



## Optimalisasi Aerodinamika pada Sayap Depan Mobil Formula 1: Pengaruh *Drag* dan *Lift* terhadap Performa Mobil di bawah regulasi FIA: Review

Adinda Fahira<sup>1\*</sup>, Sabaruddin<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Fisika, FTK Universitas Islam Negeri Ar-Raniry  
Banda Aceh 23111, Indonesia

\*e-mail: [adindafahira96@gmail.com](mailto:adindafahira96@gmail.com)

Received: 25 12 2024. Accepted: 02 02 2025. Published: 02 2025

### Abstrak

Artikel ini merupakan tinjauan literatur yang bertujuan untuk menganalisis perubahan desain aerodinamis sayap depan mobil Formula 1 berdasarkan regulasi FIA tahun 2001, 2017, dan 2022. Regulasi 2017 menghasilkan desain lima elemen yang meningkatkan downforce secara signifikan tetapi mengorbankan efisiensi aerodinamis akibat drag tinggi. Penambahan *endplates* dan penggunaan pendekatan *hybrid* (parametrik dan adjoint) pada desain tahun 2022 terbukti mampu meningkatkan kinerja aerodinamis, meskipun masih menghadapi tantangan dari efek *wake*. Perubahan regulasi FIA 2022 dilakukan untuk mengurangi kehilangan *downforce* akibat turbulensi *wake*, memungkinkan mobil di belakang mempertahankan hingga 90% *downforce*, dibandingkan kehilangan hingga 62% pada regulasi sebelumnya. Desain ini dirancang untuk meningkatkan kompetisi, mempermudah manuver menyalip, dan menjaga stabilitas kendaraan.

**Kata Kunci:** Aerodinamika, CFD, Formula 1

### Abstract

This article is a literature review aimed at analyzing the aerodynamic design changes of Formula 1 front wings based on FIA regulations from 2001, 2017, and 2022. The analysis reveals that the 2017 regulations resulted in a five-element design that significantly increased downforce but sacrificed aerodynamic efficiency due to high drag. The addition of *endplates* and the use of a *hybrid* approach (*parametric* and *adjoint*) in the 2022 design have proven effective in improving aerodynamic performance, although challenges related to *wake* effects remain. The FIA's 2022 regulation changes were introduced to reduce downforce loss caused by *wake* turbulence, allowing trailing cars to retain up to 90% of their downforce compared to losses of up to 62% under previous regulations. These optimizations aim to enhance race competitiveness, facilitate overtaking maneuvers, and maintain vehicle stability on the track.

**Keywords:** Aerodynamics, CFD, Formula 1

### PENDAHULUAN

Dalam sistem aerodinamika, terdapat hal yang paling penting yaitu gaya aerodinamis pada fluida, terdapat 4 gaya yang berkerja pada semua benda yang bergerak melalui fluida yaitu, *lift* (gaya angkat), *weight* (downforce pada mobil F1), *thrust* (gaya tarik), dan *drag* atau gaya gesek (Pandit, A., & Day, G, 2021). Tujuan utama aerodinamika

otomotif untuk kendaraan darat adalah mencari hambatan udara (*drag*) se-minimum mungkin agar mencegah gaya angkat (*lift*), meningkatkan efisiensi bahan bakar, serta meningkatkan kestabilan aerodinamis lainnya saat bekerja pada kecepatan tinggi. Kemudian, kontrol dan pengereman pada kemudi juga diperhitungkan dalam desain aerodinamis. Saat mobil berkecepatan tinggi terjadinya gaya



angkat yang dapat menyebabkan ban kehilangan *grip* pada permukaan jalan, mengurangi cengkraman, dan membuat mobil tidak stabil dan sulit untuk dikendalikan. (Ikhsan, 2020).

Mobil F1 bergerak pada kecepatan jauh lebih tinggi dibandingkan mobil biasa. Oleh karena itu, diperlukan konsep aerodinamis untuk memastikan mobil tetap stabil di lintasan dan tidak terangkat akibat adanya gaya angkat atau *lift* (Hospodář, P., et al., 2021). Hal ini bertujuan agar pembalap dapat memiliki kendali maksimal atas mobil (Granados-Ortiz, F.I., et al., 2023), sehingga dapat mencapai performa terbaik. Gaya angkat atau *lift* adalah gaya yang bekerja pada benda dalam fluida yang berlawanan dengan gaya gravitasi. Pada pesawat terbang, gaya angkat bertujuan untuk menerbangkan pesawat, dan sayap pesawat dirancang untuk menghasilkan gaya angkat maksimum dengan hambatan minimal (Hospodář, P., et al., 2021). Namun, pada mobil F1, gaya angkat merupakan gaya yang tidak diinginkan karena dapat mengurangi traksi ban, yang berdampak negatif pada kendali dan stabilitas mobil. Oleh karena itu, *lift* pada mobil F1 disebut sebagai *negative lift* atau *downforce* (Pandit, 2021).



Gambar 1. Mobil Formula 1

*Downforce* yang dihasilkan oleh bagian bawah mobil juga dikenal sebagai "*ground effect*" berfungsi untuk menekan mobil lebih dekat ke jalan. Berbeda dengan gaya angkat (*lift*), *downforce* adalah gaya dari udara yang menekan

bagian atas mobil dan menjaga agar roda tetap menempel pada permukaan jalan (Zhang, Z., 2023). Hal ini akan menambah *grip* antara roda dan jalan sehingga mobil mudah untuk dikendalikan terutama saat menikung dalam kecepatan tinggi.

Aerodinamika juga merupakan peran yang sangat penting dalam memastikan mobil dapat bergerak secepat mungkin, meskipun harus melewati hambatan udara berkecepatan tinggi yang datang dari arah berlawanan dan penurunan *drag* juga dapat menghemat bahan bakar (Anish, A., & P.G, S., 2017)..

Seperti penjelasan di atas, desain aerodinamika mobil F1 dilakukan untuk mengurangi *drag* dan meningkatkan *downforce* atau *negative lift* agar mobil lebih mudah dikendalikan saat melaju dalam kecepatan tinggi. Namun, *downforce* yang semakin besar juga menyebabkan peningkatan *drag*. Oleh karena itu, diperlukan optimasi desain mobil untuk mencari keseimbangan ideal antara *downforce* dan *drag*, sehingga mobil tetap stabil tanpa mengorbankan kecepatan maksimal dan efisiensi bahan bakar (Zhou, Z., 2020).

Berfokus pada sayap depan, perangkat aerodinamis ini merupakan komponen paling depan dari sebuah open wheel mobil balap dan pertama kali berinteraksi dengan udara yang tidak terganggu. Terdiri dari sudut serang negatif sayap dengan perangkat tambahan, seperti flap, dan gurney flap atau pelat ujung (Castro, X., & Rana, Z. A., 2020). Ini memiliki pengaruh utama untuk menghasilkan 25–30% *downforce* mobil secara keseluruhan di bagian depan mobil (Guerrero, A., & Castilla, R., 2020) dengan efisiensi aerodinamis yang tinggi pada sayap depan dapat mengurangi hambatan yang dihasilkan pada roda depan dan menyalurkan aliran udara ke komponen paling belakang, oleh

karena itu, sayap depan mobil balap memiliki rasio lift-to-drag yang sangat tinggi. Sehingga, desain sayap depan merupakan hal yang kompleks untuk memperoleh elemen optimal yang mampu meningkatkan *downforces* dan mengurangi drag agar memenangkan perlombaan (Francisco-Javier:2023).



Gambar 2. Sayap depan mobil McLaren Formula 1

*Fédération Internationale de l'Automobile* (FIA) adalah organisasi yang mengatur berbagai olahraga motor, termasuk Formula 1. FIA secara rutin memperbarui peraturannya untuk meningkatkan keselamatan, efisiensi, dan daya saing dalam olahraga ini. Perubahan regulasi sering kali didasarkan pada perkembangan teknologi, analisis insiden balapan, dan upaya untuk membuat balapan lebih menarik bagi penonton.

Artikel ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh optimasi aerodinamika, khususnya pada aspek drag dan lift, terhadap performa mobil

Formula 1. Dengan fokus pada desain sayap depan (front wing) di bawah regulasi terbaru FIA, analisis ini dirujuk pada penelitian sebelumnya mengenai hubungan antara desain aerodinamika dan peningkatan efisiensi performa mobil, termasuk studi tentang pengaruh angle of attack, distribusi aliran udara, serta perubahan desain yang signifikan sesuai regulasi.

**BAHAN DAN METODE**

Metode pencarian sumber data dalam artikel review ini dilakukan melalui studi literatur ilmiah. Sumber data dikumpulkan secara daring menggunakan platform seperti Google Scholar, Society of Automotive Engineers (SAE), dan ScienceDirect, dengan kata kunci “Aerodinamika,” “Aerodinamika mobil F1,” dan “Optimasi sayap depan mobil balap.” Artikel ini mendasarkan analisis pada 11 jurnal nasional dan internasional, serta prosiding seminar ilmiah yang relevan. Fokus penelitian adalah membandingkan regulasi FIA terhadap desain sayap depan mobil F1 dari tahun 2001, 2017, dan 2022, serta dampaknya terhadap koefisien lift dan koefisien drag.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Tabel 1. Hasil Lift dan Drag

No	Referensi	Regulasi	Design Penelitian	Design Front Wings	Koefisien Lift ( $C_l$ )	Koefisien Drag ( $C_d$ )	Keterangan
1.	W. Kieffer (2006)	2001	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2D</li> <li>• CFD of airflow</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elemen tunggal</li> <li>• Panjang 1800 mm</li> </ul>	13%-20%	50%	Sudut serang 0°-12° menghasilkan $c_l$ yang bervariasi sedangkan $c_d$ nya tetap pada besar yang konstan. Pada AoA lebih

							dari 12° terjadinya 'stall' yang menyebabkan $C_l$ turun drastis dan $C_d$ meningkat.
2.	Alex Guerrero (2020)	2017	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3D</li> <li>• CFD</li> <li>• Metode Finite Volume Method (FVM)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 5 elemen</li> <li>• Panjang 2000 mm</li> <li>• Memiliki bargeboards dan turning vanes</li> </ul>	23%	13%	Sayap depan mengarahkan aliran udara ke bawah dan belakang mobil untuk menghasilkan downforce, namun AoA yang tinggi menyebabkan vortex di ujung sayap, yang mengurangi efisiensi aerodinamis dan meningkatkan drag.
4	F.-J. Grana dos-Ortiz (2021)	2021	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3D optimal paramatic dan adjoint front wing</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 5 elemen</li> <li>• Panjang 2000 mm</li> </ul>	52,4%	9,4%	Kinerja profil kelima berada di area dengan pengaruh paling kecil, sementara bagian tengah spoiler menjadi kontributor utama untuk lift dan drag.
5	Francisco-Javier (2023)	2021	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2D optimal paramatic dan adjoint front wing</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 5 elemen</li> <li>• Panjang 2000 mm</li> </ul>	56,5%	7,8%	Setelah optimasi hybrid, desain final menghasilkan peningkatan $C_l$ hingga 25% di area B-B dan

							pengurangan $C_d$ hingga 12,67% dibandingkan baseline.
6	Xabier Castro	2022	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3D</li> <li>• CFD dan Finite Element Analysis (FEA) untuk analisis struktur sayap.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3 elemen</li> <li>• Panjang 2000 mm</li> <li>• Memiliki endplate</li> </ul>	60,21%	115,38%	<i>Endplates</i> meningkatkan performa aerodinamika dengan menambah <i>downforce</i> dan mengurangi <i>drag</i> . <i>Flaps</i> secara signifikan meningkatkan <i>downforce</i> tetapi mengorbankan efisiensi aerodinamika karena peningkatan <i>drag</i> yang besar.

Penelitian ini menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) berbasis model turbulensi  $k-\omega$  SST untuk menganalisis aerodinamika berbagai konfigurasi sayap depan Formula 1, termasuk pengaruh *wake flow* dari mobil di depan. Optimasi desain dilakukan melalui pendekatan parametrik (NSGA-II) dan *hybrid* (Adjoint), dengan validasi menggunakan *Grid Convergence Index* (GCI) untuk memastikan hasil simulasi independen dari grid.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa konfigurasi sayap dengan tiga hingga lima elemen memiliki perbedaan signifikan dalam performa aerodinamis. Penambahan elemen meningkatkan *downforce* (CL), tetapi juga menyebabkan peningkatan *drag* (CD), sehingga efisiensi aerodinamik (CL/CD)

menurun pada konfigurasi dengan lebih banyak elemen. Penggunaan *endplates* terbukti meningkatkan stabilitas struktural dan aerodinamis dengan mengurangi deformasi sayap serta meningkatkan CL.

Saat berada dalam *wake* mobil lain, performa sayap depan mengalami penurunan drastis, dengan *downforce* turun hingga 38% pada jarak 0,25 panjang mobil (L). Meskipun *drag* juga menurun, distribusi tekanan menjadi tidak merata, yang memengaruhi kestabilan mobil dan aliran udara menuju komponen lain, seperti *underbody* dan *diffuser*. Oleh karena itu, regulasi FIA 2017 diperkenalkan untuk memudahkan *overtake* dan meningkatkan keselamatan balapan.

Sayap depan berperan dalam menciptakan tekanan tinggi di bagian atas dan tekanan rendah di bagian bawah, menghasilkan *downforce* yang signifikan. Selain itu, desain ini juga membantu mengarahkan aliran udara ke bagian bawah mobil, meningkatkan efek tanah (*ground effect*). Semua penelitian ini bertujuan mengoptimalkan desain sayap depan agar sesuai dengan regulasi FIA 2021/2022, dengan fokus pada peningkatan *downforce* tanpa mengorbankan efisiensi aerodinamis serta memastikan stabilitas struktural. Simulasi juga mengevaluasi interaksi antar komponen, seperti ban depan dan saluran rem, yang memengaruhi aliran udara secara keseluruhan.

Penggunaan pendekatan hybrid dalam optimasi terbukti efektif dalam menghasilkan desain yang lebih aerodinamis. Namun, efek *wake* menunjukkan bahwa perubahan regulasi FIA 2022, yang bertujuan mengurangi turbulensi *wake*, sangat diperlukan. Optimasi lebih lanjut direkomendasikan untuk meningkatkan kinerja aerodinamika di kondisi *wake*, termasuk inovasi pada diffuser dan pengelolaan *vortex*.

Perubahan regulasi FIA 2022 berfokus pada pengurangan gangguan aerodinamika akibat *wake*, yang sebelumnya menyebabkan penurunan hingga 62% *downforce* bagi mobil yang mengejar. Desain baru sayap depan dan belakang bertujuan mengarahkan aliran udara agar menghasilkan *wake* yang lebih bersih, sehingga mobil di belakang hanya kehilangan sekitar 10–15% *downforce*. Inovasi ini dinilai penting untuk meningkatkan kemampuan mobil dalam mengikuti dan menyalip lawan,

menjadikan balapan lebih kompetitif, serta menjaga efisiensi bahan bakar dan performa mobil di berbagai kondisi lintasan.

## KESIMPULAN

Perubahan desain sayap depan Formula 1 bertujuan untuk meningkatkan performa aerodinamis dan efisiensi kendaraan dalam berbagai kondisi balapan. Hasil analisis menunjukkan bahwa konfigurasi dengan lebih banyak elemen, seperti yang diatur dalam regulasi FIA 2017, dapat meningkatkan gaya angkat aerodinamis (*downforce*) secara signifikan. Namun, peningkatan ini disertai dengan konsekuensi berupa peningkatan hambatan udara (*drag*), yang mengurangi efisiensi aerodinamis secara keseluruhan. Penggunaan endplates serta penerapan metode optimasi hybrid terbukti mampu meningkatkan performa aerodinamika dengan peningkatan *downforce* hingga 25% dan pengurangan *drag* hingga 12,67%.

Meskipun demikian, efek *wake* akibat turbulensi dari kendaraan di depan masih menjadi tantangan utama, dengan penurunan *downforce* hingga 38%, yang berimplikasi pada stabilitas kendaraan dan efisiensi balapan. Untuk mengatasi permasalahan ini, regulasi FIA 2022 mengadopsi desain sayap depan yang lebih sederhana guna mengurangi turbulensi *wake*, memungkinkan kendaraan di belakang mempertahankan hingga 90% *downforce*. Implementasi regulasi ini diharapkan dapat meningkatkan kemampuan menyalip, meningkatkan keselamatan pembalap, serta meningkatkan kualitas kompetisi secara keseluruhan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anish, A., & P.G, S. (2017). Modelling and Analysis of a Car for Reducing Aerodynamic Forces. *international journal of engineering trends and technology*, 47, 1-17. <https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V47P201>.
- Castro, X., & Rana, Z. A. (2020). Aerodynamic and structural design of the 2022 Formula One front wing assembly. *Fluids*, 5(4), 237. <https://doi.org/10.3390/fluids5040237>
- Frias-Gomez, J., Alemany, L., Benavente, Y., Clarke, M. A., de Francisco, J., De Vivo, I., ... & Costas, L. (2023). Night shift work, sleep duration and endometrial cancer risk: A pooled analysis from the Epidemiology of Endometrial Cancer Consortium (E2C2). *Sleep Medicine Reviews*, 101848.
- Granados-Ortiz, F.-J., et al. (2023). 3D CFD simulation of the interaction between front wheels, brake ducts, and front wings of an F1 race car optimized under regulations. *Alexandria Engineering Journal*, 69, 677–698. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2023.02.011>
- Guerrero, A., & Castilla, R. (2020). Aerodynamic study on the wake effect in Formula 1 cars. *Energies*, 13(19), 5183. <https://doi.org/10.3390/en13195183>
- Hospodář, P., Drábek, A., & Prachař, A. (2021). Aerodynamic Design and Strength Analysis of the Wing for the Purpose of Assessing the Influence of the Bell-Shaped Lift Distribution. *Aerospace*. <https://doi.org/10.3390/aerospace9010013>.
- Ikhsan Alfajri, N., et al. (2020). The effect of adding a Gurney flap to the MSHD airfoil on a fastback car with varying Gurney flap heights and airfoil angles using CFD modeling. *Mekanika: Majalah Ilmiah Mekanika*, 19(1). <https://doi.org/10.20961/mekanika.v19i1.40005>
- Kieffer, W., et al. (2006). CFD study of airfoil characteristics for a Formula Mazda race car. *Mathematical and Computer Modelling*, 43(11-12), 1275–1287. <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2005.03.011>
- Mariani, F., et al. (2015). Formula-SAE race car: Experimental and numerical analysis of external aerodynamics. *Energy Procedia*, 81, 1013–1029. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.12.111>
- Pandit, A., & Day, G. (2021). Aerodynamics of F1 car design. *Journal of Student Research*, 10(2). <https://doi.org/10.47611/jsrhs.v10i2.1475>
- Castro, X., & Zeeshan, A. (2022). Rana. Aerodynamic and Structural Design of a.
- Zhang, Z. (2023). A study on aerodynamic developments in Formula One racing. *Theoretical and Natural Science*, 14(1), 38–41. <https://doi.org/10.54254/2753-8818/14/20240875>