

INOVASI AERODINAMIKA DAN TEKNOLOGI *HYBRID*: OPTIMALISASI ALIRAN UDARA DAN ENERGI PADA FORMULA 1

Oktavian Rully Ramadhan¹⁾, Rizki Nugraha²⁾, Desy Agung^{3)*}, SA Pratiwi⁴⁾

^{1,2,3)}Program Studi Teknik Mesin, Universitas Esa Unggul, Jakarta

⁴⁾Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

*Corresponding Author: ayu.desy@esaunggul.ac.id

ABSTRAK

Formula 1 (F1) merupakan puncak inovasi teknologi olahraga otomotif, khususnya dalam pengembangan aerodinamika dan sistem tenaga *hybrid*. Penelitian ini membahas pemanfaatan desain aerodinamis untuk meningkatkan *downforce*, stabilitas, dan efisiensi kendaraan, serta peran sistem *hybrid* dalam meningkatkan performa dan keberlanjutan energi. Inovasi aerodinamika, seperti sayap depan dan belakang, desain lantai mobil, dan penerapan *ground effect*, berkontribusi besar terhadap peningkatan kecepatan dan efisiensi saat menikung. Sementara itu, penggunaan mesin *hybrid* yang mengombinasikan mesin pembakaran internal dengan *Energy Recovery System* (ERS) menunjukkan arah pengembangan *Formula 1* yang lebih ramah lingkungan tanpa mengurangi performa balap. Makalah ini menggunakan pendekatan deskriptif-kualitatif melalui studi literatur dari regulasi FIA, publikasi ilmiah, dan referensi teknis. Hasil kajian menunjukkan bahwa sinergi aerodinamika dan sistem tenaga *hybrid* meningkatkan daya saing di lintasan sekaligus memperkuat peran *Formula 1* sebagai laboratorium pengembangan teknologi bagi industri otomotif global.

Kata Kunci: *Formula 1, Aerodinamika, Teknologi Hybrid, Downforce, Energy Recovery System (ERS)*

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi modern saat ini tidak dapat dipisahkan dari kebutuhan akan efisiensi energi dan keberlanjutan lingkungan. Peningkatan konsumsi energi global serta dampak negatif penggunaan bahan bakar fosil, seperti pencemaran udara dan perubahan iklim, telah menjadi perhatian utama di tingkat global. Berbagai laporan internasional menyebutkan bahwa sektor energi merupakan penyumbang utama emisi gas rumah kaca, sehingga mendorong perlunya transisi menuju sistem energi yang lebih bersih dan efisien (International Energy Agency, 2023; IPCC, 2022).

Aerodinamika merupakan salah satu bidang ilmu yang memiliki peran besar dalam meningkatkan efisiensi penggunaan energi, khususnya yang berkaitan dengan aliran udara. Prinsip aerodinamika telah banyak diterapkan dalam berbagai sektor, seperti transportasi, penerbangan, otomotif, dan pembangkit energi angin. Desain aerodinamis yang optimal mampu mengurangi gaya hambat (*drag*), meningkatkan performa sistem, serta menurunkan konsumsi energi dan bahan bakar, sehingga berkontribusi pada pengurangan emisi (Anderson, 2017; Hucho, 2013).

Seiring dengan perkembangan tersebut, teknologi energi *hybrid* muncul sebagai solusi inovatif dengan mengombinasikan sumber energi konvensional dan

energi terbarukan. Sistem energi hybrid dinilai mampu meningkatkan efisiensi energi, fleksibilitas operasional, serta keandalan sistem dibandingkan sistem energi tunggal. Penerapan konsep *hybrid* banyak ditemukan pada kendaraan *hybrid* dan sistem pembangkit listrik, yang terbukti mampu menekan konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang (Ehsani et al., 2018; Chan, 2007).

Pembahasan ini dipilih karena perkembangan aerodinamika dan energi *hybrid* memiliki keterkaitan yang erat dan relevan dengan isu global saat ini, khususnya dalam upaya transisi menuju energi yang lebih ramah lingkungan. Melalui makalah ini, penulis ingin mengkaji bagaimana peran aerodinamika dapat mendukung revolusi energi *hybrid* serta memberikan pemahaman mengenai pentingnya sinergi antara ilmu pengetahuan dan teknologi dalam menciptakan solusi energi berkelanjutan di masa depan.

1.2 Tujuan Penelitian

Penulisan artikel ini bertujuan untuk mengkaji perkembangan dan peran teknologi aerodinamika serta sistem tenaga hybrid dalam Formula 1 sebagai puncak inovasi otomotif modern. Kajian difokuskan pada pemanfaatan prinsip aerodinamika untuk mengoptimalkan aliran udara guna meningkatkan performa kendaraan, serta kontribusi sistem hybrid dalam meningkatkan efisiensi energi dan keberlanjutan tanpa mengorbankan performa balap. Selain itu, artikel ini menganalisis sinergi kedua teknologi tersebut beserta dampaknya terhadap efisiensi, keselamatan, dan transfer teknologi dari dunia balap ke industri otomotif. Melalui kajian ini, diharapkan diperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai peran Formula 1 sebagai laboratorium pengembangan teknologi otomotif berkelanjutan.

2. METODE

Metode yang digunakan dalam artikel ini adalah studi literatur dengan pendekatan deskriptif-kualitatif. Data diperoleh dari berbagai sumber sekunder yang relevan, meliputi regulasi teknis Formula 1 dari Fédération Internationale de l'Automobile (FIA), buku teks dan literatur teknis terkait aerodinamika dan sistem hybrid, serta artikel ilmiah dan laporan teknis mengenai perkembangan teknologi Formula 1. Informasi yang diperoleh kemudian diidentifikasi, dikelompokkan, dan dianalisis, lalu disintesis untuk menggambarkan kontribusi serta hubungan antara inovasi aerodinamika dan sistem tenaga hybrid terhadap performa dan efisiensi mobil Formula 1 secara sistematis dan mudah dipahami.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Perkembangan Teknologi Aerodinamika dalam Formula 1

Teknologi aerodinamika dalam *Formula 1* (F1) berkembang sangat pesat seiring meningkatnya tuntutan performa dan efisiensi. Aerodinamika berperan utama dalam mengatur aliran udara di sekitar mobil untuk menghasilkan *downforce* (gaya tekan ke bawah) dan mengurangi *drag* (hambatan udara) (Katz, 2016).

Pada era modern, pengembangan aerodinamika difokuskan pada komponen seperti *front wing*, *rear wing*, *diffuser*, dan *underfloor*. Regulasi terbaru *Formula 1* sejak tahun 2022 menekankan konsep *ground effect*, yaitu pemanfaatan aliran udara di bawah mobil untuk menghasilkan *downforce* yang lebih stabil tanpa meningkatkan turbulensi berlebih. Penerapan konsep ini bertujuan meningkatkan kemampuan menyalip antar mobil serta menjaga aspek keselamatan balap (FIA, 2022).

Perbandingan aspek aerodinamika F1 pada saat sebelum dan sesudah era *ground effect* dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan Aspek Aerodinamika F1 Sebelum dan Sesudah Era Ground Effect (FIA Technical Report, 2022)

Aspek aerodinamika	F1 sebelum 2022(Non-ground effect dominan)	F1 era ground effect(2022-sekarang)	Dampak terhadap balapan
Sumber downforce utama	Front wing&rear wing	Underfloor &diffuser(ground effect)	Downforce lebih stabil
Kehilangan downforce saat mengikuti mobil lain	±35%-45%	±15%-20%	Mobil bisa mengikuti lebih dekat
Tingkat turbulansi udara(dirty air)	Tinggi	Lebih rendah	Menyalip lebih mudah
Jarak efektif untuk menyalip	>1,5detik	<1 detik	Persaingan lebih sering
Stabilitas saat menikung	Tinggi tetapi sensitive	Tinggi dan lebih konsisten	Risiko kehilangan control berkurang
Risiko kecelakaan akibat hilang grip	Lebih tinggi	Lebih rendah	Keselamatan meningkat

Perkembangan teknologi aerodinamika tersebut membuat mobil *Formula 1* mampu melaju pada kecepatan tinggi dengan stabilitas maksimal, terutama saat menikung, sehingga memberikan keunggulan kompetitif bagi setiap tim yang mampu mengoptimalkannya (Wright, 2001).

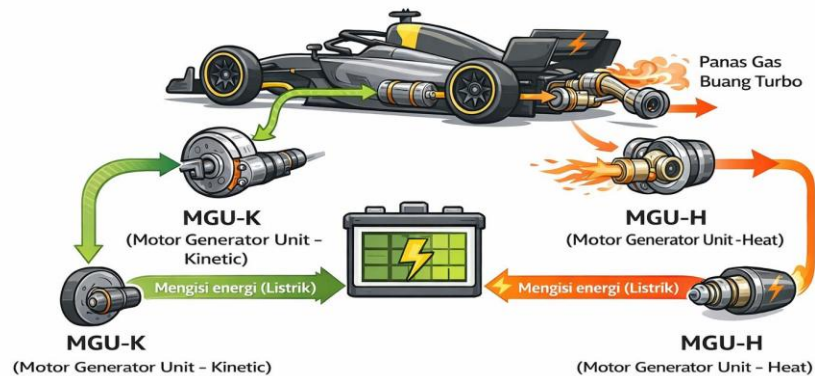
3.2 Penerapan dan Perkembangan Sistem Tenaga *Hybrid* dalam *Formula 1*

Sistem tenaga hybrid mulai diterapkan secara penuh di *Formula 1* sejak musim 2014 melalui penggunaan Power Unit V6 Turbo Hybrid. Sistem ini menggabungkan mesin pembakaran internal dengan dua sistem pemulihan energi, yaitu:

- MGU-K (Motor Generator Unit – Kinetic) yang mengubah energi kinetik saat pengereman menjadi energi Listrik.
- MGU-H (Motor Generator Unit – Heat) yang memanfaatkan panas dari gas buang turbocharger (*Formula 1*, 2023).

Cara Kerja Sistem Hybrid F1

MGU-K & MGU-H (Formula 1, 2023)



Gambar 1. Cara Kerja Sistem *Hybrid F1* (Formula 1, 2023)

Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1, energi yang dihasilkan oleh kedua sistem tersebut disimpan dalam *Energy Store* (baterai) dan digunakan kembali untuk meningkatkan tenaga mobil. Penerapan sistem *hybrid* ini bertujuan meningkatkan efisiensi bahan bakar, mengurangi emisi gas buang, dan tetap mempertahankan performa tinggi yang menjadi ciri khas *Formula 1* modern (FIA, 2022).

Seiring waktu, sistem tenaga *hybrid Formula 1* terus dikembangkan agar menjadi lebih ringan, efisien, dan responsif. Selain digunakan dalam dunia balap, teknologi ini juga berfungsi sebagai sarana riset yang dapat diterapkan pada kendaraan komersial untuk mendukung pengembangan otomotif berkelanjutan (Wright, 2001). Tabel 2 menunjukkan perbandingan sistem tenaga F1 sebelum dan sesudah era *hybrid*.

Tabel 2. Perbandingan Sistem Tenaga F1 Sebelum dan Sesudah Era Hybrid (FIA Technical Regulations, 2022 dan Formula 1 Technology report, 2023)

Aspek perbandingan	Sistem Lama(V8 Naturally Aspirated-sebelum 2014)	Sistem hybrid Modern(V6 Turbo hybrid 2014-Sekarang)
Kapasitas mesin	2.4L V8 NA	1.6L V6 Turbo
System pemulihan energy	Tidak ada	MGU-K dan MGU-H
Efisiensi termal	±30%	>50%
Konsumsi bahan bakar	Lebih boros	Lebih hemat ±35%
Batas bahan bakar balapan	Tidak dibatasi ketat	Maks. 110kg/balap
Emisi gas buang	Lebih tinggi	Lebih rendah
Pemanfaatan energi terbuang	Tidak dimanfaatkan	Dimanfaatkan Kembali
Kesesuaian dengan teknologi ramah lingkungan	Rendah	Tinggi

3.3 Pengaruh Sinergi Aerodinamika dan Sistem *Hybrid* terhadap Performa dan Efisiensi Mobil *Formula 1*

Aerodinamika yang optimal memungkinkan mobil mempertahankan kecepatan tinggi dengan konsumsi energi yang lebih rendah, sementara sistem *hybrid* menyediakan tambahan tenaga secara efisien saat dibutuhkan (Katz, 2016). Sebagai contoh, desain aerodinamika yang efisien mampu mengurangi drag sehingga beban kerja mesin menjadi lebih ringan dan sistem *hybrid* dapat bekerja secara lebih optimal. Di sisi lain, tenaga tambahan dari sistem *hybrid* membantu mobil mencapai akselerasi maksimal tanpa harus meningkatkan konsumsi bahan bakar secara berlebihan (Formula 1, 2023).

Kombinasi kedua teknologi tersebut menghasilkan mobil *Formula 1* yang tidak hanya cepat, tetapi juga lebih efisien dan ramah lingkungan dibandingkan era sebelumnya. Oleh karena itu, sinergi antara aerodinamika dan sistem tenaga *hybrid* menjadi kunci utama dalam perkembangan teknologi *Formula 1* modern (FIA, 2022).

4. KESIMPULAN

Perkembangan aerodinamika dan sistem tenaga hybrid menjadi kunci peningkatan performa, stabilitas, dan efisiensi mobil Formula 1. Aerodinamika mengoptimalkan aliran udara untuk menghasilkan downforce tinggi dengan hambatan rendah sehingga meningkatkan kecepatan, kendali, dan keselamatan. Sementara itu, Energy Recovery System (ERS) memanfaatkan energi terbuang menjadi tenaga tambahan yang memperbaiki akselerasi dan efisiensi bahan bakar. Integrasi keduanya menjadikan Formula 1 sebagai laboratorium teknologi otomotif berperforma tinggi sekaligus lebih ramah lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Tremayne, D., & Hughes, M. The Science of Formula 1 Design. Veloce Publishing, 2013.
- McBeath, S. Competition Car Aerodynamics. Haynes Publishing, 2017.
- Dominy, G. Aerodynamics of Racing Cars. SAE International, 2014.
- Malecki, A. Hybrid Powertrain Systems for Racing Applications. Springer, 2018.
- Daniels, C., & Mavroidis, P. "Energy Efficiency and Hybrid Systems in Modern Motorsport." International Journal of Automotive Engineering, 2020.
- Turner, C. Motorsport Technology Transfer to Road Cars. Elsevier Automotive, 2019.
- Anderson, J. D. (2017). Fundamentals of Aerodynamics. New York: McGraw-Hill Education
- Chan, C. C. (2007). The State of the Art of Electric, Hybrid, and Fuel Cell Vehicles. Proceedings of the IEEE, 95(4), 704–718.
- Ehsani, M., Gao, Y., Longo, S., & Ebrahimi, K. (2018). Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles. Boca Raton: CRC Press.
- Hucho, W. H. (2013). Aerodynamics of Road Vehicles. SAE International.
- International Energy Agency (IEA). (2023). World Energy Outlook. Paris: IEA.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2022). AR6 Working Group III: Mitigation of Climate Change. Geneva: IPCC.
- Fédération Internationale de l'Automobile (FIA). Formula One Technical Regulations. FIA, berbagai edisi.
- Katz, J. (2016). Race Car Aerodynamics: Designing for Speed. Bentley Publishers.
- Wright, P. G. (2001). Formula 1 Technology. SAE International.

- Smith, C. (2020). Tune to Win: The Art and Science of Race Car Development. Motorbooks.
- Formula 1 Official Website. Power Unit and Hybrid Technology in F1.
- Holdsworth, R. (2019). "Hybrid Power Units and Energy Recovery Systems in Formula 1." Journal of Motorsport Engineering.