi untuk pengembangan penelitian selanjutnya.



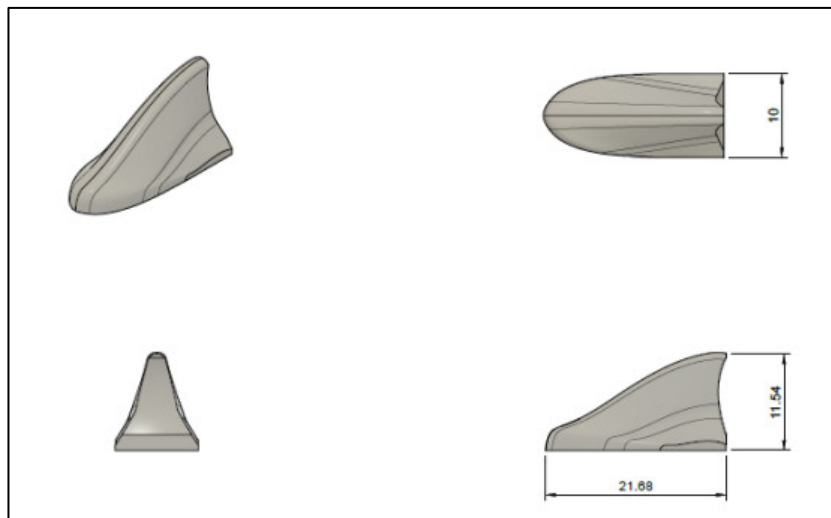
an

yang akan digunakan dalam penelitian adalah *bluff body* model menyerupai model mobil minibus. Model uji ini adalah *Ahmed Body*

dengan posisi terbalik (*Reversed Ahmed Body*). Model uji yang akan digunakan mempunyai skala model 1 : 6 dari ukuran sebenarnya. Skala ini digunakan agar spesimen dapat diuji di dalam terowongan angin. Dimensi yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 6. Panjang model adalah 174 mm, lebar model 64.83 mm dan tinggi model 48. Sudut kemiringan bagian depan model (*slant angle*) adalah 30°.



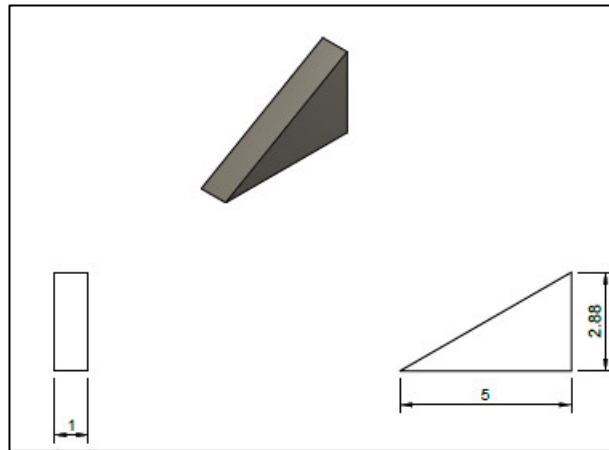
Gambar 8 Dimensi Model Kendaraan *Reversed Ahmed Body*



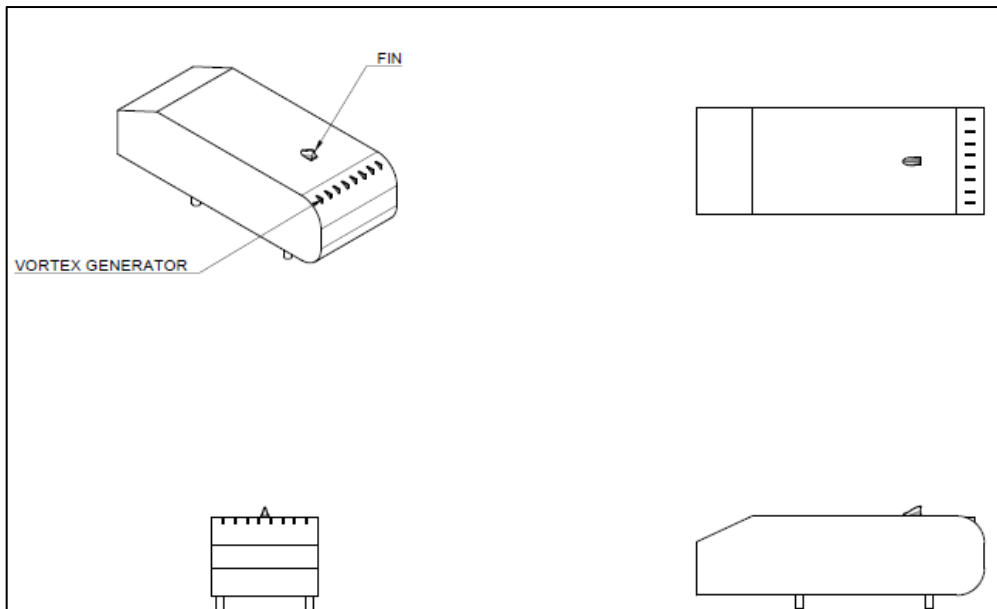
Gambar 9 Dimensi Fin



Optimized using
trial version
www.balesio.com



Gambar 10 Dimensi *Vortex Generator* model Segitiga



Gambar 11 Konfigurasi Fin dan *Vortex Generator* Pada *Reverse Ahmed Body*

Penelitian ini akan membandingkan hasil antara model kendaraan tanpa menggunakan kontrol pasif fin dan *vortex generator* dengan model kendaraan yang menggunakan kontrol pasif fin dan *vortex generator*. Adapun model fin dan *vortex generator* yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 7 dan Gambar 8.

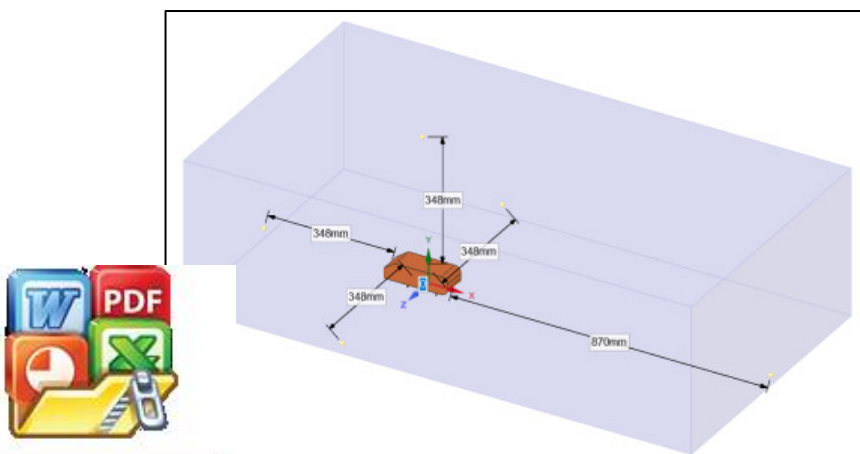
Adapun penempatan fin dan *vortex generator* pada model kendaraan da Gambar 9. Fin diposisikan di depan *Vortex generator* yang ta bagian ujung belakang model kendaraan dan disusun secara .uk sudut sebesar α . Pada penelitian ini, sudut α divariasikan dengan it 0° , 5° , 10° , 15° , dan 20° serta akan dimiringkan ke arah ke kiri.



2.4. Pendekatan komputasi

Pendekatan komputasi pada penelitian ini dilakukan untuk memperoleh data karakteristik aerodinamika model kendaraan secara numerik. Untuk memberikan hasil yang akurat, digunakan simulasi tiga dimensi (3D) pada model kendaraan dengan jumlah *mesh cell* diatas 1 juta. Selain itu, untuk memastikan data yang diperoleh valid, akan dilakukan proses *Grid Independency Test* pada domain komputasi. Proses pendekatan komputasi dilakukan melalui dua tahap. Tahap pertama adalah melakukan proses komputasi pada model kendaraan tanpa menggunakan kontrol aliran. Proses komputasi pada model ini dilakukan untuk memperoleh data awal yang dapat dijadikan sebagai pembandingan terhadap model kendaraan yang telah diaplikasikan fin dan *vortex generator*. Tahap ini dilakukan untuk memperoleh gambaran awal terhadap potensi optimasi karakteristik aerodinamika pada model kendaraan, yang meliputi beberapa aspek, seperti pembentukan lapisan batas pada model kendaraan, pembentukan olakan (*wake development*) pada model kendaraan, serta pengaruhnya terhadap nilai distribusi tekanan pada model kendaraan. Tahap ini adalah melakukan proses komputasi pada model kendaraan yang telah diaplikasikan kontrol pasif berupa fin dan *vortex generator*. Tahap ini dilakukan untuk tiap konfigurasi sudut *vortex generator* pada model kendaraan. Tujuannya adalah untuk memperoleh karakteristik aerodinamika dari tiap konfigurasi yang meliputi distribusi tekanan, gaya *drag* hingga *streamline* aliran pada konfigurasi tersebut. Data karakteristik ini kemudian akan dibandingkan dengan data karakteristik model kendaraan yang diperoleh tanpa menggunakan kontrol aliran.

Secara umum, prosedur pendekatan komputasi melalui metode CFD dilakukan melalui tiga tahap dasar. Tahap pertama yaitu proses *pre-processing*. Proses ini meliputi pendefinisian geometri model kendaraan, penentuan domain komputasi, pembentukan *grid* atau *mesh* pada domain komputasi dan penetapan kondisi batas (*boundary condition*) pada domain komputasi. Geometri dari model kendaraan dibuat pada software Fusion 360 dengan merujuk pada model kendaraan yang sebenarnya. Geometri model yang telah siap kemudian dipindahkan ke dalam *software meshing* yang digunakan yakni ANSYS *Workbench*.



Gambar 12 Dimensi Domain Komputasi



Proses pembuatan meshing pada domain komputasi dilakukan dengan menggunakan Poly-hexcore pada software ANSYS Workbench. Elemen Polyhexcore memberikan akurasi yang paling tinggi dibandingkan dengan jenis elemen lainnya. Pendekatan ini menyeimbangkan efisiensi komputasi dan akurasi hasil komputasi.

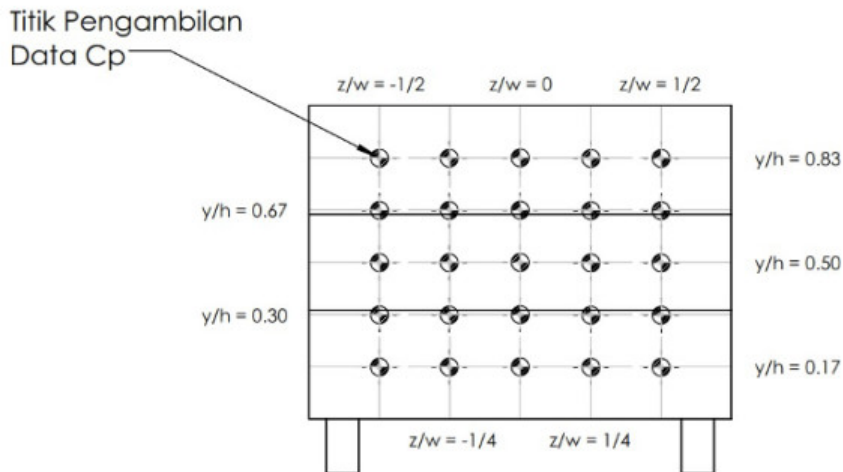
Pada bagian dekat dinding model kendaraan, lapisan inflasi (inflation layer) digunakan. Lapisan inflasi digunakan untuk memperhalus elemen mesh pada bagian dekat dinding dengan gradien kecepatan yang tinggi. Penentuan jumlah lapisan dan tinggi lapisan pertama dilakukan berdasarkan bilangan Reynolds pada domain komputasi.

Setelah melakukan proses meshing pada domain komputasi, selanjutnya adalah menetapkan kondisi batas pada domain komputasi. Kecepatan upstream (U_{∞}) yang digunakan adalah 11.1 m/s (40 km/jam), 13.9 m/s (50 km/jam), 16.7 m/s (60 km/jam), 19.4 m/s (70 km/jam), dan 20.8 m/s (75 km/jam). Fluida kerja pada domain komputasi dianggap sebagai aliran inkompresibel. Fluida kerja yang digunakan adalah udara dengan densitas (ρ) = 1.164 kg/m³ dan viskositas (μ) = 1.872 × 10⁻⁵ kg/m·s. Model turbulensi yang digunakan adalah k-epsilon standar.

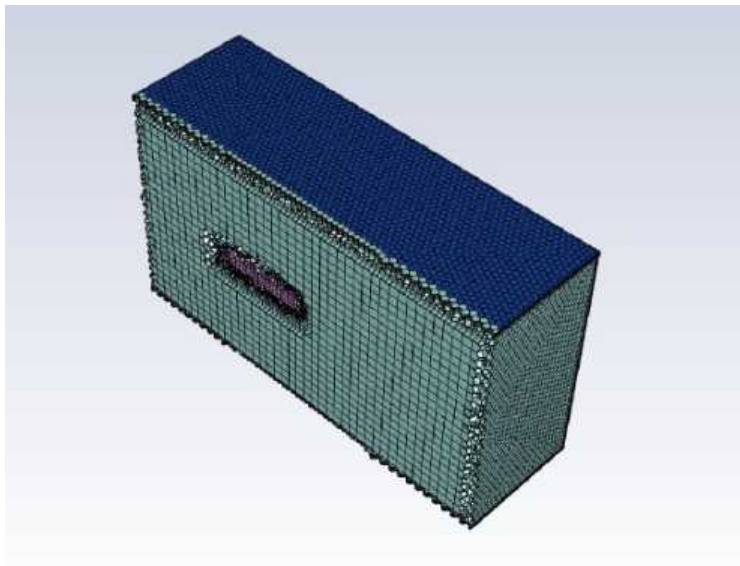
Pada tahap *post processing*, data-data hasil iterasi akan ditampilkan dalam bentuk numerik seperti medan kecepatan, medan tekanan dan gaya *drag* aerodinamika. Pada pendekatan komputasi, pengambilan data distribusi tekanan pada model kendaraan dilakukan dengan tujuan untuk mendukung hasil gaya *drag* aerodinamika model yang didapatkan. Pada dasarnya, reduksi gaya *drag* aerodinamika pada model kendaraan berbentuk *bluff body* ditandai dengan naiknya nilai distribusi tekanan pada bagian belakang kendaraan. Karena sekitar 80 persen kontributor penyebab gaya *drag* aerodinamika pada model kendaraan *bluff body* adalah pada aliran di belakang model kendaraan (Kourta & Gillieron, 2009).

Hal ini kemudian yang menjadi landasan untuk lokasi pengambilan data distribusi tekanan pada model kendaraan. Titik pengambilan data distribusi tekanan dilakukan pada lima garis grid yang berbeda sepanjang sumbu horizontal (z) yaitu $z/w = -1/2$, $z/w = -1/4$, $z/w = 0$, $z/w = 1/2$ dan $z/w = 1/4$, dan lima garis grid yang berbeda sepanjang sumbu vertikal (y) yaitu $y/h = 0.17$, $y/h = 0.30$, $y/h = 0.50$, $y/h = 0.67$ dan $y/h = 0.83$, dimana jarak antar garis grid adalah 8 mm. z/w adalah rasio antara lebar grid dan lebar model kendaraan dan y/h adalah rasio antar tinggi grid dan tinggi model kendaraan. Berdasarkan grid yang ada, maka diperoleh total sebanyak 25 titik untuk pengambilan distribusi tekanan.





Gambar 13 Titik Pengambilan Data Tekanan Pada Bagian Belakang Benda uji



Gambar 14 Pola *mesh* poli-hexcore pada domain komputasi

2.5. Pendekatan eksperimental



Optimized using
trial version
www.balesio.com

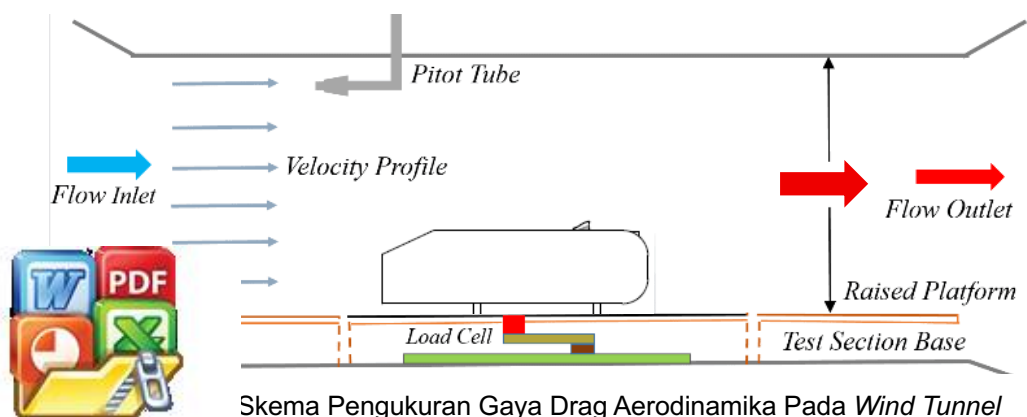
eksperimental pada penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk idasi melalui pengambilan data secara aktual pada model ensi model yang digunakan pada pendekatan eksperimental as terhadap dimensi model yang digunakan pada pendekatan as pengambilan data dilakukan pada terowongan angin subsonik (unnel). Pengambilan data *drag* aerodinamika dilakukan dengan

menggunakan perangkat *load cell* dengan *strain gauge* agar data *drag* aerodinamika dapat diambil secara *real time* dan akurat. Proses pengambilan data *drag* aerodinamika model kendaraan dilakukan selama 300 detik untuk tiap kecepatan *upstream* dengan *logging* data tiap detiknya, sehingga diperoleh 300 data untuk tiap kecepatan *upstream*. Nilai rata-rata dari data kemudian diambil sebagai data *drag* aerodinamika model kendaraan pada kecepatan tersebut.



Gambar 15 Terowongan Angin (*Wind Tunnel*)

Pada pendekatan eksperimental, pengukuran gaya *drag* aerodinamika model kendaraan dilakukan menggunakan *load cell*. *Load cell* tersusun dari pelat besi yang terhubung dengan model kendaraan melalui batang aluminium. Model kendaraan ditempatkan di dalam terowongan angin yang dialiri oleh udara dengan kecepatan tertentu, sehingga model kendaraan akan menerima gaya *drag*. Karena model kendaraan terhubung dengan pelat besi, maka gaya *drag* yang diterima oleh model kendaraan akan diterima oleh pelat besi sehingga pelat besi akan menekuk dan meregang. Nilai regangan dari pelat besi akan membaca nilai regangan tersebut kemudian menerjemahkannya ke dalam bentuk nilai tegangan tertentu sehingga diperoleh tegangan *output* tertentu. Kode pemrograman yang disematkan pada *load cell* akan membaca nilai tegangan tersebut dan menampilkannya dalam bentuk gaya dengan satuan gram.



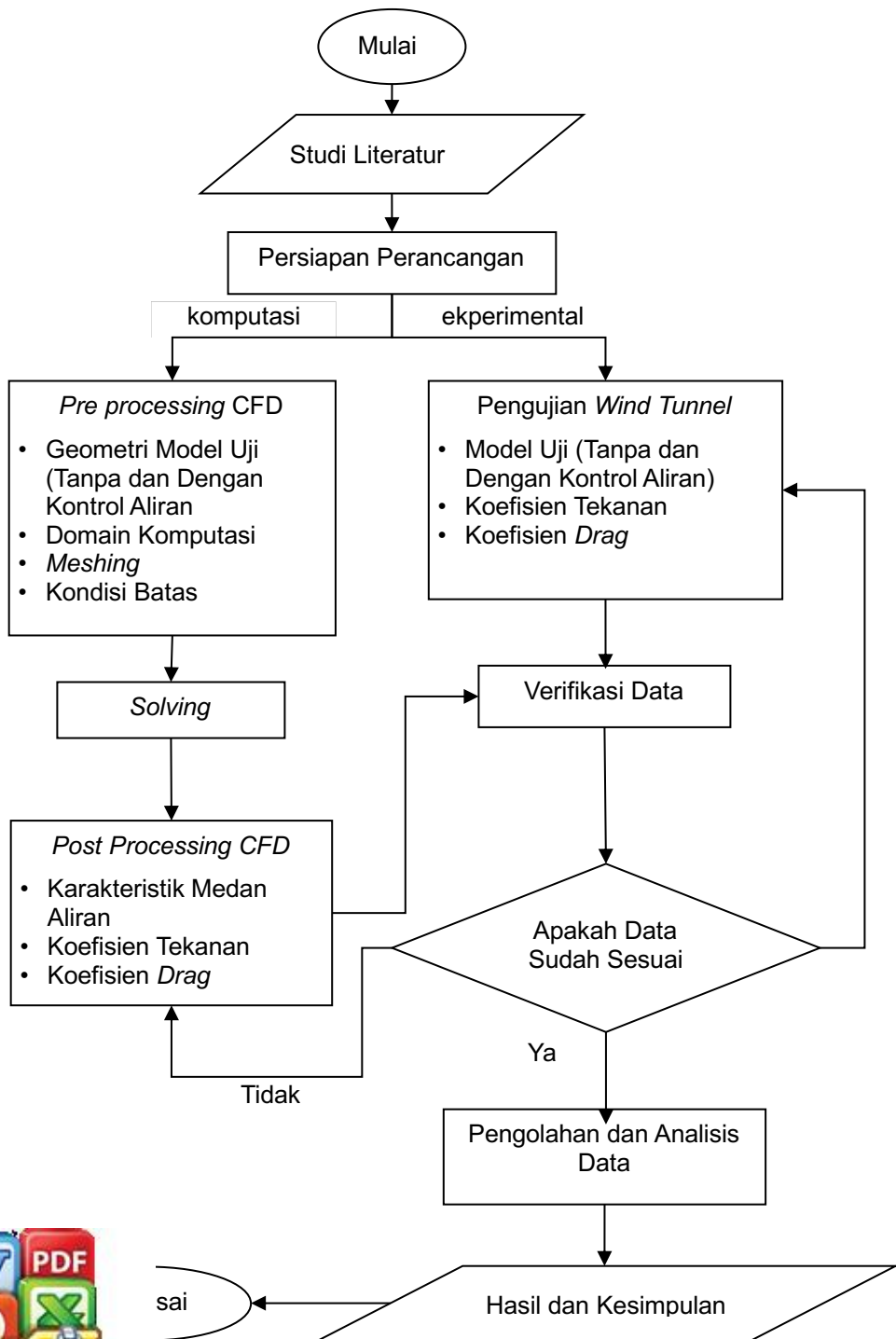
Skema Pengukuran Gaya Drag Aerodinamika Pada *Wind Tunnel*

Proses kalibrasi dari *load cell* dilakukan dengan menempatkan beban tertentu yang telah diketahui massanya pada *load cell*. Nilai beban ini dimasukkan sebagai data awal yang direkam oleh komputer, kemudian beban massa sesungguhnya diletakkan pada *load cell*. Informasi ini kemudian akan disimpan oleh komputer sebagai nilai konversi untuk pengukuran selanjutnya. Pada penelitian ini, kalibrasi *load cell* dilakukan dengan memanfaatkan timbangan digital, dimana timbangan tersebut diletakkan dengan posisi berdiri dan tepat berada di samping model uji yang telah dipasang *load cell*. Kemudian timbangan akan didorong hingga menyentuh model sehingga gaya dorong yang diterima oleh model uji akan ditampilkan pada *display* timbangan. Nilai dari gaya dorong ini kemudian dimasukkan pada *input load*. Setelah proses kalibrasi selesai dilakukan, prosedur pengujian gaya *drag* aerodinamika dapat dilakukan. Adapun skema kalibrasi *load cell* dapat dilihat pada Gambar 13.

Adapun prosedur dalam pengujian gaya *drag* aerodinamika melalui pendekatan eksperimental menggunakan *load cell* dengan variasi kecepatan *upstream* adalah sebagai berikut; Pertama, model uji dipasang pada dudukan benda uji pada seksi uji terowongan angin. Kedua, *load cell* dipasang pada benda uji yang telah dilekatkan pelat. Ketiga, *load cell* yang dipasang harus menyentuh batang besi yang terhubung ke benda uji, kemudian dilakukan kalibrasi hingga tidak ada nilai yang terbaca pada *display*. Keempat, motor listrik terowongan angin diaktifkan dan kecepatan *upstream* diatur pada kecepatan tertentu sehingga udara yang dialirkan akan membuat benda uji terseret ke belakang dan menyebabkan pelat mengalami *bending* dan meregang. Regangan pada pelat akan terbaca pada *load cell* dengan satuan gram. Terakhir, mengulangi langkah sebelumnya untuk kecepatan *upstream* yang berbeda. Pengambilan data untuk tiap kecepatan *upstream* dilakukan selama lima menit, dan diulangi sebanyak tiga kali. Hasil dari ketiga pengukuran ini kemudian di rata-ratakan sehingga data yang diperoleh memiliki validitas yang tinggi. Tahap ini dilakukan untuk memastikan data yang diperoleh memiliki tingkat akurasi yang tinggi. Setelah semua prosedur telah dilakukan, prosedur ini kemudian diulang kembali untuk tiap variasi konfigurasi fin dan *vortex generator* yang ditempatkan pada model kendaraan.



2.6 Flowchart penelitian



Gambar 17 Gambar Flowchart penelitian.

