

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kendaraan merupakan alat transportasi yang digunakan untuk berpindah dari satu tempat ke tempat lain, baik di darat, laut, maupun udara. Fungsi utamanya adalah memudahkan mobilitas manusia serta mendukung distribusi barang, yang turut berperan penting dalam sektor industri, perdagangan, keamanan, hingga rekreasi. Dalam pengoperasiannya, sejumlah faktor menjadi tolok ukur utama dalam menilai kinerja kendaraan, di antaranya berat kendaraan, efisiensi mesin, desain estetika, cara mengemudi, kenyamanan, tingkat keamanan, serta efisiensi aerodinamika.

Seiring berkembangnya era globalisasi, kebutuhan manusia akan teknologi terus meningkat, khususnya dalam sektor industri otomotif. Pertumbuhan jumlah kendaraan bermotor di seluruh dunia telah memberikan dampak signifikan terhadap lingkungan, terutama melalui peningkatan emisi gas buang. Di samping permasalahan emisi, isu lain yang tak kalah penting adalah bagaimana mengurangi hambatan aerodinamika pada kendaraan. Hambatan ini tidak hanya mempengaruhi konsumsi bahan bakar, tetapi juga berdampak langsung terhadap stabilitas, performa, dan efisiensi kendaraan secara keseluruhan, tantangan yang kini menjadi fokus utama dalam pengembangan desain mobil modern.

Stabilitas mobil menjadi permasalahan utama mengenai kenyamanan pengendara akibat besarnya hambatan aerodinamika yang diterima. Hambatan aerodinamika terjadi akibat aliran fluida yang bergerak secara teratur kemudian terpecah menciptakan separasi aliran yang mengakibatkan penurunan tekanan secara drastis. Secara umum, mobil yang bergerak akan mengalami hambatan aerodinamika yang diakibatkan oleh aliran fluida yang bersentuhan secara langsung dengan bodi mobil. Hambatan aerodinamika yang besar disebabkan oleh adanya penurunan tekanan dan separasi aliran yang terjadi di bagian belakang mobil. Separasi aliran yang terjadi pada lapisan batas kecepatan aliran fluida dan permukaan padat dari mobil akan membentuk aliran balik (Rustan Tarakka et al, 2018).

Kontribusi *drag* aerodinamika pada kendaraan dipengaruhi oleh geometri depan mobil, kaca depan, atap dan bagian belakang yang telah ditentukan dengan berbagai model melalui pengujian dan perhitungan numerik. Hingga saat ini, *drag* aerodinamika pada mobil dapat diketahui dengan mudah melalui proses komputasi (Rajamani & Krishnan, 2006).

Desain mobil penumpang yang beredar di masyarakat, baik desain, kapasitas mesin. Kapasitas mobil menampung 5-7 orang dan daya besar yang disesuaikan dengan kemampuan bentuk bodi yang kurang mempertimbangkan aspek gaya *drag* yang dialami pun cukup besar. Sebagian besar



gaya *drag* muncul pada mobil disebabkan adanya tekanan rendah dan separasi aliran dibagian belakang mobil. Semakin cepat separasi aliran terjadi, maka pembentukan *wake* di belakang kendaraan akan semakin besar (Ragavan et al, 2014).

Sebagai upaya untuk memperluas pengembangan kendaraan mobil, salah satu langkahnya adalah merancang desain bodi mobil yang aerodinamis. Desain bodi yang aerodinamis dapat mengurangi gaya hambat yang terjadi pada kendaraan, sehingga akan menghemat penggunaan energi bagi kendaraan (M. Palanivendhan et al, 2021). Berbagai teknik telah dikembangkan untuk mengatasi masalah ini, salah satunya adalah penggunaan *vortex generator* pada mobil (VG). Pemasangan VG diharapkan mampu mereduksi hambatan aerodinamis pada desain bodi mobil. *Coefficient Drag* (C_D) dan *Force Drag* (F_d) pada desain bodi mobil menjadi salah satu nilai pengamatan yang diamati saat proses simulasi.

Berdasarkan uraian diatas, maka penulis melakukan penelitian tugas akhir dengan judul “**ANALISIS KINERJA VORTEX GENERATOR MODEL PARABOLA PADA MODEL KENDARAAN DENGAN GEOMETRI 30°**”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan dari latar belakang diatas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana pengaruh *vortex generator* model parabola dengan beberapa variasi sudut terhadap karakteristik aliran pada kendaraan *ahmed model*?
2. Bagaimana pengaruh *vortex generator* model parabola dengan beberapa variasi sudut terhadap koefisien tekanan pada kendaraan *ahmed model*?
3. Bagaimana pengaruh *vortex generator* model parabola dengan beberapa variasi sudut terhadap koefisien *drag* pada kendaraan *ahmed model*?

1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.3.1 Tujuan

Berdasarkan pada rumusan masalah, maka tujuan dalam penelitian ini ini, yaitu:

1. Menganalisis pengaruh *vortex generator* model parabola dengan variasi sudut terhadap karakteristik aliran pada kendaraan Ahmed model.
2. Menganalisis pengaruh *vortex generator* model parabola dengan variasi sudut terhadap distribusi koefisien tekanan pada kendaraan Ahmed model.
3. Menganalisis pengaruh *vortex generator* model parabola dengan variasi sudut terhadap nilai koefisien drag pada kendaraan Ahmed model.



tari penelitian ini, yaitu:

at untuk menyelesaikan studi dan mendapatkan gelar Sarjana
rtemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

kan sebagai bahan referensi bagi generasi - generasi Teknik
akan datang dalam pembuatan dan penyusunan tugas akhir.

3. Sebagai referensi bagi industri otomotif untuk memproduksi kendaraan ramah lingkungan dan efisien dalam penggunaan bahan bakar.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini yang diusulkan dalam proposal ini yaitu:

1. Fluida kerja yang digunakan yaitu udara dengan densitas (ρ) = 1.164 Kg/m³ dan viskositas (μ) = 1.872×10^{-5} Kg/m·s dan 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 kecepatan *upstream* (U_0) yang digunakan adalah 13,9 m/s (50 Km/jam), 16,7 m/s (60 Km/jam), 18,05 m/s (65 Km/jam), 19,4 m/s (70 Km/jam) dan 20,8 m/s (75 Km/jam).
5. Jumlah *vortex generator* yang digunakan sebanyak 8 buah.
6. Variasi sudut *vortex generator* terhadap arah aliran bebas adalah 0°, 5°, 10°, 15°, dan 20°, 25°, 30°.
7. Metode komputasi menggunakan model turbulensi $k - \epsilon$ standar.
8. Metode eksperimental menggunakan *load cell* untuk melakukan pengukuran *drag*.

1.5 Landasan Teori

1.5.1 Aerodinamika Pada Kendaraan

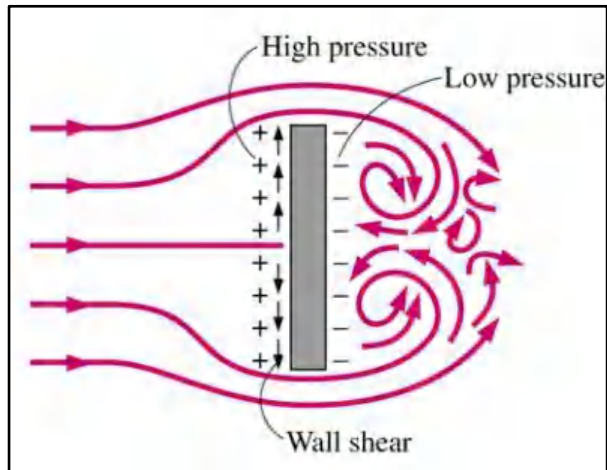
Aerodinamika merupakan salah satu aspek penting dalam desain kendaraan. Dimana dalam hal ini Aerodinamika adalah salah satu ilmu fisika yang meneliti tentang sifat benda saat berinteraksi dengan aliran udara. Faktor yang menjadi pengaruh aerodinamika yaitu suhu, tekanan serta kerapatan udara Dan yang perlu diperhatikan dalam perancangannya adalah bagian depan, karena pada bagian depan inilah yang lebih dulu membelah angin saat kendaraan melaju dengan kecepatan yang tinggi (Rangga, 2024).

Aerodinamika bisa di artikan sebagai pergerakan aliran udara yang memberi pengaruh atau menyebabkan gerak kepada benda saat bergerak dengan kecepatan tertentu.

Aerodinamika kendaraan merupakan bentuk pergerakan aliran udara yang tau menyebabkan gaya kepada benda saat bergerak dengan (Bagus Wahyu Prastyo et al, 2020). Aerodinamika juga ing sangat penting dalam memastikan mobil dapat bergerak meskipun harus melewati hambatan udara berkecepatan tinggi ah berlawanan dan penurunan *drag* juga dapat menghemat A., & P.G, S., 2017).

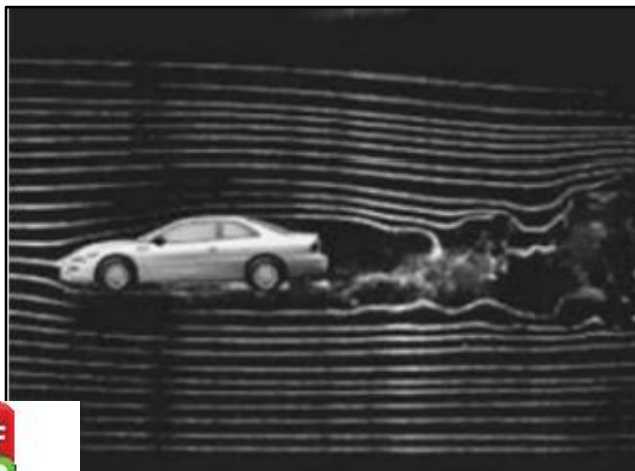


peningkatan konsumsi bahan bakar, dan mengarah pada efisiensi kinerja kendaraan yang semakin rendah (Ragavan et al, 2014).



Gambar 2 Separasi Aliran pada Benda Tegak (Cengel & Cimbala, 2006).

Pada gambar diatas jelas menunjukkan skema terjadinya separasi aliran pada benda tegak. Adanya separasi aliran merupakan bentuk efek dari viskositas fluida (Munson, 2002). Karena disebabkan efek viskos, fluida di titik b pada permukaan benda kehilangan energi kinetik sehingga tidak memiliki momentum untuk mengalir dalam lapisan. Titik a adalah titik dimana separasi aliran terjadi. Sedangkan di titik c terjadi aliran balik (*wake*) karena perbedaan tekanan yang cukup besar antara sisi depan dan sisi belakang benda.



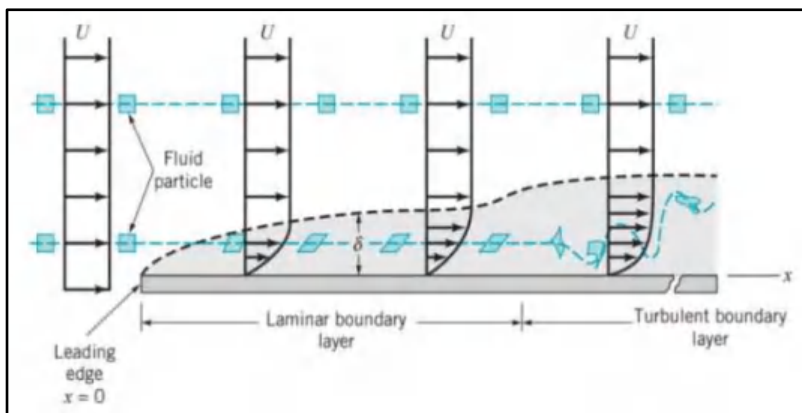
r 3 Separasi aliran pada mobil (Munson et. a l, 2016).



1.5.3 Lapisan Batas

Lapisan batas adalah lapisan tipis pada *solid surface* yang terbatas pada daerah yang sangat sempit dekat dengan permukaan kontur dimana kecepatan fluida tidak *uniform* sebagai pengaruh dari gaya viskos yang muncul akibat adanya viskositas. (Faruk, U. dan Kamiran, 2012). Aliran inviscid adalah aliran dimana gesekan, konduktivitas panas dan difusi massa dapat diabaikan (Anderson, 2001).

Lapisan batas muncul di permukaan benda karena sifat viskos fluida yang cenderung menempel pada permukaan stasioner, menyebabkan aliran fluida di atasnya melambat akibat tumbukan molekul fluida dengan permukaan. Kecepatan fluida dalam lapisan batas meningkat secara bertahap hingga mencapai kecepatan aliran bebas. Aplikasi mendasar dari teori lapisan batas adalah menghitung hambatan gesekan kulit yang bekerja pada suatu objek saat bergerak melalui fluida, misalnya gaya yang diberikan pada pesawat terbang, pelat turbin, atau seluruh kapal (Rehman et al., 2023).



Gambar 4 Partikel fluida ketika mengalir pada lapisan batas (Munson, 2002)

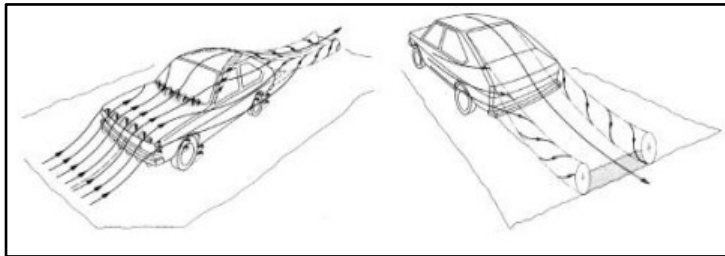
Gambar diatas menunjukkan lapisan batas yang terbentuk saat fluida mengalir di atas plat datar. Partikel fluida dekat permukaan plat terhambat oleh gesekan, sehingga kecepatannya mendekati nol. Jika lapisan batas laminar tidak dapat mempertahankan kondisi stabil, aliran akan berubah menjadi turbulen. Kondisi lapisan batas dipengaruhi oleh kekasaran permukaan dan tingkat turbulensi aliran bebas (*free stream*).

Jika bilangan Reynolds cukup besar, hanya fluida dalam lapisan batas tipis di dekat plat yang terpengaruh oleh gesekan. Di luar lapisan batas, kecepatan aliran mendekati kecepatan *upstream* ($V = U$). Untuk plat dengan panjang tak terhingga, bilangan Reynolds karena tidak ada panjang karakteristik. dengan panjang tertentu (L), bilangan Reynolds dapat $Re_x = Ux/\nu$ (Munson, 2002).



1.5.4 Drag Aerodinamika

Gaya aerodinamika merupakan gaya-gaya yang diterima oleh satu *body* akibat fluida yang mengalir. Dengan adanya fluida yang mengalir maka mendapat gaya tekan dan geser. Akibatnya gaya-gaya tersebut membentuk resultan gaya yang disebut aerodinamika. Untuk resultan yang searah dengan aliran disebut gaya *drag*, sedangkan gaya yang tegak lurus aliran adalah gaya *lift* (Hasugian, 2018). Gaya *drag* merupakan gaya yang bekerja dalam arah horizontal (paralel terhadap aliran) dan berlawanan arah dengan arah gerak maju kendaraan. Aliran udara pada permukaan kendaraan dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Aliran udara pada permukaan kendaraan (J. Katz, 1995).

Nilai hambatan aerodinamika dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu: model *body* kendaraan, luas daerah penampang depan (*Frontal Area*), kecepatan gerak juga kecepatan medium yang melewatinya. Besarnya gaya hambat (*drag*) untuk setiap bentuk kendaraan berbeda satu dengan yang lainnya, dan ini tergantung pada faktor koefisien *drag* atau C_D (Rangga, 2024). Gaya *drag* bekerja pada setiap tubuh padat bergerak di arah aliran bebas fluida. *Drag* pada sebuah benda terdiri dari dua bagian, yaitu *drag* gesekan yang diakibatkan oleh gaya gesek, dan *drag* tekanan yang diakibatkan oleh tekanan. *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):

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \rho U^2 A}$$

Dimana,

C_D = Drag coefficient



am (m/s)

1.5.5 Computational Fluid Dynamics (CFD)

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 didapatkan pada tahapan ini dapat dilihat dengan beberapa bentuk, yaitu X- Y Plot, Vector Plot, Kontur Plot, Report, dan Animasi.

1.5.6 Vortex generator

Vortex generator (VG) adalah sebuah komponen kecil yang berbentuk sirip ikan, yang terpasang secara vertikal pada permukaan kendaraan. VG adalah untuk menunda pemisahan aliran udara. (Hidayat, M. F, 2014). VG merupakan salah satu jenis kontrol pasif aliran yang digunakan untuk mengurangi hambatan aerodinamika pada kendaraan.

Beberapa studi eksperimental mandiri pada *Vortex generator* telah menunjukkan efisiensi yang lebih besar dalam menunda dan terkadang menghambat pemisahan

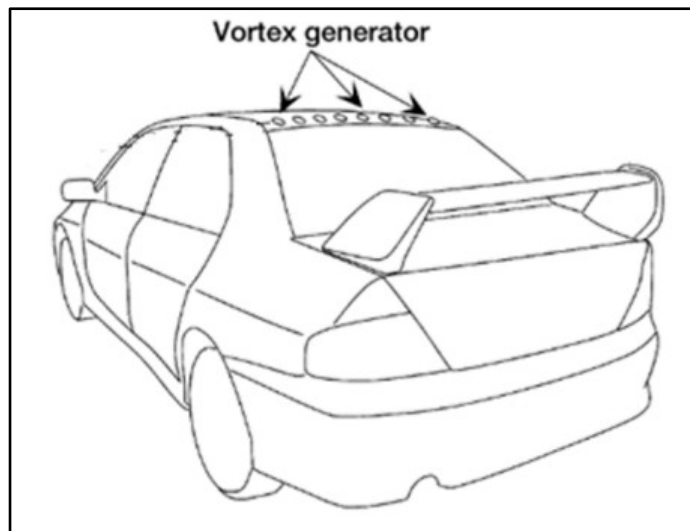


generator telah terbukti menjadi perangkat yang disukai untuk mengurangi turbulensi. Yang menarik bagi kendaraan penumpang yang menggunakan *generator* yang tidak hanya menunjukkan keefektifan tinggi teknik pengurangan hambatan pasif tetapi juga terbukti layak dalam kendaraan (Viswanathan, 2021).

Pemasangan *generator* pada bodi mobil dapat meningkatkan efisiensi dalam menunda pemisahan aliran dan mengurangi *drag*. Namun,

efektivitas VG dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti posisi, bentuk, ukuran, dan ketinggian VG, serta kecepatan kendaraan. Desain VG yang optimal memerlukan pertimbangan cermat terhadap faktor-faktor tersebut untuk mencapai performa aerodinamis yang diinginkan (Alfandy Anugrah Wardhana, 2021).

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 6 *Vortex generator* pada mobil Mitsubishi Lancer Evo VIII



vortex generator pada atap kendaraan mobil (Ashary, 2014).



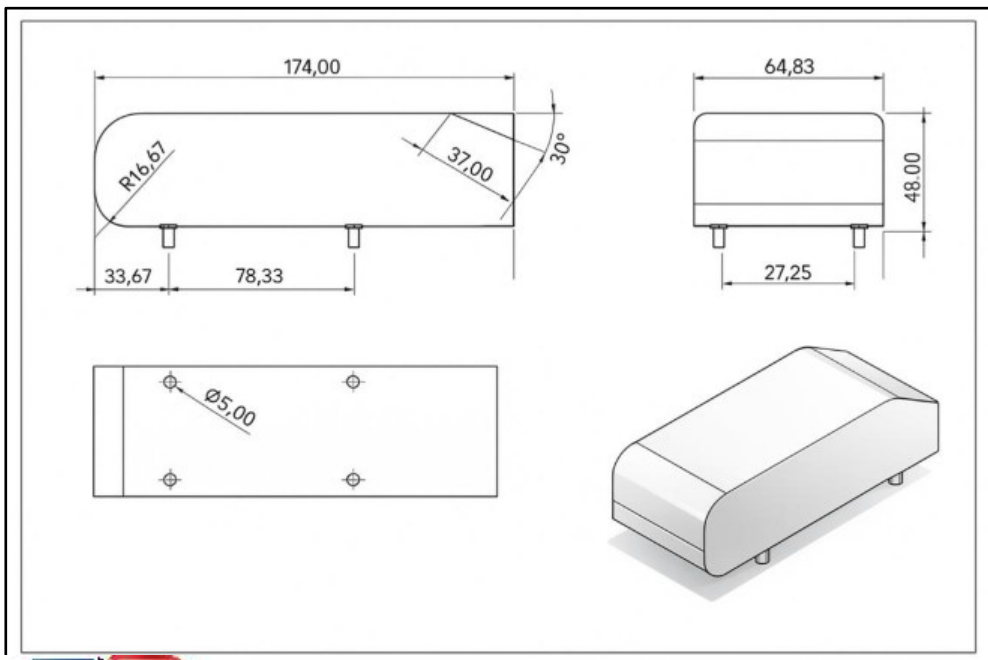
BAB II METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan

Penelitian ini akan dilaksanakan pada bulan April 2025 hingga Oktober 2025. Penelitian ini juga akan dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Fluida Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

2.2 Objek Penelitian

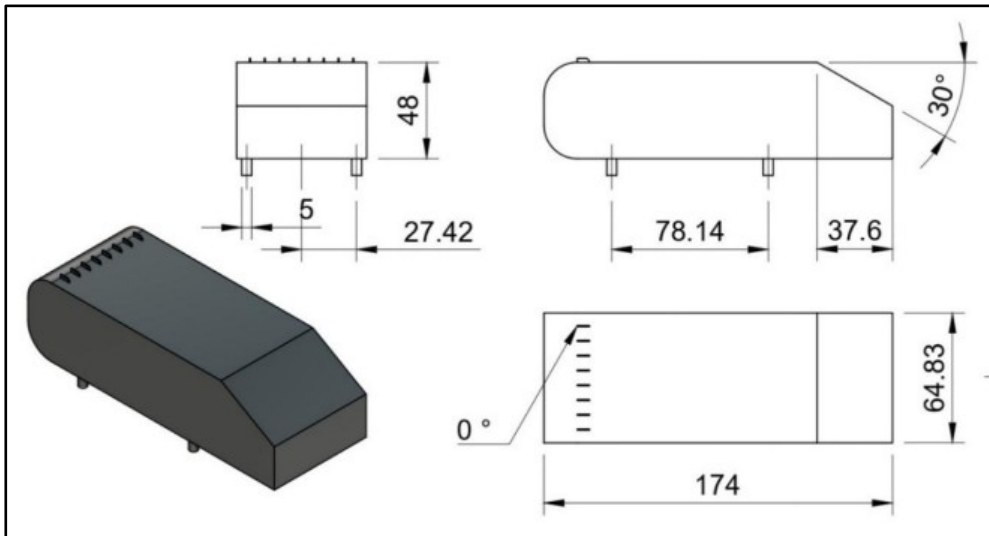
Pada penelitian ini model uji yang akan digunakan adalah *bluff body* model kendaraan yang menyerupai model mobil minibus. Model uji ini adalah *Ahmed Body* dengan posisi terbalik (*Reversed Ahmed Body*) dengan skala model 1 : 6 dari ukuran sebenarnya. Skala ini digunakan agar spesimen dapat diuji di dalam terowongan angin (*Wind Tunnel*). Panjang model adalah 174 mm, lebar model 64.83 mm dan tinggi model 48. Sudut kemiringan bagian depan model (*slant angle*) adalah 30° . Dimensi yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 8.



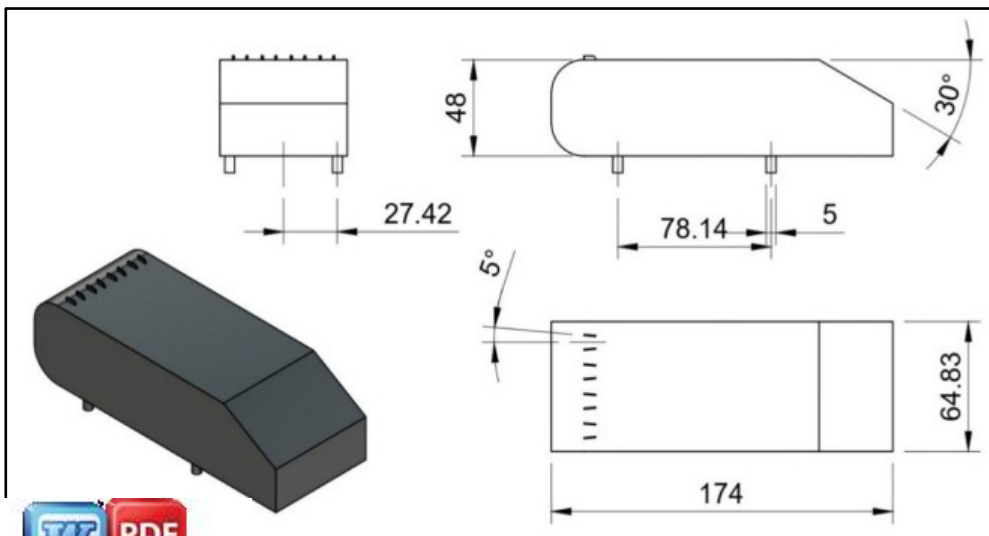
ensi model kendaraan tanpa menggunakan *vortex generator*



Penempatan *vortex generator* pada model kendaraan diperlihatkan pada Gambar 9 sampai Gambar 13. *Vortex generator* ditempatkan pada bagian ujung belakang model kendaraan dan disusun secara parallel.

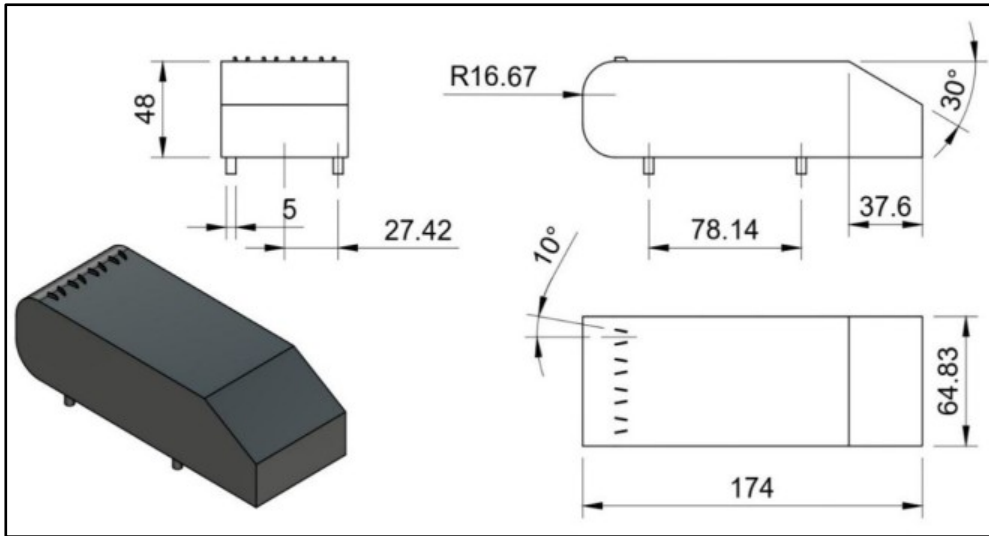


Gambar 9 Dimensi model kendaraan dengan menggunakan *vortex generator* sudut 0° .

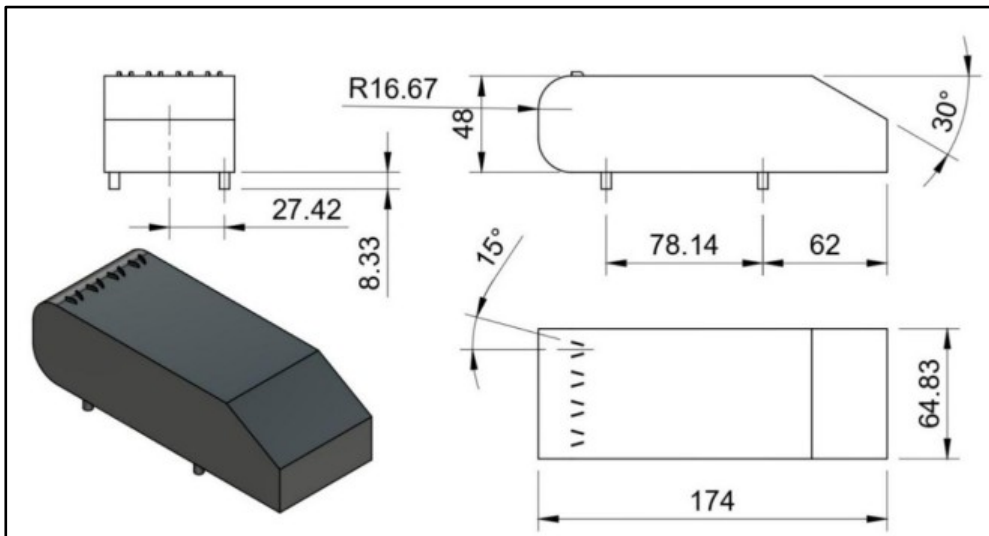


Dimensi model kendaraan dengan menggunakan *vortex generator* sudut 5° .



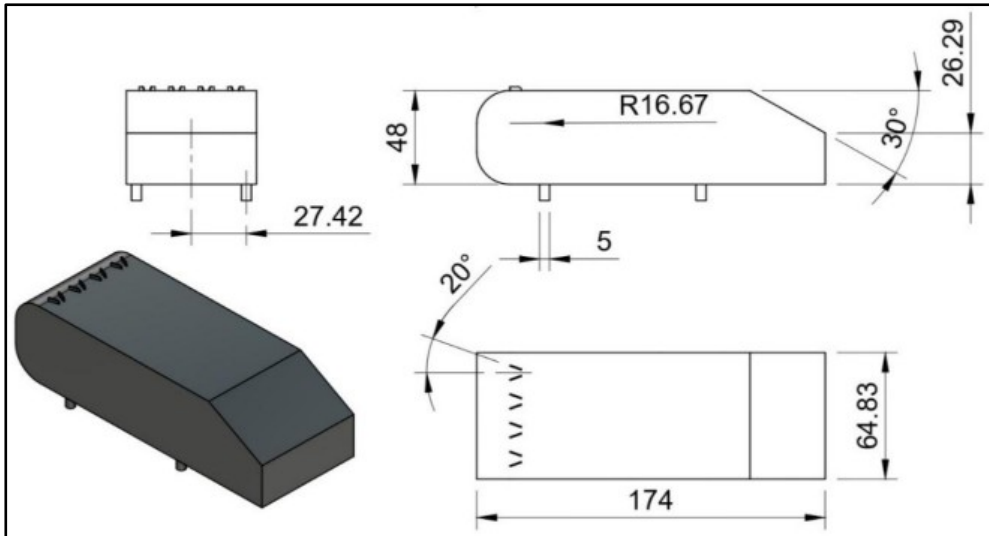


Gambar 11 Dimensi model kendaraan dengan menggunakan *vortex generator* sudut 10° .



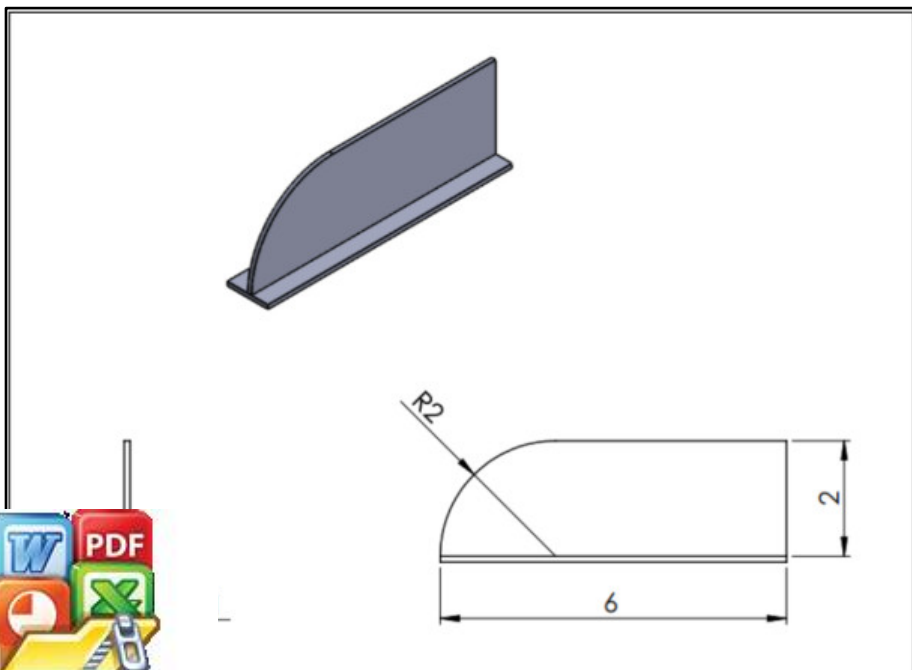
Gambar 12 Dimensi model kendaraan dengan menggunakan *vortex generator* sudut 15° .





Gambar 13 Dimensi model kendaraan dengan menggunakan vortex generator sudut 20°.

Penelitian ini akan membandingkan hasil antara model kendaraan tanpa menggunakan kontrol pasif dan model kendaraan yang menggunakan kontrol *vortex generator*. Adapun model *vortex generator* yang digunakan adalah model parabola. Dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14 Dimensi *vortex generator* model parabola.

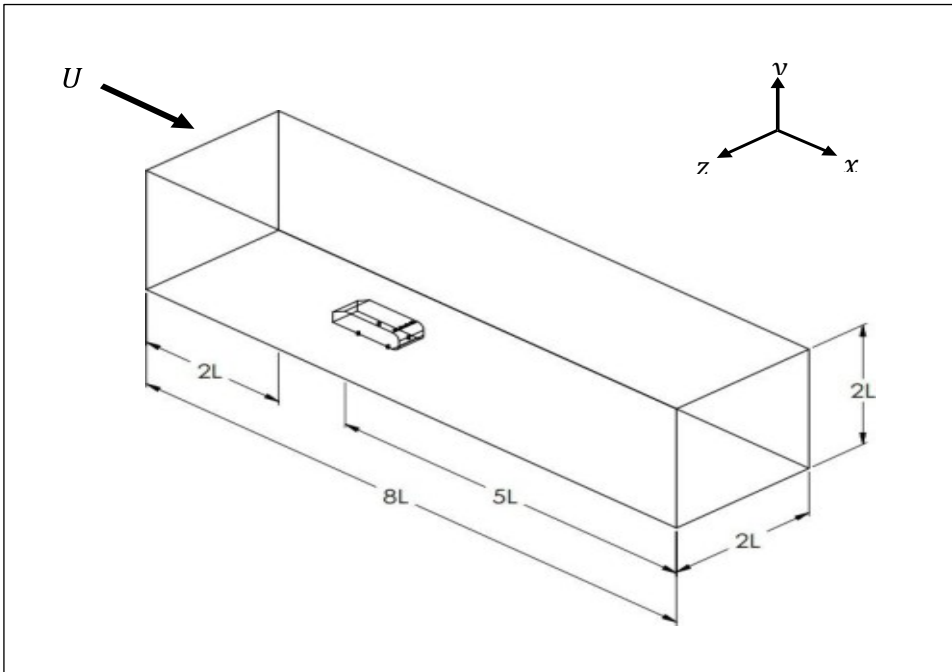


2.3 Pendekatan Komputasi

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 dilaksanakan dalam dua tahap. Pertama dengan melakukan proses komputasi pada model kendaraan tanpa menggunakan kontrol pasif aliran *vortex generator*. Proses ini dilakukan untuk memperoleh data awal yang akan dijadikan sebagai pembanding terhadap model kendaraan yang menggunakan kontrol pasif aliran *vortex generator*. Tahap ini dilakukan untuk memperoleh gambaran awal terhadap potensi optimasi karakteristik aerodinamika pada model kendaraan, yang meliputi pembentukan lapisan batas pada model kendaraan, pembentukan olakan (*wake development*) pada model kendaraan, serta pengaruhnya terhadap nilai distribusi tekanan pada model kendaraan. Kedua dengan melakukan proses komputasi pada model kendaraan dengan menggunakan kontrol pasif aliran *vortex generator*. Tahap ini dilakukan untuk tiap konfigurasi *vortex generator* pada model kendaraan dengan tujuan untuk mengetahui karakteristik aerodinamika dari tiap konfigurasi *vortex generator* yang diaplikasikan pada model kendaraan berupa distribusi tekanan, gaya *drag* hingga *streamline* aliran yang terjadi ditiap konfigurasi tersebut. Hasil yang diperoleh dari tahap kedua kemudian akan dibandingkan dengan hasil yang diperoleh dari tahap pertama.

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* CAD dengan dengan merujuk pada model kendaraan yang sebenarnya. Geometri model yang telah siap kemudian dipindahkan ke dalam *software* *meshing*. Agar aliran pada model kendaraan tidak dipengaruhi oleh pengaruh viskos di dekat dinding domain, maka dimensi dari domain komputasi perlu ditetapkan. Penentuan dimensi dari domain komputasi didasarkan pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Domain komputasi yang digunakan berbentuk balok dengan panjang 8L, lebar 2L dan tinggi 2L. Model kendaraan ditempatkan pada jarak 2L dari titik inlet domain komputasi (Harinaldi, & Satyadharma, A. 2022).



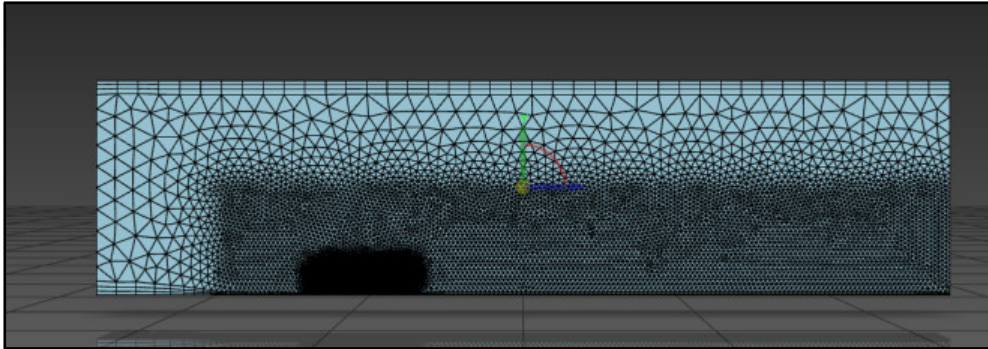


Gambar 15 Dimensi domain komputasi.

Proses pembuatan meshing pada domain komputasi dilakukan dengan menggunakan kombinasi elemen *hexahedral* dan *tetrahedral* (*tetrahedral hybrid*) pada *software* Fluent Ansys. Elemen *hexahedral* (*hex element*) memberikan akurasi yang paling tinggi dibandingkan dengan jenis elemen lainnya. Tetapi, elemen ini tidak cocok digunakan pada beberapa bagian kompleks yang terletak pada geometri model kendaraan. Untuk mengatasi hal ini, elemen *tetrahedral* juga digunakan pada pendekatan ini. Elemen ini cocok digunakan pada bagian yang kompleks pada geometri model kendaraan. Kombinasi dari kedua elemen ini dapat menjadi pendekatan yang efektif untuk domain komputasi ini. 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 13,8 m/s (50 km/jam), 16,7 m/s (60 km/jam), 18,05 m/s (65 km/jam), dan 20,8 m/s (75 km/jam). Fluida kerja pada domain sebagai aliran inkompresibel. Fluida kerja yang digunakan memiliki densitas (ρ) = 1.164 kg/m³ dan viskositas (μ) = 1.872×10^{-5} Pa·s. Model yang digunakan adalah k-epsilon standar.





Gambar 16 Jenis mesh yang digunakan pada simulasi.

Proses komputasi dilakukan dalam keadaan lunak (*steady state condition*), dengan kecepatan *upstream* yang mengalir secara seragam. Semua penetapan kondisi batas dilakukan pada *software* ANSYS. Setelah seluruh proses *pre-processing* telah dilakukan, tahap selanjutnya adalah proses *processing* atau tahap iterasi.

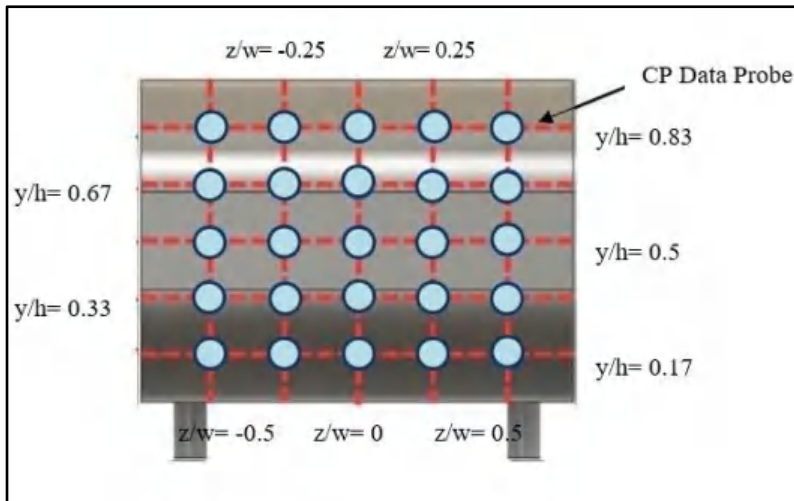
Pada tahap iterasi, proses perhitungan komputasi dilakukan oleh komputer secara numerik. Proses komputasi berjalan berdasarkan kondisi batas dan model persamaan yang telah ditentukan sebelumnya. Proses iterasi dilakukan pada *software* FLUENT. Proses iterasi dilakukan sebanyak 1000 kali, untuk meningkatkan akurasi dari hasil komputasi. Setelah diperoleh hasil yang konvergen, maka tahap terakhir adalah *post processing* atau dokumentasi.

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

kendaraan dan y/h adalah rasio antara tinggi *grid* dan tinggi berdasarkan *grid* yang ada, maka diperoleh total sebanyak 25 an distribusi tekanan.





Gambar 17 Titik pengambilan data tekanan pada bagian belakang model kendaraan.

2.4 Pendekatan Eksperimental

2.4.1 Wind Tunnel

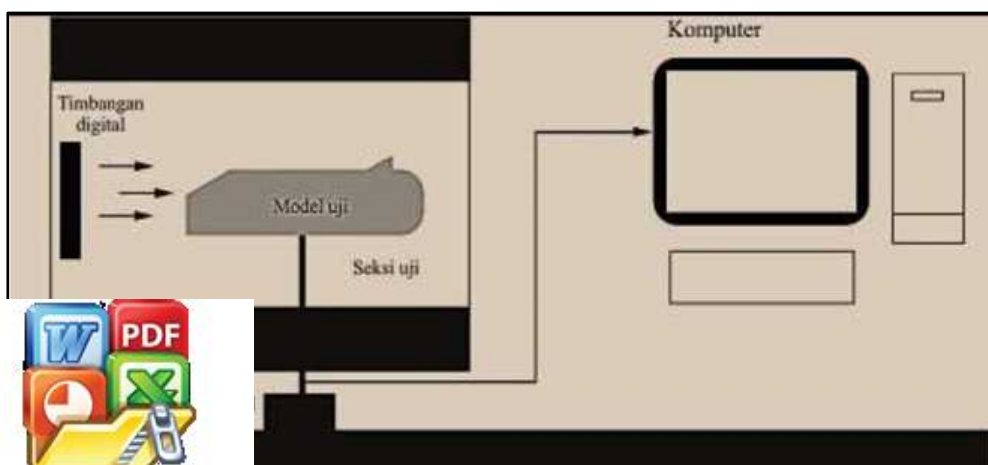
Pendekatan eksperimental pada penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk memberikan validasi melalui pengambilan data secara aktual pada model kendaraan. Dimensi model yang digunakan pada pendekatan eksperimental memiliki similaritas terhadap dimensi model yang digunakan pada pendekatan komputasi. Proses pengambilan data dilakukan pada terowongan angin subsonik (*subsonic wind tunnel*). 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 18 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 pengujian dapat dilihat pada Gambar 19.



Skema pengukuran gaya *drag* aerodinamika pada *wind tunnel*

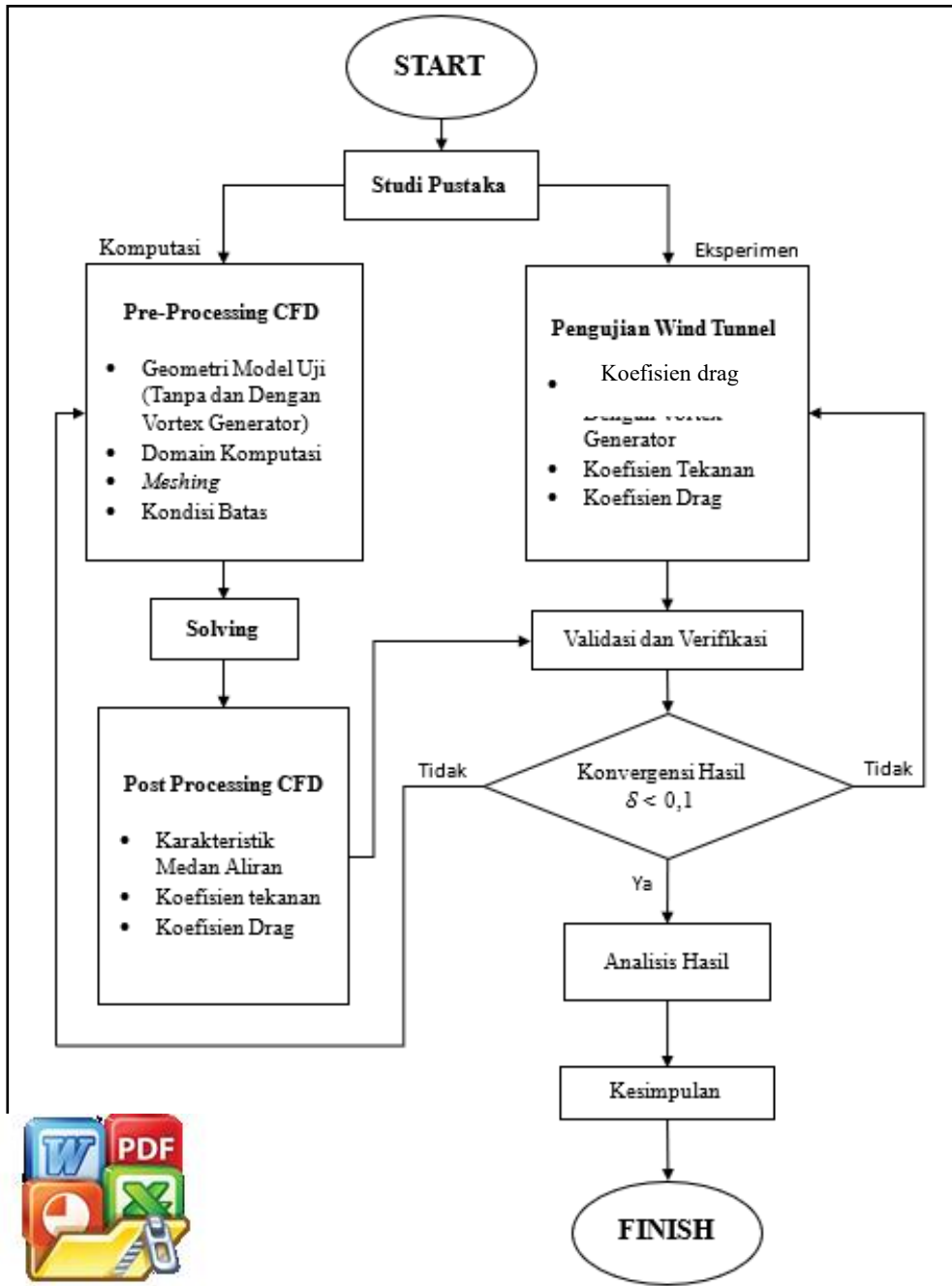
Proses kalibrasi dari *load cell* dilakukan dengan menempatkan beban tertentu yang telah diketahui massanya pada *load cell*. Nilai beban ini dimasukkan sebagai data awal yang direkam oleh komputer, kemudian beban massa sesungguhnya diletakkan pada *load cell*. Informasi ini kemudian akan disimpan oleh 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 kendaraan yang telah dipasangi *load cell*. Kemudian timbangan akan didorong hingga menyentuh model kendaraan sehingga gaya dorong yang diterima oleh model kendaraan 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 prosedur dalam pengujian gaya *drag* aerodinamika melalui pendekatan eksperimental menggunakan *load cell* dengan variasi kecepatan *upstream* yaitu pertama, model uji dipasang pada dudukan benda uji pada seksi uji terowongan angin (*wind tunnel*). Kedua, *load cell* dipasang pada benda uji yang telah dilekatkan pada 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 (*wind tunnel*) diaktifkan dan kecepatan *upstream* diatur sesuai dengan kecepatan yang diinginkan sehingga udara yang dialirkan akan membuat benda uji terseret ke belakang dan menyebabkan pelat mengalami *bending* dan meregang. Regangan ini 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 3 kali dan kemudian hasil dari ketiga pengukuran tersebut akan dirata – ratakan dan diambil sebagai nilai *drag* aerodinamika pada kecepatan *upstream* tersebut. Hal ini dilakukan dengan tujuan untuk memastikan data yang diperoleh memiliki tingkat akurasi yang tinggi. Setelah semua prosedur telah dilakukan, prosedur ini kemudian diulang kembali untuk tiap variasi konfigurasi *vortex generator* yang ditempatkan pada model kendaraan.



2.5 Diagram Alir Penelitian

Adapun diagram alir pada penelitian yang akan dilaksanakan adalah sebagai berikut.



Gambar 20 Diagram alir penelitian