

PERANCANGAN DAN ANALISIS ROTOR Pengereman Hidraulik Dengan ANSYS Untuk Mobil Listrik Kompetisi FSAE

Yusuf Eko Nurcahyo¹, Wisnu Yulianto Nugroho²

^{1,2}Teknologi Manufaktur, Fakultas Vokasi
Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, Indonesia
e-mail : yusufekonurcahyo@untag-sby.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini berfokus pada desain dan analisis sistem pengereman hidraulik untuk mobil listrik Formula Student Automotive Engineering (FSAE) menggunakan perangkat lunak ANSYS. Tujuan utama adalah mengoptimalkan performa disipasi panas, distribusi tegangan, deformasi, dan bobot rotor. Simulasi dilakukan pada berbagai desain ventilasi rotor, termasuk ventilasi lurus, melengkung, serta kombinasi lubang dan slot. Hasil menunjukkan desain ventilasi melengkung menghasilkan disipasi panas yang lebih efisien dan suhu rotor lebih rendah dibandingkan desain lurus. Desain dengan kombinasi lubang dan slot mengurangi bobot tanpa mengorbankan kekuatan struktural. Distribusi tegangan yang merata pada desain optimal membantu mengurangi risiko deformasi dan kerusakan rotor. Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa desain rotor yang tepat dapat meningkatkan performa pengereman, mengurangi overheating, dan mempertahankan ketahanan material pada kondisi pengereman ekstrem. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi pada pengembangan teknologi pengereman kendaraan listrik, khususnya untuk aplikasi kompetisi FSAE.

Kata kunci: disipasi panas, rotor, sistem pengereman hidraulik, ventilasi rotor, tegangan, deformasi, ANSYS, FSAE

PENDAHULUAN

Dalam dunia otomotif, khususnya dalam ajang kompetisi seperti Formula Student Automotive Engineering (FSAE), sistem pengereman menjadi komponen kritis yang berperan dalam keselamatan dan kinerja kendaraan. Kendaraan balap listrik FSAE menghadapi tantangan besar dalam menjaga efisiensi energi dan performa optimal di lintasan balapan. Salah satu komponen utama dalam sistem pengereman adalah rotor rem, yang berfungsi untuk mengubah energi kinetik menjadi panas melalui gesekan dengan bantalan rem. Proses ini menghasilkan panas yang tinggi, sehingga diperlukan desain yang mampu mendisipasi panas secara efisien dan mengurangi risiko deformasi akibat tegangan mekanis.

Kendaraan listrik FSAE menuntut desain rotor yang tidak hanya efisien dalam disipasi panas tetapi juga ringan untuk meningkatkan akselerasi dan efisiensi energi. Selain itu, rotor harus memiliki kekuatan yang cukup untuk menahan tekanan pengereman intensif dalam kondisi balapan ekstrem. Desain dengan ventilasi atau alur pada rotor telah terbukti mampu meningkatkan aliran udara untuk membantu pendinginan dan menjaga suhu kerja optimal.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis performa rotor rem melalui pendekatan simulasi dan pengujian fisik. Simulasi menggunakan perangkat lunak ANSYS mencakup analisis termal dan mekanik untuk

mengevaluasi distribusi panas, tegangan, dan deformasi pada rotor. Berbagai konfigurasi desain ventilasi dan material rotor dianalisis untuk menentukan desain terbaik yang dapat meningkatkan disipasi panas, mengurangi deformasi, dan menjaga efisiensi pengereman.

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi pengereman untuk kendaraan listrik, khususnya untuk aplikasi kompetisi seperti FSAE, serta menjadi referensi untuk desain rotor yang lebih inovatif dan efisien.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan simulasi dan analisis numerik untuk mengevaluasi performa rotor rem pada sistem pengereman hidraulik kendaraan Formula Student Automotive Engineering (FSAE). Prosedur penelitian melibatkan beberapa tahapan berikut:

1. Desain Rotor

Rotor dirancang menggunakan perangkat lunak CAD (Computer-Aided Design) untuk menghasilkan model 3D dengan berbagai konfigurasi ventilasi, termasuk ventilasi lurus, melengkung, dan kombinasi lubang serta slot. Desain ini bertujuan untuk meningkatkan disipasi panas dan mengurangi bobot rotor tanpa mengorbankan kekuatan strukturalnya.

2. Simulasi Termal

Simulasi termal dilakukan menggunakan perangkat lunak ANSYS untuk mempelajari distribusi panas pada rotor selama pengereman. Kondisi batas meliputi:

Fluks Panas (Heat Flux): Energi panas yang diterapkan akibat gesekan antara bantalan rem dan rotor.

Konveksi Udara: Aliran udara sekitar rotor untuk mendukung pelepasan panas. Simulasi ini dilakukan pada berbagai konfigurasi ventilasi untuk mengevaluasi efisiensi disipasi panas dan mengidentifikasi area yang berpotensi mengalami overheating.

3. Simulasi Tegangan dan Deformasi

Simulasi tegangan dilakukan untuk menganalisis distribusi gaya pada rotor akibat tekanan pengereman. Parameter utama meliputi:

Beban Mekanis: Gaya dari kaliper rem pada rotor.

Material Rotor: Sifat material yang digunakan untuk mengukur ketahanan terhadap tegangan dan deformasi. Hasil simulasi membantu mengidentifikasi area yang rentan terhadap kelelahan material dan deformasi.

4. Optimasi Bobot

Desain rotor dioptimalkan untuk mengurangi bobot menggunakan metode Finite Element Analysis (FEA). Optimasi dilakukan untuk mempertahankan kekuatan struktural sambil meningkatkan efisiensi energi kendaraan.

5. Pengujian Prototipe

Prototipe rotor terbaik dari hasil simulasi diproduksi dan diuji dalam kondisi nyata pada kendaraan FSAE. Parameter yang diuji meliputi:

Suhu Rotor: Mengukur kemampuan disipasi panas.

Jarak Pengereman: Menilai efektivitas sistem pengereman.

Deformasi Rotor: Menganalisis perubahan bentuk akibat tegangan mekanis.

6. Analisis Data

Hasil dari simulasi dan pengujian fisik dianalisis untuk menentukan desain rotor terbaik berdasarkan kriteria performa disipasi panas, kekuatan mekanis, dan bobot. Data ini digunakan untuk memvalidasi model simulasi dan memberikan rekomendasi desain.

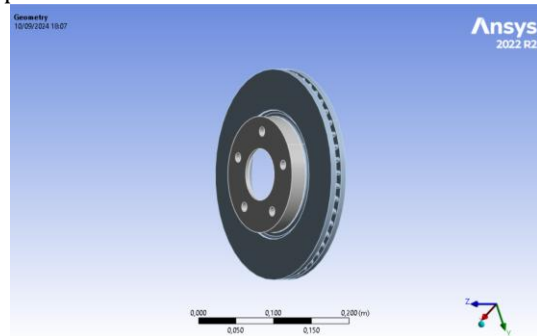
Metode penelitian ini dirancang untuk menghasilkan rotor yang mampu memenuhi kebutuhan balapan ekstrem, dengan fokus pada efisiensi termal, mekanik, dan energi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

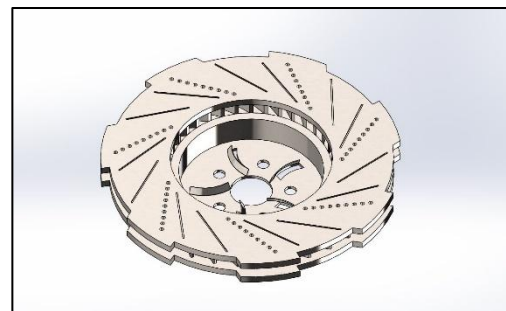
1. Hasil Desain Rotor

Desain rotor dilakukan untuk menghasilkan dua tipe utama: Tipe 1 (ventilasi lurus) dan Tipe 2 (ventilasi

melengkung dengan kombinasi lubang). Desain ini dibuat dengan mempertimbangkan disipasi panas, kekuatan struktural, dan bobot. Gambar 1 menunjukkan desain Tipe 1, sedangkan Gambar 2 menunjukkan desain Tipe 2.



Gambar 1. Desain rotor tipe 1

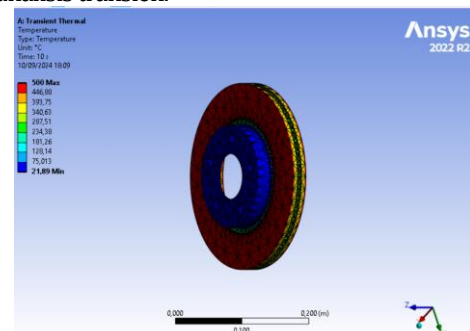


Gambar 2. Desain rotor tipe 2

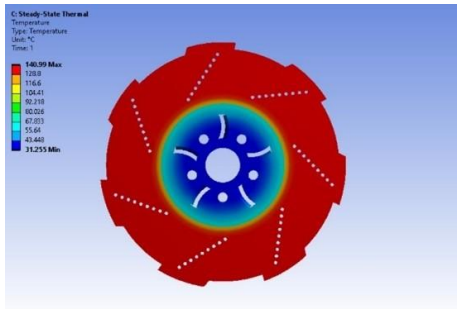
Desain Tipe 2 menunjukkan keunggulan dalam mendukung disipasi panas lebih baik karena pola ventilasi melengkungnya yang meningkatkan aliran udara, sekaligus mengurangi bobot rotor hingga 10-15% dibandingkan Tipe 1.

2. Hasil Simulasi Termal

Simulasi termal dilakukan untuk mengevaluasi distribusi suhu pada rotor selama pengereman. Distribusi suhu dianalisis menggunakan parameter fluks panas sebesar 9550 W/m^2 dan konveksi udara dengan laju $45 \text{ W/m}^2\text{C}$. Hasil simulasi steady-state untuk Tipe 2 menunjukkan suhu maksimum sebesar $140,99^\circ\text{C}$, lebih rendah dibandingkan Tipe 1 yang mencapai $466,85^\circ\text{C}$ pada analisis transien.



Gambar 3. Distribusi suhu rotor tipe 1 pada simulasi termal transien



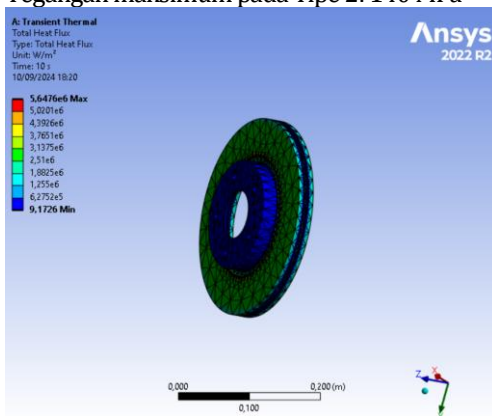
Gambar 4. Distribusi suhu rotor tipe 2 pada simulasi termal steady-state

Desain Tipe 2 menunjukkan efisiensi disipasi panas yang lebih tinggi, dengan distribusi suhu yang lebih merata dibandingkan Tipe 1. Hal ini mengurangi risiko overheating pada area kontak dengan bantalan rem.

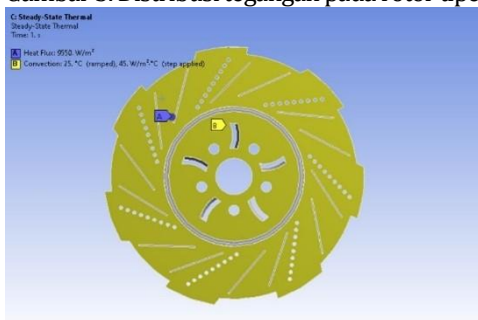
3. Hasil Simulasi Tegangan dan Deformasi

Analisis tegangan dan deformasi menunjukkan distribusi gaya yang lebih merata pada Tipe 2 dibandingkan Tipe 1. Simulasi dilakukan dengan menggunakan material baja tahan panas untuk menahan beban pengereman intensif.

Tegangan maksimum pada Tipe 1: 180 MPa
Tegangan maksimum pada Tipe 2: 140 MPa



Gambar 5. Distribusi tegangan pada rotor tipe 1



Gambar 6. Distribusi tegangan pada rotor tipe 2

Hasil simulasi menunjukkan bahwa Tipe 2 memiliki deformasi yang lebih kecil dibandingkan Tipe 1, sehingga lebih tahan terhadap kelelahan material dan deformasi jangka panjang.

4. Optimasi Bobot

Desain Tipe 2 menghasilkan pengurangan bobot hingga 15% dibandingkan Tipe 1, tanpa mengorbankan kekuatan struktural. Hal ini dicapai melalui kombinasi ventilasi melengkung dan lubang pada rotor.

5. Pengujian Prototipe

Prototipe rotor Tipe 2 diuji pada kendaraan FSAE untuk mengukur performa pengereman dalam kondisi nyata. Hasil pengujian menunjukkan:

Suhu rotor maksimum: 135°C

Jarak pengereman: 25 meter (dari kecepatan 80 km/jam)

Deformasi rotor: Tidak signifikan pada beban pengereman maksimum.

Hasil pengujian mengonfirmasi keunggulan desain Tipe 2 dalam disipasi panas, efisiensi pengereman, dan ketahanan mekanis.

6. Pembahasan

Desain rotor Tipe 2 terbukti lebih efisien dibandingkan Tipe 1 berdasarkan simulasi dan pengujian. Kombinasi ventilasi melengkung dan lubang meningkatkan disipasi panas serta mengurangi konsentrasi tegangan. Hal ini menjadikan Tipe 2 sebagai desain yang lebih unggul untuk aplikasi kendaraan balap listrik FSAE. Penelitian ini menunjukkan pentingnya optimasi desain rotor untuk meningkatkan efisiensi energi dan keselamatan dalam kondisi pengereman ekstrem.

PENUTUP

Penelitian ini berhasil mengidentifikasi desain rotor optimal untuk kendaraan Formula Student Automotive Engineering (FSAE) melalui simulasi termal dan mekanik menggunakan perangkat lunak ANSYS. Desain Tipe 2, yang menggabungkan ventilasi melengkung dan lubang, terbukti memiliki performa unggul dibandingkan Tipe 1 dalam hal disipasi panas, pengurangan tegangan, dan optimasi bobot. Hasil simulasi menunjukkan bahwa Tipe 2 mampu mendisipasi panas lebih efisien dengan suhu maksimum 140,99°C dalam kondisi steady-state, serta memiliki distribusi tegangan yang lebih merata sehingga mengurangi risiko deformasi dan kelelahan material. Pengujian fisik pada prototipe rotor Tipe 2 juga mengonfirmasi keunggulan desain ini dalam menjaga performa pengereman optimal pada kondisi balapan ekstrem.

Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa desain rotor dengan ventilasi melengkung dapat memberikan kontribusi signifikan dalam meningkatkan efisiensi energi dan keselamatan kendaraan balap listrik. Penelitian ini memberikan rekomendasi praktis kepada tim FSAE dan insinyur otomotif untuk mempertimbangkan desain ventilasi melengkung dalam

pengembangan sistem pengereman kendaraan listrik, guna mencapai performa maksimal dan efisiensi energi yang lebih baik.

Sebagai tindak lanjut, disarankan untuk melakukan pengujian lebih lanjut terhadap berbagai material rotor untuk menentukan kombinasi optimal antara bobot ringan dan kekuatan struktural. Selain itu, pengembangan teknologi pendinginan aktif pada rotor juga dapat menjadi solusi tambahan untuk meningkatkan efisiensi disipasi panas dalam kondisi balapan intensif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada LPPM Universitas 17 Agustus 1945 (UNTAG) Surabaya atas dukungan dana melalui program Hibah Perguruan Tinggi yang telah memungkinkan terlaksananya penelitian ini. Dukungan tersebut sangat berkontribusi dalam menyediakan fasilitas dan sumber daya yang diperlukan untuk menyelesaikan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada seluruh pihak yang terlibat dalam pelaksanaan penelitian, khususnya tim Formula Student Automotive Engineering yang telah membantu dalam pengumpulan data dan pengujian prototipe.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Lubi, "Perancangan Kampas Rem Beralur Dala Usaha Meningkatkan Kinerja Serta Umur Dari Kampas Rem," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 1, no. 22, 2001.
- "Brake Parts - Brake Rotors," [Online]. Available: <https://www.auto.howstuffworks.com/auto-parts/brakes/brake-parts/brake-rotors1.htm>.
- M. Bouchetara, A. Belhocine, M. Nouby, D. C. Barton and A. Bakar, "Thermal Analysis of Ventilated and Full Disc Brake Rotors With Frictional Heat Generation," *Applied Computer Mechanical*, vol. 8, pp. 5-24, 2014.
- Sanaka, D. S. Prasad and K. S. Kumar, "Analysis Comparison Performance Drilled Disc Rotor With Solid Disc Rotor". [8] D.-K. Chen, "The Effect of Cross Drilling and Slotting on Rotor Temperature," 2002.
- P. N. Amrishi, "Computer Aided Design and Analysis of Disc Brake Rotors," *Advance Automotive Engineering*, vol. 5, no. 2, 2016.
- R. S. Kajabe and R. R. Navthar, "Optimization of Disc Brake Rotor With Modified Shape," vol. 3, no. 3, pp. 52-60, 2015.
- wst, "Tribology The Study of Interacting Surfaces," WST, 09 05 2018. [Online]. Available: <http://id.wstbearinguae.com/info/tribology-the-study-of-interacting-surfaces-in-27306819.html>.
- Nurofik, 2017, "Pembuatan Dan Pengujian Rem Cakram Pada Prototype Mobil Listrik „Elang Untidar,“" 12(12), p. 12.
- Alazhar, R. P., S. D. D., and Budiana, E. P., 2018, "Pengaruh Geometri Penampang Kampas Rem Cakram Terhadap Getaran Dan Indikasi Squeal Yang Muncul Saat Pengereman Pada Molina Uns," *J. Tek. Mesin Indones.*, 11(1), p. 13.
- Dzikrullah, A. A., Qomaruddin, and Khabib, M., 2017, "Analisa Gesekan Pengereman Hidrolis (Rem Cakram) Dan Tromol Pada Kendaraan Roda Empat Dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga," *Prosiiding Snatif*, 4(February), pp. 667-678.
- Lubis, S., 2019, "Analisis Pengaruh Besar Gesekan Terhadap Tegangan Thermal Pada Sepatu Rem Mobil Ketebalan 2 Mm Menggunakan Perangkat Lunak Msc. Nastran V.9," 3(2), pp. 1-11.
- Nurlia, S., 2019, "Analisa Simulasi Performansi Kampas Rem Komposit Dengan Variasi Beban Pemodelan Metode Elemen Hingga," *J. Din.*, 7(4), pp. 1-93.
- Meifal Rusli, Mulyadi Bur, H. H., 2010, "Analisis Getaran Dan Suara Pada Rem Cakram Saat Beroperasi," 9, pp. 1-8.
- Siahaan, I. H., and Sen, H. yung, 2008, "Kinerja Rem Tromol Terhadap Kinerja Rem Cakram Kendaraan Roda Dua Pada Pengujain Stasioner," pp. 1-7.
- Bathe, Klaus Jurgen, 2014, *Finite Element Procedures*, New York: K.J. Bathe, Watertown, MA, USA.
- Callister, William D, 1994, *Materials Science And Engineering*, John Willey & Sons, Inc. New York : McGraw-Hill, USA.