

**ANALISIS ALIRAN UDARA TERHADAP PROTOTIPE
VIRTUAL MOBIL KECIL MENGGUNAKAN
PERANGKAT LUNAK**

SKRIPSI

OLEH:

**BAYU PATEH GUNTORO
198130038**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2024**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 26/5/26

Access From (repositori.uma.ac.id)26/5/26

HALAMAN JUDUL

ANALISIS ALIRAN UDARA TERHADAP PROTOTIPE VIRTUAL MOBIL KECIL MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK

SKRIPSI

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh
Gelar Sarjana di Fakultas Teknik
Universitas Medan Area

Oleh:

BAYU PATEH GUNTORO
198130038

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2024

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 26/5/26

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repositori.uma.ac.id)26/5/26

HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

Judul Proposal : Analisis Aliran Udara Terhadap Prototipe Virtual
Mobil Kecil Menggunakan Perangkat Lunak
Nama Mahasiswa : Bayu Pateh Guntoro
NIM : 198130038
Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh
Komisi Pembimbing


Muhammad Yusuf Rahmansyah Siahaan, ST., MT
Pembimbing I


Dr. Eng. Supriatno, ST., MT
Dekan


Dr. Iswandi, ST., MT
Ka. Prodi

Tanggal Lulus: 29 Juni 2024

HALAMAN PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai sorma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah.

Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi-sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila di kemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Medan, 25 Maret 2024



Bayu Pateh Guntoro
198130038

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Bayu Pateh Guntoro
NPM : 198130038
Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul : “Analisis Aliran Udara Terhadap Prototipe Virtual Mobil Kecil Menggunakan Perangkat Lunak” beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Medan

Pada Tanggal : 25 Maret 2024

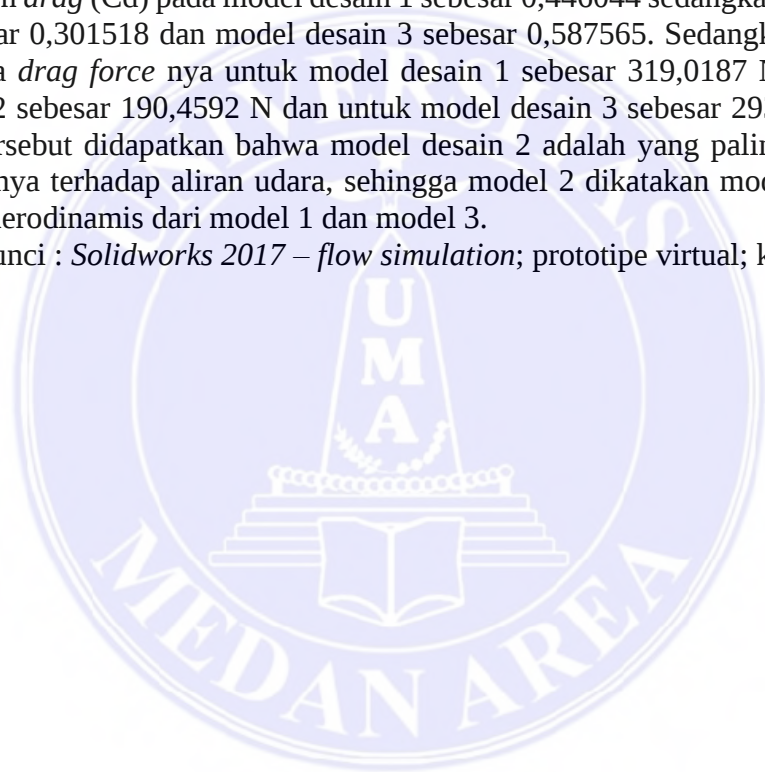
Yang menyatakan

(Bayu Pateh Guntoro)

ABSTRAK

Analisis aliran udara terhadap mobil perlu dilakukan, untuk mengetahui dampak apa yang terjadi apabila aliran udara mengalir melalui bagian permukaan bodi mobil dan agar dapat menentukan sifat aerodinamis suatu mobil. Masalah difokuskan pada bentuk desain bodi mobil yang mempengaruhi nilai hambat aliran udara. Pada penelitian ini, analisis dilakukan dengan cara mensimulasikan aliran udara menggunakan perangkat lunak (CFD) *Solidworks 2017 – flow simulation* dan mobil dibuat dalam bentuk prototipe virtual. Pada proses simulasi aliran udara, variasi kecepatan aliran udara yang diberikan adalah 40 km/h (11,11 m/s), 60 km/h (16,67 m/s) dan 80 km/h (22,22 m/s) terhadap 3 (tiga) variasi model mobil yang berbeda. Dan dari analisis yang dilakukan, maka didapatkan hasil rata-rata koefisien *drag* (Cd) pada model desain 1 sebesar 0,446044 sedangkan model desain 2 sebesar 0,301518 dan model desain 3 sebesar 0,587565. Sedangkan untuk hasil rata-rata *drag force* nya untuk model desain 1 sebesar 319,0187 N untuk model desain 2 sebesar 190,4592 N dan untuk model desain 3 sebesar 293,3453 N. Dari hasil tersebut didapatkan bahwa model desain 2 adalah yang paling rendah nilai hambatnya terhadap aliran udara, sehingga model 2 dikatakan model mobil yang paling aerodinamis dari model 1 dan model 3.

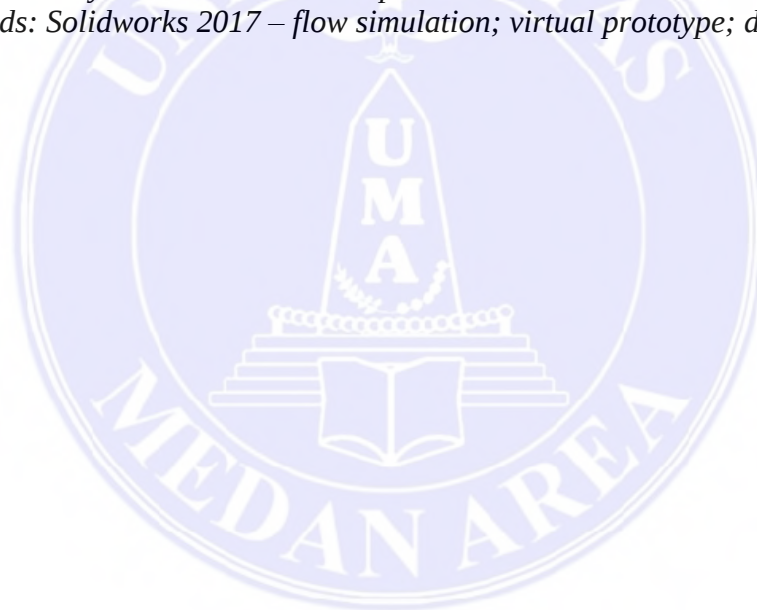
Kata Kunci : *Solidworks 2017 – flow simulation*; prototipe virtual; koefisien drag



ABSTRACT

Air flow analysis of a car needs to be carried out, to find out what impacts occur when air flow flows through the surface of the car body and to be able to determine the aerodynamic properties of a car. The problem focuses on the shape of the car body design which influences the air flow resistance value. In this research, the analysis was carried out by simulating air flow using Solidworks 2017 (CFD) software - flow simulation and the car was created in the form of a virtual prototype. In the air flow simulation process, the variations in air flow speed given are 40 km/h (11.11 m/s), 60 km/h (16.67 m/s) and 80 km/h (22.22 m/s).) for 3 (three) different car model variations. And from the analysis carried out, the average drag coefficient (Cd) in design model 1 was 0.446044, while design model 2 was 0.301518 and design model 3 was 0.587565. Meanwhile, the average drag force results for design model 1 were 319.0187 N, for design model 2 it was 190.4592 N and for design model 3 it was 293.3453 N. From these results it was found that design model 2 has the lowest resistance value to air flow, so model 2 is said to be the most aerodynamic car model compared to model 1 and model 3.

Keywords: Solidworks 2017 – flow simulation; virtual prototype; drag coefficient

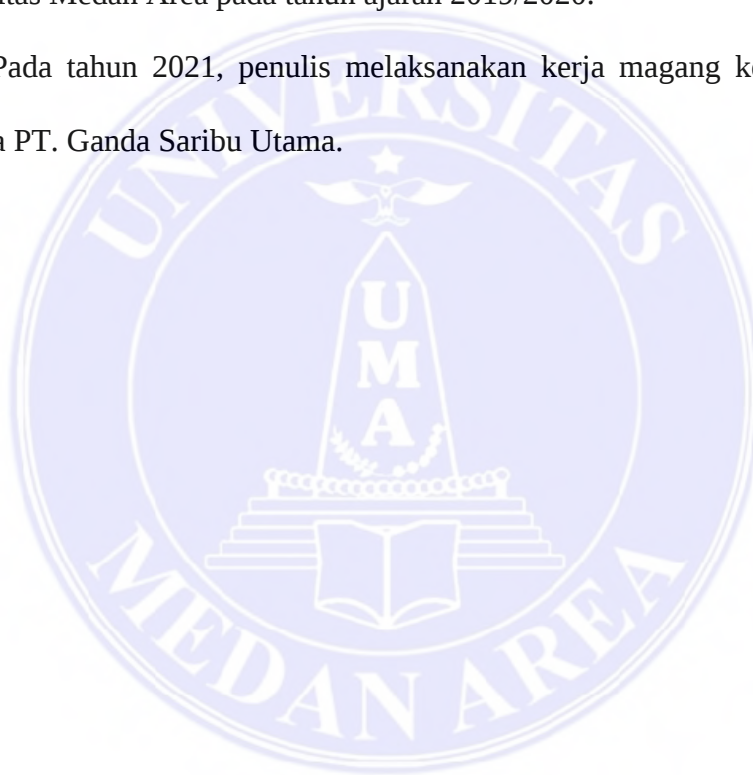


RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Kota Medan Desa Tembung pada tanggal 11 November 2001 dari ayah yang bernama Derita Wanto dan ibu bernama Sri Ratna. Penulis merupakan putra ke 4 (empat) dari 5 (lima) bersaudara.

Tahun 2019, Penulis lulus dari SMK Swasta Mandiri Percut Sei Tuan dan pada tahun yang sama penulis terdaftar sebagai mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Medan Area pada tahun ajaran 2019/2020.

Pada tahun 2021, penulis melaksanakan kerja magang ke industri yang bernama PT. Ganda Saribu Utama.



KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, Puji dan Syukur penulis panjatkan kepada Allah Subhanu wa ta'ala karena pertolongan dan rahmat-Nya sehingga skripsi ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian ini ialah simulasi virtual dengan judul “Analisis Aliran Udara Terhadap Prototipe Virtual Mobil Kecil Menggunakan Perangkat Lunak”.

Terima kasih penulis sampaikan kepada Bapak Muhammad Yusuf Rahmansyah Siahaan, ST, MT selaku pembimbing serta Bapak Dr. Eng, Rakhmad Arief Siregar, ST, M.Eng yang telah banyak memberikan saran. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada ayah, ibu, serta seluruh keluarga atas segala doa dan perhatiannya.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat baik untuk kalangan pendidikan maupun masyarakat. Akhir kata penulis ucapkan terima kasih.

Penulis,



(Bayu Pateh Guntoro)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	iv
ABSTRAK	v
RIWAYAT HIDUP.....	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR NOTASI	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Hipotesis Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Aliran Udara.....	5
2.2 Massa Jenis (<i>Density</i>).....	7
2.3 Bilangan <i>Reynolds</i>	7
2.4 Aerodinamika	8
2.5 Koefisien Gaya Hambat (<i>Coefficient of Drag</i>)	11
2.6 CFD (<i>Computational Fluid Dynamic</i>)	13
2.7 Geometri.....	13
2.8 <i>Solidworks</i>	14
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	16
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	16
3.2 Bahan dan Alat.....	17
3.3 Metode Penelitian.....	18
3.4 Populasi dan Sampel	19
3.5 Prosedur Kerja.....	20
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	22
4.1 Klasifikasi Pengujian Aliran Udara.....	22
4.2 Model Mobil Kecil.....	24
4.3 Rekonstruksi Pengujian Aliran Udara.....	26
BAB V SIMPULAN DAN SARAN	53
5.1 Simpulan	53
5.2 Saran.....	54
DAFTAR PUSTAKA	55

DAFTAR TABEL

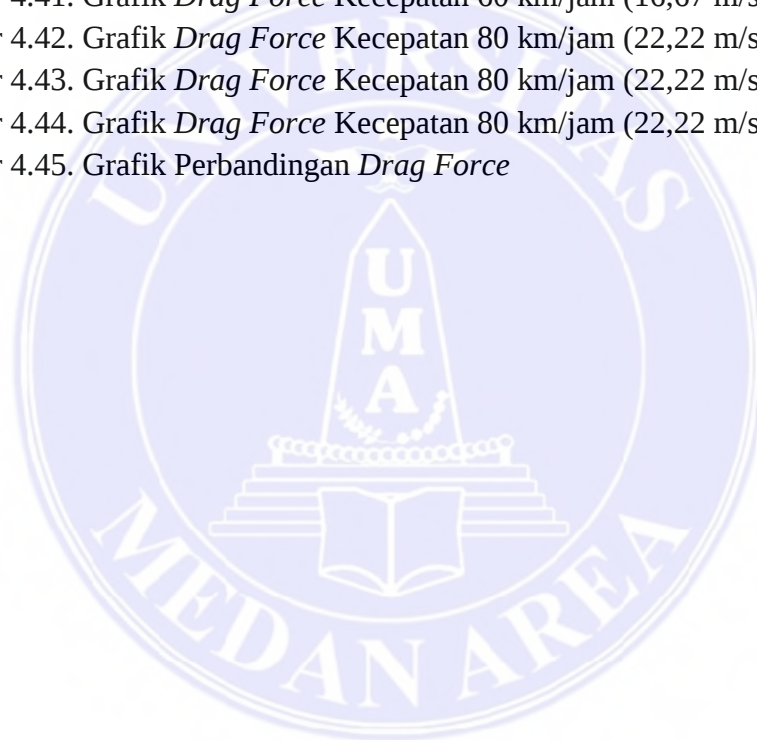
Tabel 3.1. Jadwal Tugas Akhir	16
Tabel 4.1. Klasifikasi Aliran Udara	22
Tabel 4.2. Spesifikasi Model	25
Tabel 4.3. Spesifikasi Mobil Wuling Air ev	25
Tabel 4.4. Nilai Cd Pada Kecepatan 40 km/jam (11,11 m/s)	44
Tabel 4.5. Nilai Cd Pada Kecepatan 60 km/jam (16,67 m/s)	44
Tabel 4.6. Nilai Cd Pada Kecepatan 80 km/jam (22,22 m/s)	44
Tabel 4.7. Nilai <i>Drag Force</i> Pada Kecepatan 40 km/jam (11,11 m/s)	51
Tabel 4.8. Nilai <i>Drag Force</i> Pada Kecepatan 60 km/jam (16,67 m/s)	51
Tabel 4.9. Nilai <i>Drag Force</i> Pada Kecepatan 80 km/jam (22,22 m/s)	51



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Aliran Udara Laminar	6
Gambar 2.2. Aliran Udara Turbulen	6
Gambar 2.3. Jenis Aliran Udara	7
Gambar 2.4. Aerodinamika Pada Mobil	9
Gambar 2.5. Gaya Hambat	12
Gambar 2.6. Model Aerodinamika Mobil F1 dengan CFD	13
Gambar 3.1. Filamen ABS	17
Gambar 3.2. Komputer	18
Gambar 3.3. <i>Software Solidworks 2017</i>	18
Gambar 3.4. 3D Printer	18
Gambar 3.5. Diagram Alir Penelitian	21
Gambar 4.1. Diagram Klasifikasi Pengujian Aliran Udara Pada Mobil	23
Gambar 4.2. Mobil Model 1	24
Gambar 4.3. Mobil Model 2	24
Gambar 4.4. Mobil Model 3	25
Gambar 4.5. <i>Computational Domain</i> model 1	26
Gambar 4.6. <i>Computational Domain</i> model 2	26
Gambar 4.7. <i>Computational Domain</i> model 3	27
Gambar 4.8. Simulasi Model 1 Kecepatan 40 km/jam (11,11 m/s)	27
Gambar 4.9. Simulasi Model 2 Kecepatan 40 km/jam (11,11 m/s)	28
Gambar 4.10. Simulasi Model 3 Kecepatan 40 km/jam (11,11 m/s)	28
Gambar 4.11. Simulasi Model 1 Kecepatan 60 km/jam (16,67 m/s)	29
Gambar 4.12. Simulasi Model 2 Kecepatan 60 km/jam (16,67 m/s)	30
Gambar 4.13. Simulasi Model 3 Kecepatan 60 km/jam (16,67 m/s)	30
Gambar 4.14. Simulasi Model 1 Kecepatan 80 km/jam (22,22 m/s)	31
Gambar 4.15. Simulasi Model 2 Kecepatan 80 km/jam (22,22 m/s)	31
Gambar 4.16. Simulasi Model 3 Kecepatan 80 km/jam (22,22 m/s)	32
Gambar 4.17. Dampak Kecepatan 40 km/jam (11,11 m/s) Pada Model 1	33
Gambar 4.18. Dampak Kecepatan 40 km/jam (11,11 m/s) Pada Model 2	33
Gambar 4.19. Dampak Kecepatan 40 km/jam (11,11 m/s) Pada Model 3	34
Gambar 4.20. Dampak Kecepatan 60 km/jam (16,67 m/s) Pada Model 1	35
Gambar 4.21. Dampak Kecepatan 60 km/jam (16,67 m/s) Pada Model 2	35
Gambar 4.22. Dampak Kecepatan 60 km/jam (16,67 m/s) Pada Model 3	36
Gambar 4.23. Dampak Kecepatan 80 km/jam (22,22 m/s) Pada Model 1	37
Gambar 4.24. Dampak Kecepatan 80 km/jam (22,22 m/s) Pada Model 2	37
Gambar 4.25. Dampak Kecepatan 80 km/jam (22,22 m/s) Pada Model 3	38
Gambar 4.26. Grafik Cd Kecepatan 40 km/jam (11,11 m/s) Pada Model 1	39
Gambar 4.27. Grafik Cd Kecepatan 40 km/jam (11,11 m/s) Pada Model 2	39
Gambar 4.28. Grafik Cd Kecepatan 40 km/jam (11,11 m/s) Pada Model 3	39

Gambar 4.29. Grafik Cd Kecepatan 60 km/jam (16,67 m/s) Pada Model 1	40
Gambar 4.30. Grafik Cd Kecepatan 60 km/jam (16,67 m/s) Pada Model 2	41
Gambar 4.31. Grafik Cd Kecepatan 60 km/jam (16,67 m/s) Pada Model 3	41
Gambar 4.32. Grafik Cd Kecepatan 80 km/jam (22,22 m/s) Pada Model 1	42
Gambar 4.33. Grafik Cd Kecepatan 80 km/jam (22,22 m/s) Pada Model 2	42
Gambar 4.34. Grafik Cd Kecepatan 80 km/jam (22,22 m/s) Pada Model 3	43
Gambar 4.35. Grafik Perbandingan Cd	45
Gambar 4.36. Grafik <i>Drag Force</i> Kecepatan 40 km/jam (11,11 m/s) Model 1	46
Gambar 4.37. Grafik <i>Drag Force</i> Kecepatan 40 km/jam (11,11 m/s) Model 2	46
Gambar 4.38. Grafik <i>Drag Force</i> Kecepatan 40 km/jam (11,11 m/s) Model 3	46
Gambar 4.39. Grafik <i>Drag Force</i> Kecepatan 60 km/jam (16,67 m/s) Model 1	47
Gambar 4.40. Grafik <i>Drag Force</i> Kecepatan 60 km/jam (16,67 m/s) Model 2	48
Gambar 4.41. Grafik <i>Drag Force</i> Kecepatan 60 km/jam (16,67 m/s) Model 3	48
Gambar 4.42. Grafik <i>Drag Force</i> Kecepatan 80 km/jam (22,22 m/s) Model 1	49
Gambar 4.43. Grafik <i>Drag Force</i> Kecepatan 80 km/jam (22,22 m/s) Model 2	49
Gambar 4.44. Grafik <i>Drag Force</i> Kecepatan 80 km/jam (22,22 m/s) Model 3	50
Gambar 4.45. Grafik Perbandingan <i>Drag Force</i>	52



DAFTAR NOTASI

ρ = (Rho) Kerapatan (densitas) fluida (kg/m^3)

m = Massa (Kg)

V = Volume (m^3)

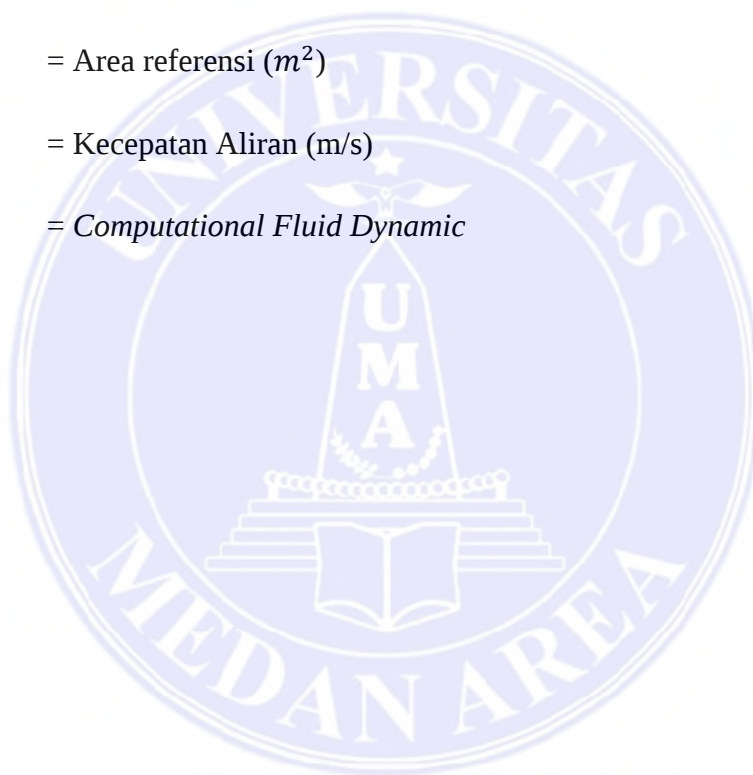
C_d = Koefisien hambatan

F_d = Gaya hambat (N)

A = Area referensi (m^2)

v = Kecepatan Aliran (m/s)

CFD = *Computational Fluid Dynamic*



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Pada kehidupan modern saat ini, dari segi transportasi mobil ialah salah satu yang paling banyak digunakan. Dan analisis aliran udara terhadap mobil perlu dilakukan, agar dapat menentukan sifat aerodinamis suatu mobil. Maka itu, para ilmuwan atau peneliti teknik mesin sedang berupaya untuk merancang suatu desain mobil dengan mempertimbangkan beberapa aspek, salah satunya adalah sifat aliran udara yang terjadi pada mobil tersebut (Donnici et al. 2020).

Ilmu yang mempelajari tentang aliran udara terhadap mobil biasa disebut ilmu aerodinamika. Dan dalam penelitian ini, penulis akan mencoba membandingkan sifat aerodinamis dari masing-masing prototipe dalam bentuk virtual mobil berdasarkan bentuk bodi mobil yang berbeda dengan mengetahui nilai koefisien hambat dari setiap mobil. Aerodinamika sendiri merupakan salah satu ilmu pengetahuan yang mempelajari tentang bagaimana aliran fluida (udara) yang bergerak terhadap suatu benda. Adapun beberapa gaya yang dapat diperhitungkan dalam bidang aerodinamika, salah satunya adalah gaya hambat (*drag force*). Gaya hambat (*drag force*) merupakan gaya yang ditimbulkan oleh gerakan suatu benda yang arahnya berlawanan dengan fluida yang mengalir (Jhon, J. S., & Utomo 2017) dan di penelitian ini, perhitungan akan difokuskan ke nilai koefisien hambat udaranya. Semakin kecil gaya hambat yang terjadi pada mobil, maka mobil dapat melaju dengan lebih kencang sehingga dapat meminimalisir pemakaian bahan bakar.

Untuk menjaga stabilitas dan memperkecil gaya hambat, ada bagian yang sangat mempengaruhi dan perlu diperhatikan guna untuk mengetahui identitas aliran udara yang tepat, yaitu model bodi mobil (Susanto 2013)(Prabhu et al. 2020). Bahwa bodi pada mobil juga merupakan salah satu bagian utama yang sangat mempengaruhi sifat aerodinamis. Selain itu, bodi juga berfungsi sebagai pengatur aliran udara pada sisi luar mobil (Hakim Politeknik Negeri Batam 2016). Selain gaya hambat, ada juga gaya tekan kebawah (*down force*) yang juga mempengaruhi sifat keaerodinamisan suatu mobil. Gaya hambat dan gaya tekan kebawah memiliki banyak pengaruh saat kendaraan sedang melaju dengan kecepatan sedang dan tinggi. Salah satunya apabila gaya hambat terlalu besar, maka mobil tidak bisa melaju dengan kecepatan yang maksimal. Dan jika gaya tekan kebawah terlalu kecil, maka keadaan mobil menjadi tidak stabil sehingga mobil dapat terangkat (Murwanto and Wakid 2017).

Disamping itu juga, perkembangan teknologi komputer sudah semakin pesat. Sudah banyak pengujian-pengujian simulasi bisa dilakukan dengan teknologi komputer. Dan seperti dalam penelitian ini, digunakan bantuan teknologi komputer untuk mendapatkan hasilnya dan salah satu contoh teknologinya dan juga merupakan metode yang digunakan pada penelitian ini adalah teknologi CFD (*Computational Fluid Dynamic*). Dan kita bisa mengoperasikan teknologi CFD dengan menggunakan perangkat lunak (*software*) (Singh and Singh 2016)(Sobachkin and Dumnov 2013).

1.2 Perumusan Masalah

Terdapat rumusan masalah sebagai berikut :

- a) Bagaimana menganalisis pengujian aliran udara pada prototipe virtual mobil kecil dengan model bodi yang berbeda menggunakan perangkat lunak ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk :

- a) Menjelaskan klasifikasi pengujian aliran udara pada kendaraan mobil.
- b) Membangun 3 (tiga) model mobil kecil yang digunakan untuk pengujian aliran udara.
- c) Merekonstruksi pengujian aliran udara dengan menggunakan perangkat lunak.

1.4 Hipotesis Penelitian

Dalam proses analisis aliran udara terhadap suatu mobil, akan terlihat bahwa semakin aerodinamis bentuk suatu mobil atau memiliki gaya hambat yang kecil, maka semakin kencang mobil tersebut berjalan dan semakin menghemat bahan bakar. Sebaliknya, bila bentuk mobil kurang aerodinamis atau gaya hambat nya besar, maka mobil tersebut berjalan lambat dan pastinya bahan bakar banyak yang di konsumsi. Oleh karena itu, dilakukan penelitian terhadap aliran udara yang melewati mobil guna untuk menganalisa gaya aerodinamis yang terjadi pada mobil tersebut.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk memberikan kontribusi pemikiran atau menambah informasi bagi perkembangan perancangan mobil kecil tentang faktor-faktor pengaruh aliran udara pada proses perancangan yang mempengaruhi sifat kearodinamisan suatu mobil.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

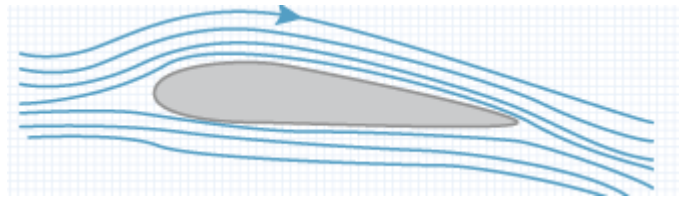
2.1 Aliran Udara

Udara merupakan salah satu hal yang sangat penting bagi kehidupan kita. Dengan udara kita dapat melakukan berbagai banyak hal, salah satunya dapat digunakan pada penelitian ilmiah seperti pada skripsi ini dimana suatu model mobil dilakukan pengujian aliran udara yang mempengaruhi sifat keaerodinamisan suatu mobil tersebut.

Aliran udara merupakan aliran *compressible* (aliran mampu mampat) yang berarti massa jenisnya dapat berubah secara signifikan apabila diberikan tekanan dan temperatur. Aliran udara terbagi atas tiga kelompok yaitu aliran laminar, aliran transisi dan aliran turbulen (Munson, Young, and Okiishi 1994).

2.1.1 Aliran Udara Laminar

Aliran laminar adalah aliran yang bergerak secara teratur dan tidak bertabrakan satu sama yang lain. Laju alirannya relatif rendah dan bergerak sejajar dan mempunyai batasan-batasan yang sejajar. Aliran laminar mempunyai Bilangan Reynold lebih kecil dari 2300. Aliran udara laminar sangat dibutuhkan di dalam dunia penerbangan. Dengan adanya aliran tersebut, penampang sayap dapat menghasilkan gaya angkat berdasarkan prinsip Bernoulli yang menyatakan bahwa perbedaan tekanan yang terjadi akan menimbulkan gaya angkat dan pasti ini sangat berguna untuk dunia penerbangan (Hidayat 2018). Seperti yang terlihat pada gambar 2.1.



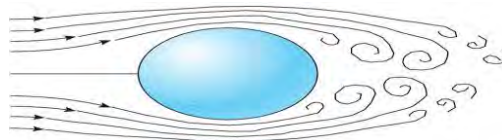
Gambar 2.1. Aliran Udara Laminar

2.1.2 Aliran Udara Transisi

Aliran udara transisi adalah proses pengalihan aliran udara dari aliran udara laminar menuju ke aliran udara turbulen. Pengalihan ini terjadi akibat perbedaan sifat atau kehilangan energi yang disebabkan oleh gaya gesek. Aliran transisi terletak pada Bilangan Reynold yang berkisar antara besarnya aliran laminar dan turbulen. Lebih tepatnya lebih besar dari 2000 dan lebih kecil dari 4000. Umumnya, aliran transisi terbentuk pada aliran udara yang bertumbukan dengan benda yang melengkung (Hidayat 2018).

2.1.3 Aliran Udara Turbulen

Aliran Udara turbulen adalah aliran udara yang bergerak secara tidak beraturan dan tidak stabil kecepatannya. Aliran turbulen mempunyai bilangan Reynold lebih besar dari 4000 (Hidayat 2018). Adapun ilustrasi dari aliran udara turbulen terlihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2. Aliran Udara Turbulen

2.2 Massa Jenis (*Density*)

Massa jenis (*density*) adalah perbandingan antara massa dibagi dengan volume. Simbol dari massa jenis (*density*) adalah ρ (*rho*). Massa jenis (*density*) digunakan untuk mencirikan massa dari suatu fluida. Satuan SI untuk massa jenis (*density*) adalah kg/m^3 (Munson, Young, and Okiishi 1994). Dan berikut rumus massa jenis (*density*) :

$$\rho = \frac{m}{V} \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana :

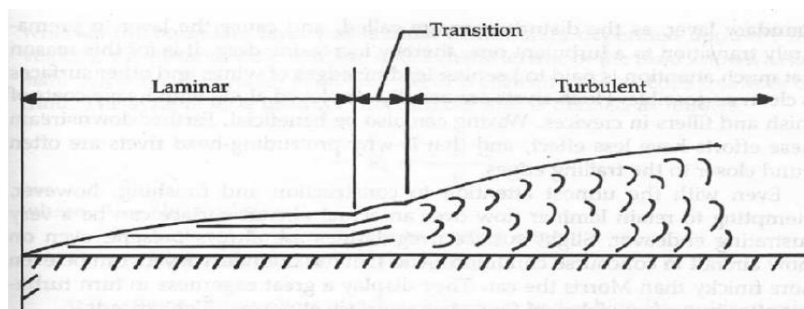
ρ = Massa Jenis (kg/m^3)

m = Massa (kg)

V = Volume (m^3)

2.3 Bilangan *Reynolds*

Dalam mekanika fluida, Bilangan *Reynolds* adalah perbandingan gaya inersia terhadap gaya viskos yang mengkuantifikasikan hubungan kedua gaya tersebut dengan suatu kondisi aliran tertentu. Dan bilangan Reynolds juga bisa di analisis di teknologi komputer (Darmawan, Harijanto, and Astutik 2018). Adapun jenis aliran misalnya aliran laminar, transisi dan turbulen seperti pada gambar 2.3.



Gambar 2.3. Jenis Aliran Udara

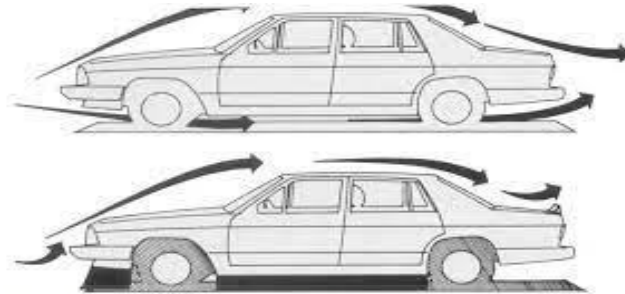
2.4 Aerodinamika

Berdasarkan pembahasan tentang aliran udara diatas, maka pembahasan selanjutnya adalah tentang aerodinamika. Aerodinamika artinya secara bahasa adalah Aero = yang berkaitan dengan udara. Dinamik = gaya gerak. Jadi aerodinamika dapat didefinisikan sebagai suatu bidang ilmu mekanik yang membahas tentang gaya gerak suatu benda berdasarkan aliran udara yang melewatinya. Aerodinamika memiliki berbagai manfaat, salah satunya adalah di bidang ilmu teknik mesin. Dengan aerodinamika, *engineer* teknik mesin dapat mendesain model yang baru dengan menganalisa berbagai kegiatan gaya gerak yang berhubungan dengan aliran udara (Donnici et al. 2020). Salah satu contohnya adalah menganalisa aliran udara yang melewati sebuah bodi luar mobil, sehingga dapat ditentukan bentuk mobil yang memiliki sifat aerodinamis yang baik guna untuk meningkatkan kecepatan laju kendaraan, kegunaan efisiensi bahan bakar dan lainnya (Badrawada, Purwanto, and Firlanda 2019).

Aerodinamika sering kita jumpai pada ilmu penerbangan, contohnya pada pesawat terbang yang dimana ilmu aerodinamika sangat berperan besar agar bisa membuat pesawat dapat terbang dengan baik. Tetapi, sekarang ilmu aerodinamika tidak hanya digunakan untuk kendaraan udara, para *engineer* dapat memodifikasi ilmu aerodinamika pada kendaraan darat juga. Seperti contohnya pada mobil F1, yang juga sangat membutuhkan ilmu aerodinamika (Fakhruddin et al. 2021).

2.4.1 Aerodinamika pada Mobil

Ilustrasi aerodinamika pada mobil dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4. Aerodinamika Pada Mobil

Gaya aerodinamika yang terjadi pada mobil secara umum terdapat lima, yaitu (Hucho and Sovran 1993) :

- a) Gaya Angkat ke atas (*lift up*)

Yaitu gaya angkat keatas yang diakibatkan oleh pengaruh kecepatan mobil.

- b) Gaya Tekan ke bawah (*Down force*)

Gaya yang merupakan gaya tekan ke bawah pada mobil. Biasanya dipengaruhi oleh konstruksi sasis, desain mobil, aksesoris, penempatan beban, bentuk ban dan penempatan titik berat. Tekanan kebawah lebih besar membuat mobil berjalan lebih stabil. *Down force* atau gaya tekan kebawah sudah termasuk karakteristik aerodinamika mobil. Udara yang melewati mobil dari arah depan, kemudian di arahkan oleh spoiler ke bawah yang bertujuan untuk memberikan gaya tekan kebawah yang berfungsi membuat kondisi mobil lebih mencengkeram ke tanah dan juga agar mobil tidak terbang saat melaju dengan kecepatan tinggi.

Tidak semua kendaraan bisa menerapkan *down force* dalam berkendara.

Down force digunakan berdasarkan situasi tertentu, seperti contoh mobil F1

butuh *down force* ketika melewati tikungan dalam kecepatan tinggi, begitupun dalam Moto GP.

Down force adalah kebalikan dari *lift up* (gaya angkat ke atas). Salah satu komponen yang penting untuk meningkatkan *down force* adalah spoiler. Mobil dipasang spoiler agar memiliki daya tekan kebawah (*down force*) (Rojewski and Bartoszewicz 2017).

c) Gaya Turbulen

Adalah gaya yang terjadi di belakang mobil yang berbentuk pusaran di akibatkan oleh hembusan angin dari depan mobil.

d) Gaya yang bekerja di bagian bawah mobil (*ground clearance*)

Yaitu gaya yang bekerja dibagian bawah mobil dan ini juga mempengaruhi gaya angkat ke atas pada mobil.

e) Gaya Hambat (*Drag Force*)

Yaitu gaya aliran udara yang mengalir dari arah depan mobil yang berpengaruh pada penampang / desain bodi mobil. Apabila gaya hambat yang terjadi bernilai besar, maka mobil tidak akan dapat berjalan dengan kecepatan maksimal jika dibandingkan dengan gaya hambat yang kecil.

2.4.2 Aerodinamika pada Pesawat Terbang

Berdasarkan fungsinya yang sudah dijelaskan tadi, yaitu sebagai pengatur aliran udara akibat gaya yang ditimbulkan atau pengatur pola pergerakan udara yang terjadi. Maka, aerodinamika sering diterapkan pada pesawat terbang, karena pesawat terbang akan mengalami aliran udara lebih besar saat terbang. Maka sebisa

mungkin pesawat dirancang dengan teknologi yang menerapkan ilmu aerodinamika agar penerbangan berjalan dengan baik. Salah satu karakteristik gaya aerodinamis pada pesawat yaitu yang sering terjadi adalah gaya angkat.

Berdasarkan penjelasan sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa terangkatnya pesawat terbang merupakan akibat dari perbedaan tekanan yang ada pada sayap pesawat. Pesawat dapat terbang apabila gaya angkat lebih besar dibandingkan dengan berat pesawat. Dengan demikian, dapat diketahui bahwa kemampuan pesawat untuk terbang di pengaruhi oleh berat pesawat, laju pesawat serta ukuran sayap pesawat (Kusumaningrum et al. 2019).

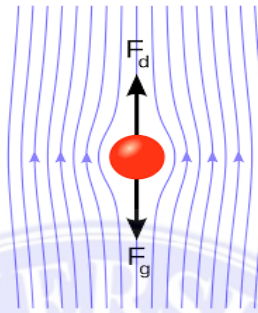
2.4.3 Aerodinamika pada Kereta Api

Aerodinamika pada kereta api diakibatkan oleh aliran udara yang mengalir melewati kereta api tersebut. Dalam ilmu mekanika fluida, peristiwa ini biasa disebut dengan dinamika aliran eksternal (*external flow dynamic*). Dan dapat kita ketahui bahwa bentuk dari desain kereta api sangat berpengaruh pada gaya hambat udara yang terjadi pada kereta api. Selain itu, aerodinamis pada kereta api juga berperan untuk kenyamanan penumpang (Baker 2014).

2.5 Koefisien Gaya Hambat (*Coefficient of Drag*)

Pada ilmu aerodinamika, terdapat gaya yang harus dipertimbangkan agar kendaraan dapat berjalan dengan baik dan optimal. Salah satu gaya pada aerodinamika adalah gaya hambat (*drag force*). Gaya hambat adalah gaya yang alirannya berlawanan dengan arah garis laju yang dilalui oleh kendaraan. Gaya hambat tersusun dari sejumlah gaya gesek. Jadi semakin kecil gaya hambat, maka

semakin cepat laju kendaraan (Rakibul Hassan et al. 2014). Sedangkan koefisien hambat adalah nilai yang tidak berdimensi yang digunakan untuk menghitung gaya hambat, seperti udara dan air. Ilustrasi dari gaya hambat dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5. Gaya Hambat

Adapun rumus atau persamaan dari koefisien gaya hambat (*Coefficient of Drag*) :

$$C_d = \frac{F_d}{\frac{1}{2}\rho v^2 A} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

C_d = Koefisien Hambatan

F_d = Gaya Hambat (N)

ρ = Densitas Fluida (kg/m^3)

v = Kecepatan Aliran (m/s)

A = Area Referensi (m^2)

2.6 CFD (*Computational Fluid Dynamic*)

CFD merupakan sarana untuk menghitung bidang dinamika aliran fluida secara terperinci, termasuk pendistribusian tekanan permukaan melalui pendekatan solusi numerik dengan menggunakan bantuan komputer. Dari penjabaran diatas, CFD dapat diartikan sebagai sebuah aplikasi untuk penghubung antara perhitungan analitis dan eksperimen pada dinamika aliran fluida (Widiawaty, Siswantara, and Gunadi 2016).

Kemudian, salah satu keunggulan menggunakan *software* pada simulasi adalah kemampuannya untuk melihat secara detail proses pemodelan. Seperti misalkan pada kasus pemodelan desain mobil terhadap aliran udara dengan CFD (Prastyo, Syafa'at, and Dzulfikar 2020)(Jhon, J. S., & Utomo 2017) seperti yang terlihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6. Model Aerodinamika Mobil F1 dengan CFD

2.7 Geometri

Geometri merupakan sesuatu yang berguna sebagai objek penelitian, terutama pada simulasi analisis aliran udara. Dimana geometri menjadi langkah pertama dalam simulasi CFD (*Computational Fluid Dynamic*). Bentuk geometri terbagi ke dalam tiga jenis : 2D (dua dimensi), 3D (tiga dimensi) dan *axisymmetric*.

Dimana untuk geometri 2D berbentuk bidang datar atau bidang dua dimensi dalam bentuk permukaan tipis, yang mempunyai dua sumbu saja yaitu sumbu x dan sumbu y. Sedangkan untuk geometri 3D mempunyai 3 sumbu yaitu sumbu x, sumbu y dan sumbu z. Untuk *axisymmetric* adalah benda putar yang bagian melintangnya berbentuk lingkaran (Igarashi et al. 2006).

Dalam ilmu matematika, geometri sering kita bahasakan sebagai pernyataan untuk bentuk. Apakah itu bentuk bangun ruang seperti tabung, bola dan bangun ruang lainnya yang sudah pernah kita pelajari dulu waktu di bangku sekolah dasar. Dan didalam aplikasi Solidworks, contoh dari geometri diantaranya adalah garis, titik, bentuk, bidang dan yang demikian itu sangat sering sekali kita gunakan saat ingin mendesain suatu produk bahkan geometri sudah menjadi bagian yang sangat mendasar pada Solidworks.

2.8 Solidworks

Solidworks adalah aplikasi otomatisasi desain mekanis yang memungkinkan desainer dengan cepat membuat sketsa ide, bereksperimen dengan fitur dan dimensi dan menghasilkan model dan gambar yang mendetail (SolidWorks 2015). *Solidworks* diciptakan pada tahun 1993 oleh Jon Hirschtick, seorang lulusan *Massachusetts Institute of Technology* (MIT). Produk pertama yang dirilis adalah *Solidworks 95*, pada tahun 1995.

Solidworks merupakan aplikasi yang digunakan untuk mendesain produk dari yang sederhana hingga yang kompleks sekalipun. Wajib bagi yang berkecimpung di dunia teknik untuk mempelajarinya, terutama teknik mesin. Banyak yang bisa kita lakukan dengan Solidworks, seperti mendesain, membuat

pola dan masih banyak lainnya dan tentunya itu sangat erat kaitannya dengan bidang studi yang dipilih peneliti, yaitu teknik mesin.

Kalau kita lihat kembali bagaimana *engineer* jaman dahulu sebelum ada Solidworks, mereka pasti akan sangat susah sekali dan perlu usaha yang lebih ekstra karena pekerjaan dilakukan dengan cara konvensional.



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

3.1.1 Waktu

Penelitian ini awal dilaksanakan pada bulan November 2022, dengan detail jadwal tugas akhir seperti terlihat pada tabel 3.1 sebagai berikut :

Tabel 3.1. Jadwal Tugas Akhir

NO	Aktifitas	2022		2023					
		Nov	Des	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun
1	Pengajuan Judul								
2	Penulisan Proposal								
3	Seminar Proposal								
4	Persiapan Alat dan Bahan								
5	Pemodelan Geometri								

NO	Aktifitas	2023				2024			
		Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des	Jan	Feb
6	Simulasi Aliran Udara								
7	Analisa Data								
8	Seminar Hasil Evaluasi dan								
9	Persiapan Sidang								
10	Sidang Sarjana								

NO	Aktifitas	2024	
		Mar	Apr
6	Simulasi Aliran Udara		
7	Analisa Data		
8	Seminar Hasil		
9	Evaluasi dan Persiapan Sidang		
10	Sidang Sarjana		

3.1.2 Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Bengkel Arya, Jl. Mangan VIII Mabar Hilir, Kec. Medan Deli, Kab. Deli Serdang, Sumatera Utara.

3.2 Bahan dan Alat

3.2.1 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah :

1. Filamen ABS



Gambar 3.1. Filamen ABS

Filamen ABS digunakan untuk filamen printer 3d yang akan digunakan pada penelitian ini dan salah satu yang paling banyak digunakan untuk 3d printer.

3.2.2 Alat

Alat yang digunakan dalam analisis aliran udara terhadap prototipe virtual mobil kecil adalah :

1. Komputer



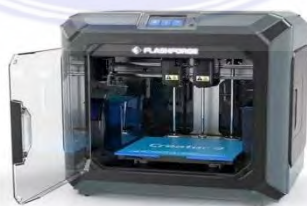
Gambar 3.2. Komputer

2. *Software Solidworks 2017*



Gambar 3.3. *Software Solidworks 2017*

3. 3D Printer



Gambar 3.4. 3D Printer

3.3 Metode Penelitian

Metode teknik analisis penelitian ini menggunakan metode studi literatur dan observasi. Studi literatur yaitu penulis melakukan proses pencarian referensi,

baik dari buku maupun jurnal yang berkaitan dengan penelitian ini. Dan berikut referensi yang diperoleh dari metode studi pustaka :

- a. Jenis aliran udara (laminar, transisi dan turbulen)
- b. Ilmu aerodinamika
- c. Koefisien gaya hambat (*Coefficient of Drag*)
- d. Bentuk model bodi mobil sangat mempengaruhi nilai aerodinamisnya

Sedangkan observasi yaitu penulis melakukan proses pengamatan melalui jejaring sosial media tentang bagaimana proses (tutorial) pengujian aerodinamis terhadap mobil dengan menggunakan aplikasi *Solidworks*, yang kemudian penulis praktikkan dalam penelitian ini. Dan metode uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan metode CFD (*Computational Fluid Dynamic*).

3.4 Populasi dan Sampel

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui nilai aerodinamika atau nilai koefisien hambat yang terjadi saat mobil diberi aliran udara dengan kecepatan tertentu. Maka, penulis mencari referensi dari beberapa jurnal yang berkaitan dengan penelitian ini. Dan dari beberapa jurnal yang ada, yang paling banyak dibahas adalah pengaruh bentuk bodi pada mobil terhadap aliran udara yang melalui mobil tersebut, lalu ada juga diberi variasi kecepatan aliran udaranya. Oleh karena itu, penulis disini meneliti pengaruh 3 (tiga) variasi bentuk bodi mobil terhadap aliran udara kemudian diberi kecepatan aliran udara yang berbeda, kemudian akan didapatkan model bodi mobil yang paling aerodinamis dari ketiga variasi bodi mobil tersebut.

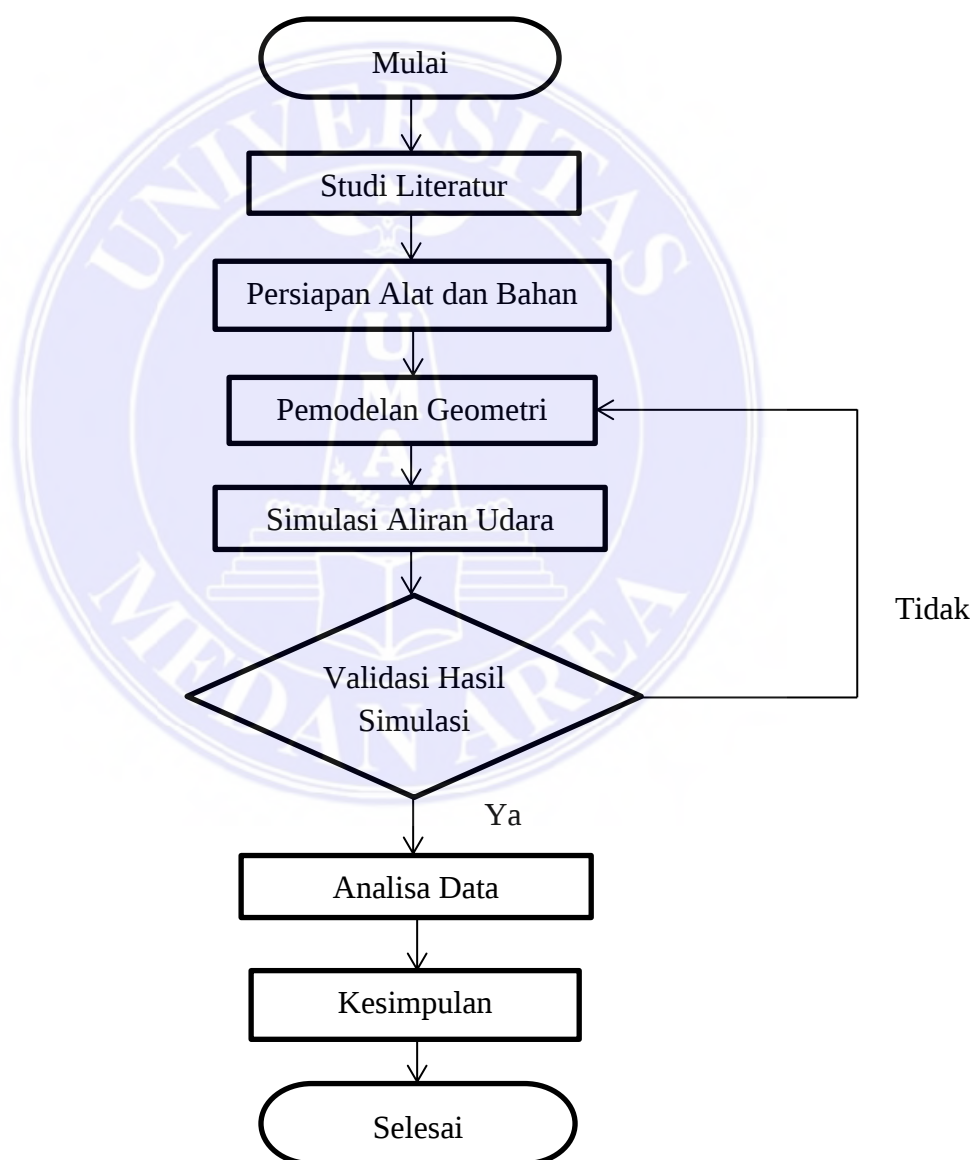
3.5 Prosedur Kerja

Prosedur kerja penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penulis melakukan pencarian referensi (studi literatur dan observasi). Studi literatur, baik melalui buku maupun jurnal yang berkaitan dengan pengujian aerodinamis terhadap mobil. Sedangkan observasi dilakukan dengan cara mengamati melalui jejaring sosial media bagaimana proses (tutorial) pengujian aerodinamis terhadap mobil.
2. Penulis mempersiapkan laptop untuk melakukan pengujian aerodinamis (aliran udara) terhadap mobil kecil yang sudah didesain terlebih dahulu oleh penulis melalui aplikasi *Solidworks* edisi 2017 dan pengujian aliran udara juga dilakukan pada aplikasi tersebut melalui menu *flow simulation* yang tertera pada aplikasi *Solidworks*. Berikut parameter yang diperhatikan dalam proses penelitian ini :
 - a. Bentuk desain bodi mobil
Bentuk desain bodi sangat mempengaruhi nilai aerodinamis suatu mobil, terutama bodi bagian depan karena berkaitan dengan area penampang yang berinteraksi langsung dengan aliran udara.
 - b. Luas area penampang yang dilalui udara
Semakin kecil area luas penampang yang dilalui udara, maka semakin aerodinamis suatu mobil. Begitu pula sebaliknya, semakin besar area luas penampang yang dilalui udara, maka mobil tersebut kurang aerodinamis.
3. Setelah didapat hasil pengujian aliran udara, maka dapat diketahui desain model bodi mobil yang paling aerodinamis. Dan setelah di evaluasi, selanjutnya memasukkan data hasil penelitian ke skripsi penulis.

3.5.1 Diagram Alir Penelitian

Metode pengumpulan data untuk referensi penelitian ini yaitu studi literatur dan observasi melalui jejaring sosial media, setelah mendapatkan data referensi maka selanjutnya dilakukan pengujian aliran udara (aerodinamis) terhadap model mobil kecil, sehingga didapatkan model mobil yang paling aerodinamis. Dan, akhirnya dilanjutkan analisa data, lalu akan didapat kesimpulan dari penelitian ini.



Gambar 3.5. Diagram Alir Penelitian

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Dari hasil penelitian analisis aliran udara ini, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Bahwa berdasarkan klasifikasi pengujian aliran udara, terlihat bahwa pengujian secara virtual dapat lebih memudahkan untuk melakukan analisis pengujian aliran udara / aerodinamika pada suatu mobil. Dan lebih efisien dibandingkan dengan pengujian secara ekperimental.
2. Dalam pengujian aliran udara pada mobil, desain bodi mobil sangat menentukan keaerodinamisan dari suatu mobil tersebut. Maka pada saat merancang / mendesain suatu mobil, perlu diperhatikan juga bagian mana yang berpengaruh besar pada segi aerodinamisnya suatu mobil tersebut. Dan setelah penulis melakukan penelitian ini, diketahui bahwa bagian depan bodi sampai atas mobil sangat menentukan karena disitulah luas area penampang yang akan bersinggungan langsung dengan aliran udara dan akhirnya yang akan mempengaruhi keaerodinamisan suatu mobil.
3. Dan dari hasil rekonstruksi pengujian aliran udara pada penelitian ini, didapatkan bahwa model mobil 2 memiliki nilai koefisien hambat terendah dengan nilai rata-rata 0,301518 dan nilai *drag force* terendah dengan nilai rata-rata 190,4592 N.

4. Tujuan dilakukan rekonstruksi pengujian aliran udara pada penelitian ini adalah untuk mengetahui mobil dengan desain yang seperti apa yang paling aerodinamis, sehingga didapatkan model mobil yang memiliki nilai koefisien hambat (C_d) dan gaya hambat (*drag force*) yang paling rendah. Semakin rendah nilai hambat suatu mobil, maka semakin baik kinerja dengan semakin menghemat bahan bakar.

5.2 Saran

Dengan melihat banyaknya antusias untuk menciptakan mobil kecil dengan analisis aliran udara terhadapnya terutama dikalangan akademis, di Indonesia maupun di negara lain, yang nantinya akan bermanfaat untuk masyarakat, maka disarankan untuk penelitian yang dilakukan oleh penulis saat ini agar dapat ditingkatkan lagi segala kekurangan-kekurangan yang ada di penelitian ini. Dan juga penulis harapkan untuk peneliti lain yang berkaitan dengan penelitian ini, agar dapat dikembangkan lagi dengan teknologi yang lebih baik dari penelitian sebelumnya. Kemudian dari penelitian ini, diharapkan juga menjadi salah satu langkah program studi Teknik Mesin Universitas Medan Area untuk berkontribusi pada sebuah ajang kompetisi “Shell Eco Marathon” yang diselenggarakan di Pertamina Mandalika International Street Circuit, Lombok, Indonesia pada waktu yang akan datang.

DAFTAR PUSTAKA

- Badrawada, I Gusti Gde, Adi Purwanto, and Edo Riyan Firlanda. 2019. "Analisa Aerodinamika Bodi Kendaraan Mataram Proto Diesel Dengan ANSYS 15.0." *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material* 3(1): 8.
- Baker, C. J. 2014. "A Review of Train Aerodynamics Part 1 - Fundamentals." *Aeronautical Journal* 118(1201): 201–28.
- Darmawan, Deny, Alex Harijanto, and Sri Astutik. 2018. "Analisis Bilangan Reynold (Re) Untuk Menentukan Jenis Aliran Fluida Menggunakan CFD (Computational Fluid Dynamic) Sebagai Rancangan Bahan Ajar Di SMA." *Seminar Nasional Pendidikan Fisika 2018* 3(2): 178–82.
- Donnici, Giampiero et al. 2020. "A New Car Concept Developed with Stylistic Design Engineering (SDE)."
- Fakhruddin, Muhammad et al. 2021. "Optimasi Aerodinamika Bodi Mobil Hemat Energi Ken Dedes Electric Evo 3 Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamics (Cfd)." *Eksergi* 17(1): 36.
- Hakim Politeknik Negeri Batam, Rahman. 2016. "Desain Dan Analisa Aerodimanika Dengan Menggunakan Pendekatan CFD Pada Model 3D Untuk Mobil Prototype 'Engku Putri.'" <https://www.researchgate.net/publication/328899414>.
- Hidayat, M Fajri. 2018. *Teori Sayap Pesawat Terbang*.
- Hucho, W. H., and G. Sovran. 1993. "Aerodynamics of Road Vehicles." (Figure 1): 485–537.
- Igarashi, Takeo, Satoshi Matsuoka, Sachiko Kawachiya, and Hidehiko Tanaka. 2006. "Interactive Beautification: A Technique for Rapid Geometric Design." *SIGGRAPH 2006 - ACM SIGGRAPH 2006 Courses*: 105–14.
- Jhon, J. S., & Utomo, M. T. S. 2017. "Analisis Aerodinamika Body Mobil Hemat Energi Antawirya Residual-Sat Dengan Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamics." *Jurnal Teknik Mesin* 5(1): 50–59. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jtm/article/view/16926>.
- Kusumaningrum, Syafrina Sekar, Gaguk Marausna, Farid Jayadi, and Arifin Rasyadi Soemaryanto. 2019. "Analisis Aerodinamika Penambahan Winglet Pada Sayap." 7(2): 247–54.
- Munson, B. R., D. F. Young, and T. H. Okiishi. 1994. *Fundamentals of Fluid Mechanics*.
- Murwanto, Anwar Dwi, and Muhkamad Wakid. 2017. "Pengembangan Desain Perangkat Aerodinamik Mobil Fg16 Ditinjau Dari Hasil Simulasi Numerik Aliran Udara Eksternal Design Development of Aerodynamic Device Fg16 Car Observed By Result." *Jurnal Pendidikan Teknik Otomotif Edisi XVIII* 3(2): 122–30.
- Prabhu, L. et al. 2020. "Aerodynamics Analysis of the Car Using Solidworks Flow Simulation with Rear Spoiler Using CFD." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 993(1).
- Prastyo, Bagus Wahyu, Imam Syafa'at, and Muhammad Dzulfikar. 2020. "Analisis Aerodinamika Pada Bodi Mobil Hemat Energi Lintang Samudra Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamics." *Jurnal Ilmiah*

Momentum 16(1).

- Rakibul Hassan, S. M., Toukir Islam, Mohammad Ali, and Md Quamrul Islam. 2014. "Numerical Study on Aerodynamic Drag Reduction of Racing Cars." *Procedia Engineering* 90: 308–13. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2014.11.854>.
- Rojewski, Adam, and Jarosław Bartoszewicz. 2017. "Numerical Analysis of Influence of the Wing in Ground Effect on Aircraft Lift Coefficient and on Car Downforce Coefficient." *Journal of Mechanical and Transport Engineering* 69(2): 47–54.
- Singh, Suraj Pal, and Arashdeep Singh. 2016. "Design and Simulate an Aerodynamic Car Body for The Maruti Suzuki 800 With Less Coefficient of Drag." *International Research Journal of Engineering and Technology*. www.irjet.net.
- Sobachkin, A., and G. Dumnov. 2013. "Numerical Basis of CAD-Embedded CFD." *NAFEMS World Congress 2013* (February): 1–20.
- SolidWorks. 2015. Dassault Systèmes SolidWorks *Introducing Solidworks Contents*.
- Susanto, Michael. 2013. "Perencanaan Front Bumper Dan Rear Diffuser Untuk Mereduksi Coefficient of Drag." *Mechanova* 1(7): 31–36.
- Widiawaty, Candra Damis, Ahmad Indra Siswantara, and Gun Gun R Gunadi. 2016. "Kajian Analisis Engineering Dengan Metode Computational Fluid Dynamics." *Jurnal Poli-Teknologi* 14(3).

