

TINJAUAN KOMPREHENSIF TENTANG MANAJEMEN TERMAL DAN PEMBUANGAN PANAS PADA REM CAKRAM OTOMOTIF: KEMAJUAN DALAM BAHAN, DESAIN, DAN TEKNIK PEMODELAN

Rama Widjaya Sikumbang¹, Hadi Pranoto²
Universitas Mercu Buana^{1, 2}
55823120004@student.mercubuana.ac.id¹

Abstract: The braking system is a critical component in vehicles, ensuring effective and safe deceleration. Disc brakes, commonly used in automotive applications, generate significant heat during operation, which if not managed properly, can lead to serious problems such as brake fading and component failure. This study reviews various methodologies and findings from previous research on thermal management in disc brakes using Finite Element Analysis (FEA) and other experimental methods. Key findings include the effectiveness of improved ventilation designs, the impact of cooling fins, and the role of composite materials in enhancing heat dissipation. The study also examines the influence of geometric design variations and operating conditions on thermal performance. The results highlight that advanced materials like ceramics, cross-ventilated rotors, and active cooling fins significantly improve thermal efficiency and reduce overheating risks. Furthermore, mathematical modeling techniques such as Response Surface Methodology (RSM) and Distance Weighted Least Squares (DWLS) fitting models provide valuable insights for optimizing disc brake systems. The review underscores the importance of comprehensive thermal management strategies to ensure the safety and reliability of braking systems under various operational conditions. Future research should focus on addressing the limitations of current FEA models and developing more efficient materials and rotor designs.

Keywords: Braking System, Thermal Management, Finite Element Analysis

Abstrak: Sistem pengereman adalah komponen penting dalam kendaraan, memastikan perlambatan yang efektif dan aman. Rem cakram, yang biasa digunakan dalam aplikasi otomotif, menghasilkan panas yang signifikan selama pengoperasian, yang jika tidak dikelola dengan benar, dapat menyebabkan masalah serius seperti rem memudar dan kegagalan komponen. Penelitian ini mengulas berbagai metodologi dan temuan dari penelitian sebelumnya tentang manajemen termal pada rem cakram menggunakan Finite Element Analysis (FEA) dan metode eksperimental lainnya. Temuan utama termasuk efektivitas desain ventilasi yang ditingkatkan, dampak sirip pendingin, dan peran bahan komposit dalam meningkatkan pembuangan panas. Studi ini juga meneliti pengaruh variasi desain geometris dan kondisi operasi pada kinerja termal. Hasilnya menyoroti bahwa bahan canggih seperti keramik, rotor berventilasi silang, dan sirip pendingin aktif secara signifikan meningkatkan efisiensi termal dan mengurangi risiko panas berlebih. Selain itu, teknik pemodelan matematika seperti model pemasangan Response Surface Methodology (RSM) dan Distance Weighted Least Squares (DWLS) memberikan wawasan berharga untuk mengoptimalkan sistem rem cakram. Tinjauan ini menggarisbawahi pentingnya strategi manajemen termal yang komprehensif untuk memastikan keamanan dan keandalan sistem pengereman dalam berbagai kondisi operasional. Penelitian di masa depan harus fokus pada mengatasi keterbatasan model FEA saat ini dan mengembangkan bahan dan desain rotor yang lebih efisien.

Kata Kunci: Sistem Pengereman, Manajemen termal, Analisis Elemen Hingga

PENDAHULUAN

Sistem pengereman adalah komponen penting dari kendaraan yang bertanggung jawab untuk memperlambat atau menghentikan kendaraan secara efektif dan aman (Ahangarnejad & Radmehr, 2021). Rem cakram, salah satu

jenis sistem pengereman yang paling umum, bekerja dengan menjepit rotor yang berputar menggunakan bantalan rem, menghasilkan gaya gesekan yang diperlukan untuk mengurangi kecepatan roda (Borse, 2019). Namun, proses pengereman ini menghasilkan panas

dalam jumlah besar yang jika tidak dikelola dengan baik, dapat menyebabkan berbagai masalah serius.

Pelepasan panas yang tidak memadai pada rem cakram dapat menyebabkan peningkatan suhu yang berlebihan, yang dikenal sebagai "panas berlebih" (Manjunath & Suresh, 2013). Panas berlebih dapat mengakibatkan berbagai masalah kritis seperti rem memudar, lengkungan rotor, kegagalan komponen, dan bahkan kegagalan sistem pengereman (Vdovin & Gigan, 2020). Statistik menunjukkan bahwa kegagalan sistem pengereman menyebabkan banyak kecelakaan kendaraan (Bohr et al., 2018). Hal ini menekankan pentingnya manajemen termal yang efektif dalam sistem pengereman untuk memastikan keselamatan pengemudi dan integritas kendaraan (Shajahan, 2021).

Panas berlebih yang tidak ditangani dengan baik dapat menyebabkan rem memudar, yaitu penurunan kemampuan rem untuk menghasilkan gesekan yang cukup karena pelunakan material bantalan rem pada suhu tinggi (Shang et al., 2022). Selain itu, panas berlebih dapat menyebabkan melengkung rotor, deformasi rotor karena ekspansi termal yang tidak merata (Y. Shi et al., 2023), mengakibatkan getaran dan penurunan efisiensi pengereman (L. B. Shi et al., 2018). Kerusakan pada komponen lain seperti retakan pada rotor dan bantalan rem juga dapat terjadi, meningkatkan risiko kegagalan sistem pengereman secara keseluruhan (Borawski, 2019).

Analisis Elemen Hingga (FEA) telah menjadi alat penting dalam mengatasi masalah ini dengan memungkinkan analisis mendalam mengenai distribusi suhu dan mekanisme pembuangan panas rem cakram (Tamatom et al., 2021). FEA memberikan kemampuan untuk mensimulasikan kondisi operasional yang kompleks dan memprediksi perilaku termal dengan akurasi tinggi (Pranoto et al., 2021).

Dengan menggunakan FEA, peneliti dan insinyur dapat mengidentifikasi area pada rem cakram yang rentan terhadap panas berlebih dan mengembangkan solusi desain yang lebih efektif untuk meningkatkan pembuangan panas dan mengurangi risiko kegagalan sistem pengereman (Park et al., 2022).

LANDASAN TEORI

Tinjauan literatur ini bertujuan untuk meninjau penelitian sebelumnya yang telah dilakukan tentang pelepasan panas pada rem cakram menggunakan FEA (Belhocine & Abdullah, 2020). Dengan meninjau berbagai metodologi, hasil, dan temuan dari penelitian ini (Snyder, 2019), Tinjauan ini diharapkan dapat memberikan wawasan mendalam tentang tantangan dan solusi dalam manajemen termal rem cakram (Hou et al., 2023), serta mengidentifikasi area yang memerlukan penelitian lebih lanjut untuk meningkatkan keselamatan dan efisiensi sistem pengereman kendaraan.

Studi ini akan berfokus pada: (1) analisis metodologi yang digunakan dalam penelitian FEA tentang rem cakram, (2) evaluasi hasil dan temuan utama, dan (3) identifikasi kesenjangan penelitian dan rekomendasi untuk penelitian di masa depan. Dengan demikian, penelitian ini berkontribusi pada pemahaman yang lebih baik tentang manajemen termal rem cakram dan menawarkan panduan untuk penelitian dan pengembangan lebih lanjut di bidang ini (Verma et al., 2016).

Struktur makalah ini disusun sebagai berikut: Bagian pertama akan membahas latar belakang dan pentingnya manajemen termal dalam sistem pengereman (Ibrahim & Jiang, 2021). Bagian kedua akan mengkaji metodologi FEA yang digunakan dalam penelitian sebelumnya (Guo et al., 2021). Bagian ketiga akan menyajikan hasil dan diskusi temuan utama, dan bagian keempat akan

diakhiri dengan rekomendasi untuk penelitian di masa depan.

METODE PENELITIAN

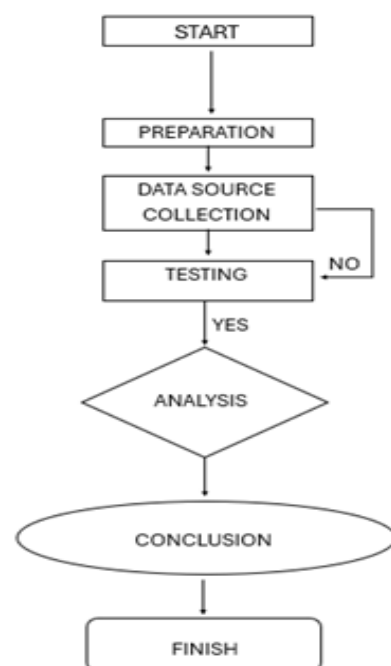
Penelitian ini merupakan tinjauan literatur yang mengulas studi sebelumnya tentang analisis pelepasan panas pada rem cakram kendaraan menggunakan Finite Element Analysis (FEA). Metode penelitian ini mencakup beberapa tahapan sesuai dengan diagram alir yang diberikan.

Penelitian diawali dengan perencanaan dan persiapan untuk melakukan tinjauan pustaka. Tahap pertama adalah melakukan tinjauan literatur yang meliputi identifikasi sumber, menetapkan kriteria seleksi, dan mengumpulkan data. Identifikasi sumber melibatkan pencarian jurnal, buku, dan makalah konferensi yang relevan. Kriteria seleksi ditetapkan berdasarkan tahun publikasi, kredibilitas sumber, dan relevansi dengan topik penelitian. Setelah menetapkan kriteria seleksi, literatur yang memenuhi syarat dikumpulkan dari database ilmiah seperti Google Scholar, IEEE Xplore, dan ScienceDirect.

Literatur yang telah diidentifikasi dan dipilih kemudian dikumpulkan untuk analisis lebih lanjut. Tahap selanjutnya adalah analisis kualitatif literatur yang telah dikumpulkan. Analisis ini meliputi evaluasi berbagai metodologi yang digunakan dalam penelitian sebelumnya untuk mengidentifikasi kekuatan dan kelemahan masing-masing pendekatan, mengevaluasi hasil dan temuan setiap penelitian untuk mengidentifikasi pola, persamaan, dan perbedaan distribusi suhu dan mekanisme pelepasan panas pada rem cakram, serta mengidentifikasi kelemahan dalam penelitian sebelumnya dan area yang memerlukan penelitian lebih lanjut.

Setelah analisis sumber data, langkah selanjutnya adalah pengolahan data yang mencakup integrasi hasil berbagai penelitian untuk menyusun

gambaran komprehensif pengelolaan termal rem cakram menggunakan FEA. Pada tahap ini, ditentukan apakah data yang telah diolah cukup untuk menarik kesimpulan. Jika data tidak memadai, proses kembali ke tahap pengumpulan sumber data untuk mencari literatur tambahan yang relevan. Jika data sudah memadai, penelitian dilanjutkan dengan menarik kesimpulan berdasarkan hasil analisis dan sintesis temuan dari literatur yang telah diteliti. Tahap akhir adalah penyusunan laporan literatur review yang meliputi pendahuluan, metodologi, analisis dan diskusi, kesimpulan, dan rekomendasi. Proses revisi dan penyuntingan dilakukan untuk memastikan bahwa laporan bebas kesalahan dan memenuhi standar akademik. Dengan metodologi ini, penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan mendalam tentang tantangan dan solusi dalam pengelolaan termal rem cakram menggunakan FEA, serta mengidentifikasi area yang memerlukan penelitian lebih lanjut untuk meningkatkan keselamatan dan efisiensi sistem pengereman kendaraan.



Gambar 1.
Flow Chart

HASIL PENELITIAN

Penelitian ini menemukan beberapa artikel terkait yang relevan dengan penelitian ini, dan dapat peneliti rangkum dalam 2 parameter utama yaitu kualitas bahan dan desain cakram. Hasilnya menyoroti bahwa bahan canggih seperti keramik, rotor berventilasi silang, dan sirip pendingin aktif secara signifikan meningkatkan efisiensi termal dan mengurangi risiko panas berlebih. Selain itu, teknik pemodelan matematika seperti model pemasangan Response Surface Methodology (RSM) dan Distance Weighted Least Squares (DWLS) memberikan wawasan berharga untuk mengoptimalkan sistem rem cakram.

PEMBAHASAN

Design Solid

Agrawal & Khairnar (2022) melakukan analisis termal rotor rem cakram padat dan menemukan bahwa laju pembuangan panas secara signifikan dipengaruhi oleh desain sistem rem. Penelitian mereka menyoroti bahwa selama pengereman, rem cakram padat mengalami penumpukan panas yang substansial (Naveed, 2019), yang dapat menyebabkan panas berlebih dan potensi rem memudar jika tidak dikelola dengan benar (Agrawal et al., 2024).

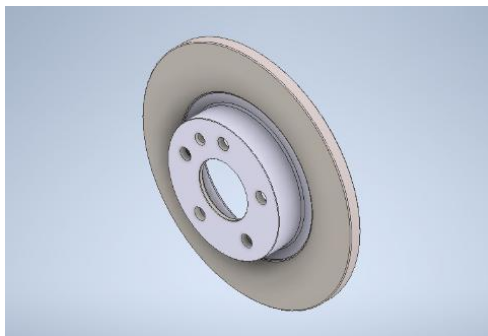
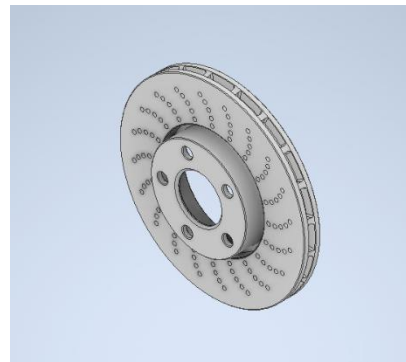


Figure.2
Desain yang solid

Desain Ventilasi

Menunjukkan bahwa rotor dengan desain ventilasi yang lebih baik menunjukkan distribusi suhu yang lebih seragam dan mengurangi risiko panas

berlebih. Studi ini menggunakan analisis termal melalui Analisis Elemen Hingga (FEA) untuk membandingkan desain ventilasi yang berbeda. Temuan ini menekankan pentingnya mengoptimalkan ventilasi rotor untuk meningkatkan kinerja termal dan keandalan rem cakram (Belhocine et al., 2021).



Gambar 3.
Desain Ventilasi

Sirip Pendingin dan Kondisi Pengereman

Zhang & Zhang (2019) menyelidiki efek penambahan sirip pendingin dan kecepatan kendaraan yang bervariasi dan gaya pengereman pada distribusi suhu rem cakram. Hasil eksperimen mereka menunjukkan bahwa sirip pendingin meningkatkan pembuangan panas hingga 20%. Selain itu, variasi kecepatan kendaraan dan gaya pengereman berdampak signifikan pada distribusi suhu. Temuan ini menyoroti perlunya strategi manajemen termal yang dapat disesuaikan dalam desain rem untuk memperhitungkan kondisi mengemudi yang berbeda (Yang et al., 2017).

Desain dan Bahan Geometris

C. Li & Yang (2023) Mengeksplorasi peran desain geometris rotor dan bahan bantalan rem dalam manajemen termal rem cakram menggunakan simulasi termal. Studi ini menemukan bahwa desain geometris rotor dan bahan yang digunakan untuk

bantalan rem sangat penting untuk manajemen termal yang efisien (Kulkarni & Mahale, 2020). Ini menunjukkan bahwa desain inovatif dan pemilihan material sangat penting untuk meningkatkan kinerja dan keamanan sistem pengereman (Czerwinski, 2021).

Validitas Hasil FEA

Belhocine & Abdullah (2020) melakukan analisis kritis terhadap validitas hasil FEA dalam analisis termal rem cakram. Tinjauan tersebut menyoroti bahwa beberapa penelitian tidak memperhitungkan efek lingkungan seperti kelembaban dan kondisi jalan, yang mengarah pada prediksi yang kurang akurat. Model FEA juga cenderung menyederhanakan kompleksitas material, yang selanjutnya dapat mengurangi akurasi prediksi termal. Ini menggarisbawahi perlunya model yang lebih komprehensif yang mempertimbangkan variabel yang lebih luas (Choudhry et al., 2022).

Bahan Komposit

Hong et al. (2021) melakukan eksperimen untuk mengevaluasi efek bahan komposit pada pembuangan panas pada rem cakram. Studi ini menemukan bahwa bahan komposit, seperti keramik, memiliki konduktivitas termal yang lebih baik daripada besi cor tradisional, yang membantu mengurangi risiko panas berlebih (Aranke et al., 2019). Temuan ini menunjukkan bahwa menggunakan bahan komposit canggih dapat meningkatkan kinerja termal rem cakram (W. Li et al., 2021).

7. Rotor Berventilasi Silang

Popescu et al. (2022) mempelajari efektivitas desain rotor berventilasi silang dalam pembuangan panas melalui pengujian eksperimental. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rotor berventilasi silang lebih efektif dalam menghilangkan panas dibandingkan dengan rotor padat

(Namirian et al., 2021). Ini menunjukkan bahwa menggabungkan ventilasi silang dalam desain rotor dapat secara signifikan meningkatkan manajemen termal.

Perbandingan Bahan

Melakukan analisis elemen hingga (FEA) menggunakan perangkat lunak ANSYS untuk membandingkan karakteristik pembuangan panas dari bahan Aluminium Metal Matrix Composite (AMMC) dan Grey Cast Iron (GCI). Studi ini menemukan bahwa bahan AMMC menunjukkan pembuangan panas yang lebih baik, dengan suhu maksimum 488K dibandingkan dengan 500K untuk GCI. Ini menunjukkan bahwa pemilihan material memainkan peran penting dalam mengelola perilaku termal rem cakram (W. Li et al., 2020).

Rem Cakram Keramik

Wang et al. (2022) membandingkan efisiensi termal rem cakram keramik dengan bahan konvensional melalui analisis eksperimental. Studi ini menemukan bahwa rem cakram keramik lebih ringan dan lebih tahan terhadap suhu tinggi dibandingkan dengan bahan tradisional (Hesse et al., 2021). Ini menunjukkan bahwa keramik dapat menawarkan peningkatan substansial dalam kinerja rem dan daya tahan.

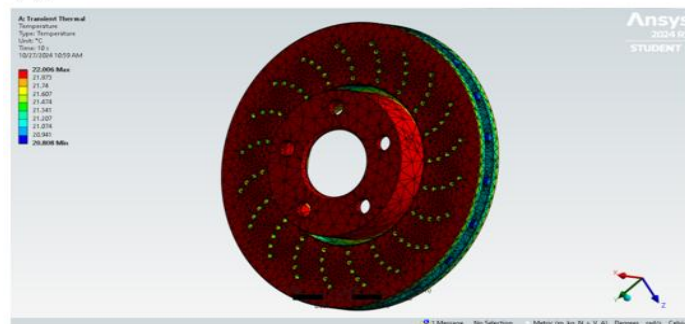
Kemajuan dalam Perangkat Lunak FEA

Ambroszko et al. (2024) Studi ini menemukan bahwa cakram rem dengan desain ventilasi yang lebih baik menunjukkan distribusi suhu yang lebih seragam dan mengurangi risiko panas berlebih. Cakram berventilasi yang ditunjukkan pada gambar 2(a) menunjukkan perbedaan suhu yang signifikan sekitar 88 derajat Celcius dibandingkan dengan cakram padat pada gambar 2(b) (Belhocine & Abdullah,

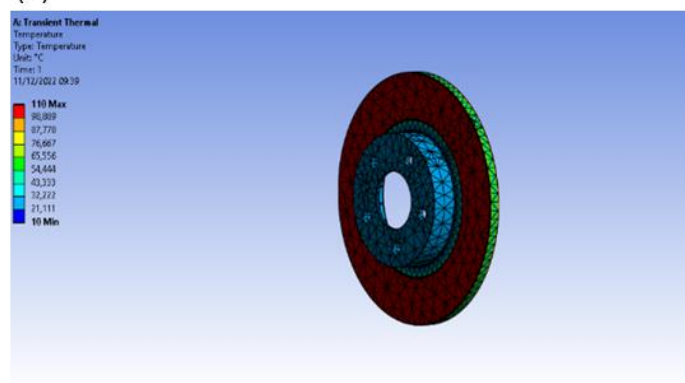
2020). Di antara bahan yang diuji, bahan komposit matriks logam aluminium (AlMMC) menunjukkan kinerja termal yang unggul, dengan cakram AlMMC

berventilasi menunjukkan kenaikan suhu paling sedikit selama pengereman (Shanker, 2018).

(a)



(b)



Gambar 4.

Cakram Berventilasi Termal Transien (A) dan Cakram Padat (B)

SIMPULAN

Tinjauan literatur ini menunjukkan bahwa Analisis Elemen Hingga (FEA) adalah alat yang sangat efektif untuk menganalisis pembuangan panas pada rem cakram. Penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa penggunaan material, desain, dan kondisi operasional sangat mempengaruhi manajemen termal rem cakram. Penggunaan bahan komposit seperti keramik dan serat karbon telah terbukti meningkatkan pelepasan panas dan mengurangi risiko panas berlebih dibandingkan dengan bahan konvensional seperti besi cor. Desain rotor dengan ventilasi silang atau sirip pendingin aktif juga dapat meningkatkan efisiensi pembuangan panas dan

menurunkan suhu pengoperasian rem cakram. Selain itu, kecepatan kendaraan dan gaya pengereman sangat memengaruhi jumlah panas yang dihasilkan, sehingga simulasi FEA dapat membantu mengoptimalkan desain rem cakram untuk berbagai kondisi operasional. Meskipun FEA memberikan prediksi yang akurat, beberapa penelitian menunjukkan bahwa model FEA harus mempertimbangkan efek lingkungan seperti kelembaban dan kondisi jalan agar hasilnya lebih realistis. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengatasi beberapa keterbatasan yang ditemukan dalam penelitian sebelumnya, terutama yang terkait dengan validasi model FEA terhadap kondisi operasi yang lebih realistis dan pengembangan

material dan desain rotor yang lebih efisien.

DAFTAR PUSTAKA

- Agrawal, V. K., & Khairnar, H. P. (2022). *Experimental & Analytical Investigation for Optimization of Disc Brake Heat Dissipation Using Cfd*. catalog.lib.kyushu-u.ac.jp. <https://catalog.lib.kyushu-u.ac.jp/ja/recordID/6625720/?repository=yes>
- Agrawal, V. K., Patil, L. N., Panwar, V. Agrawal, V. K., Patil, L. N., Panwar, V. S., Toke, L. K., Bogireddy, S. R., Chavan, K. V., ... & Bhople, N. R. (2025). Optimizing Ventilated Disk Brake Design for Enhanced Thermal Performance: An Analytical and Experimental Approach. *Multiscale and Multidisciplinary Modeling, Experiments and Design*, 8(4), 213.. <https://doi.org/10.1007/s41939-025-00797-0>
- Ahangarnejad, A. H., & Radmehr, A. (2021). A Review Of Vehicle Active Safety Control Methods: from Antilock Brakes to Semiautonomy. *Journal of Vibration and Control*. <https://doi.org/10.1177/1077546320948656>
- Ambroszko, W., Dudziński, W., & Walczak, S. (2024). Finite Element Method Analysis Application in Identifying The Causes of Brake Disc Failure. *Combustion Engines*. <http://www.combustion-engines.eu/pdf-176212-100294?filename=100294.pdf>
- Aranke, O., Algenaid, W., Awe, S., & Joshi, S. (2019). Coatings for Automotive Gray Cast Iron Brake Discs: A Review. *Coatings*. <https://www.mdpi.com/2079-6412/9/9/552>
- Belhocine, A., & Abdullah, O. I. (2020). Thermomechanical Model for The Analysis of Disc Brake Using The Finite Element Method in Frictional Contact. *Multiscale Science and Engineering*. <https://doi.org/10.1007/s42493-020-00033-6>
- Belhocine, A., Shinde, D., & Patil, R. (2021). Thermo-Mechanical Coupled Analysis Based Design of Ventilated Brake Disc Using Genetic Algorithm and Particle Swarm Optimization. *JMST Advances*. <https://doi.org/10.1007/s42791-021-00040-0>
- Bohr, E. N., Ukpaka, C. P., & Nkoi, B. (2018). Reliability Analysis of An Automobile Brake System to Enhance Performance. *International Journal of Production Engineering*. <https://doi.org/10.37628/ijpe.v4i2.746>
- Borawski, A. (2019). Common Methods in Analysing The Tribological Properties of Brake Pads and Discs—A Review. *Acta Mechanica et Automatica*. <https://doi.org/10.2478/ama-2019-0025>
- Borse, A. P. (2019). Design and Analysis of Brake Rotor (DISC). *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)* e-ISSN, 2395-0056. <https://www.academia.edu/download/60589651/IRJET-V6I85420190913-71371-1sonwjp.pdf>
- Choudhry, J., Larsson, R., & Almqvist, A. (2022). A Stress-State-Dependent Thermo-Mechanical Wear Model for Micro-Scale Contacts. *Lubricants*. <https://www.mdpi.com/2075-4442/10/9/223>
- Czerwinski, F. (2021). Current Trends in Automotive Lightweighting Strategies and Materials. *Materials*. <https://www.mdpi.com/1996-1944/14/21/6631>
- Guo, Q., Yao, W., Li, W., & Gupta, N. (2021). Constitutive models for the structural analysis of composite

- materials for the finite element analysis: A review of recent practices. *Composite Structures*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263822320331937>
- Hesse, D., Hamatschek, C., Augsburg, K., Weigelt, T., & ... (2021). Testing of Alternative Disc Brakes and Friction Materials Regarding Brake Wear Particle Emissions and Temperature Behavior. *Atmosphere*. <https://www.mdpi.com/2073-4433/12/4/436>
- Hong, H., Kim, G., Lee, H., Kim, J., Lee, D., Kim, M., & ... (2021). Optimal Location of Brake Pad For Reduction of Temperature Deviation on Brake Disc During High-Energy Braking. *Journal of Mechanical Science and Technology*. <https://doi.org/10.1007/s12206-021-0224-x>
- Hou, Z., Lee, C. K. M., Lv, Y., & Keung, K. L. (2023). Fault Detection and Diagnosis of Air Brake System: A Systematic Review. *Journal of Manufacturing Systems*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278612523001553>
- Ibrahim, A., & Jiang, F. (2021). The Electric Vehicle Energy Management: An Overview of The Energy System and Related Modeling and Simulation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032121003397>
- Kulkarni, A. R., & Mahale, R. (2020). Impact of Design Factors of Disc Brake Rotor on Braking Performance. *Int J Eng Res Technol*. [https://www.researchgate.net/profile/Rohan-Mahale-3/publication/342610869_Impact_of_Design_Factors_of_Disc_Brake](https://www.researchgate.net/profile/Rohan-Mahale-3/publication/342610869_Impact_of_Design_Factors_of_Disc_Brake_Rotor_on_Braking_Performance/links/5efccfeb92851c52d60ceb1f/Impact-of-Design-Factors-of-Disc-Brake-Rotor-on-Braking-Performance.pdf)
- Li, C., & Yang, H. I. (2023). Optimized Shape For Improved Cooling of Ventilated Discs. *Alexandria Engineering Journal*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110016823007202>
- Namirian, Z., Mathure, S., Thorat, B., & Khetree, S. (2021). Modeling and Wind Flow Analysis of an Eiffel (Open) Type Sub-Sonic Wind Tunnel. *Glob. J. Res. Eng.* [https://www.researchgate.net/profile/Zelieus-Namirian/publication/](https://www.researchgate.net/profile/Zelieus-Namirian/publication/342610869_Design_and_Analysis_of_a_Disc_Brake_Rotor_for_Optimal_Performance_in_Racing/links/5efccfeb92851c52d60ceb1f/Design-and-Analysis-of-a-Disc-Brake-Rotor-for-Optimal-Performance-in-Racing.pdf)
- Naveed, N. (2019). Design and Analysis of a Disc Brake Rotor for Optimal Performance in Racing. *World Journal of Modelling and Simulation*. <http://sure.sunderland.ac.uk/id/eprint/10950/>
- Park, S., Lee, K., Kim, S., & Kim, J. (2022). Brake-disc Holes And Slit Shape Design to Improve Heat Dissipation Performance and Structural Stability. *Applied Sciences*. <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/3/1171>
- Popescu, F. D., Radu, S. M., Andraş, A., Brînaş, I., Budilică, D. I., & ... (2022). Comparative Analysis of Mine Shaft Hoisting Systems' Brake Temperature Using Finite Element Analysis (FEA). *Materials*. <https://www.mdpi.com/1996-1944/15/9/3363>
- Pranoto, H., Fitri, M., & Sudarma, A. F. (2021). Analisis Statik Pelat Penyambung pada Ladder Frame Chassis untuk Kendaraan Pedesaan dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Rotasi*. <https://ejournal.undip.ac.id/index.php/rotasi/article/view/34024>

- Shajahan, M. A. (2021). Next-Generation Automotive Electronics: Advancements in Electric Vehicle Powertrain Control. *Digitalization & Sustainability Review*. <https://www.researchgate.net/profile/Mohamed-Shajahan-6/publication/380719328>
- Shang, X., Yu, K., Zuo, X., & Yang, H. (2022). Low Wear Braking Material with High Friction Coefficient. *Tribology International*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301679X22001815>
- Shanker, P. S. (2018). A Review on Properties of Conventional and Metal Matrix Composite Materials in Manufacturing of Disc Brake. *Materials Today: Proceedings*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785317331723>
- Shi, L. B., Wang, F., Ma, L., Liu, Q. Y., Guo, J., & Wang, W. J. (2018). Study of The Friction and Vibration Characteristics of The Braking Disc/Pad Interface Under Dry and Wet Conditions. *Tribology International*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301679X18303402>
- Shi, Y., Ding, S., Liu, P., Qiu, T., Liu, C., Qiu, C., & Ye, D. (2023). Swirl Flow and Heat Transfer in A Rotor-Stator Cavity With Consideration of The Inlet Seal Thermal Deformation Effect. *Aerospace*. <https://www.mdpi.com/2226-4310/10/2/134>
- Snyder, H. (2019). Literature Review As A Research Methodology: An Overview and Guidelines. *Journal of Business Research*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0148296319304564>
- Tamatam, L. R., Zucca, S., & Botto, D. (2021). Effect of Wear on The Dynamics of Structures with Friction Contacts. *Politecnico Di Torino*. <https://www.researchgate.net/profile/Lakshminarayana-Tamatam/publication/356194650>
- Vdovin, A., & Gigan, G. Le. (2020). Aerodynamic and Thermal Modelling of Disc Brakes—challenges and limitations. *Energies*. <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/1/203>
- Verma, P. C., Ciudin, R., Bonfanti, A., Aswath, P., Straffellini, G., & ... (2016). Role of The Friction Layer in The High-Temperature Pin-On-Disc Study of A Brake Material. *Wear*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043164815004792>
- Wang, H., Li, B., & Xuan, F. Z. (2022). A Dimensionally Augmented and Physics-Informed Machine Learning for Quality Prediction of Additively Manufactured High-Entropy Alloy. *Journal of Materials Processing Technology*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924013622001492>
- Yang, C., Du, S., Li, L., You, S., Yang, Y., & Zhao, Y. (2017). Adaptive Real-Time Optimal Energy Management Strategy Based on Equivalent Factors Optimization for Plug-In Hybrid Electric Vehicle. *Applied Energy*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261917308474>
- Zhang, S., & Zhang, J. (2019). Effect of Heat Transfer Optimization on Brake Noise Characteristics of Automotive Disc Brake. *Journal of Vibroengineering*. <https://www.extrica.com/article/20247>