

## ANALISIS TEGANGAN *FRICTION BLOCK* KERETA API CEPAT DENGAN BENTUK *CIRCULAR* MENGGUNAKAN *FINITE ELEMENT METHOD*

\*Aldian Dwi Pangestu<sup>1</sup>, Ojo Kurdi<sup>2</sup> Achmad Widodo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

\*E-mail: [aldian2198@gmail.com](mailto:aldian2198@gmail.com)

### Abstrak

Analisis tegangan pada friction block kereta api kecepatan tinggi dilakukan menggunakan Finite Element Method, baik dalam kondisi statik maupun transient. Studi ini memberikan wawasan penting untuk pengembangan dan keamanan sistem pengereman kereta api kecepatan tinggi. Simulasi statik menunjukkan deformasi keseluruhan yang aman, namun ujung atas friction block mencapai batas deformasi maksimum 0,39131 mm, berpotensi menyebabkan kerusakan struktural. Shear stress secara umum memadai dan memberikan hasil yang optimal. Safety factor secara umum memadai, kecuali pada dekat permukaan ass disc brake. Simulasi thermal statik menunjukkan peningkatan temperatur pada bagian bawah disc brake hingga 24,99°C, sementara disc brake mengalami penurunan yang tidak signifikan. Simulasi transient dengan kondisi berputar mengungkapkan deformasi minimum pada friction block, tetapi disc brake mencapai deformasi maksimum, menandakan batas elastisitas tercapai. Shear stress menunjukkan nilai yang optimal, namun perlu perhatian pada area disekitar permukaan ass disc brake. Safety factor menunjukkan keamanan struktural keseluruhan, tetapi perlu perhatian terhadap deformasi maksimum pada disc brake. Simulasi thermal transient menunjukkan peningkatan temperatur di sekitar ass disc brake, tetapi friction block tetap pada temperatur minimum.

**Kata kunci:** *finite element method; friction block; sistem pengereman; tegangan*

### Abstract

*The stress analysis of the high-speed train's friction block was conducted using the Finite Element Method, both in static and transient conditions. This study provides crucial insights for the development and safety of high-speed train braking systems. Static simulations reveal overall deformation within safe limits, yet the top of the friction block reaches a maximum deformation of 0.39131 mm, posing potential structural damage. Shear stress is generally adequate, yielding optimal results. The safety factor is generally satisfactory, except near the surface of the disc brake assembly. Thermal static simulations show an increase in temperature at the bottom of the disc brake up to 24.99°C, while the disc brake experiences insignificant decreases. Transient simulations with rotational conditions reveal minimal deformation in the friction block, but the disc brake reaches a maximum deformation, indicating the elastic limit is reached. Shear stress shows optimal values, with attention needed in the areas around the disc brake assembly surface. The safety factor indicates overall structural safety, but attention is required regarding the maximum deformation in the disc brake. Thermal transient simulations indicate a temperature increase around the disc brake assembly, while the friction block maintains a minimum temperature.*

**Keywords:** *braking system; finite element method; friction block; stress*

### 1. Pendahuluan

Sistem pengereman menjadi salah satu faktor yang berpengaruh penting dalam kedua hal tersebut, kereta api yang bergerak mengandung energi kinetik dan pengereman berfungsi mengkonversikan energi tersebut dengan mengubah kecepatan menjadi harga nol, sehingga kereta api dapat berhenti [1] Isu utama terkait keselamatan di bidang perkeretaapian adalah kurangnya kelaikan kondisi sarana dan prasarana yang antara lain meliputi sarana kereta, prasarana rel, sistem persinyalan, telekomunikasi dan listrik kereta api. Kecelakaan yang terjadi pada kereta api dipengaruhi oleh banyak faktor dan salah satunya diakibatkan oleh sistem pengereman. [2]

Pengereman kereta api kecepatan tinggi terutama dilakukan dengan gesekan bantalan rem dan cakram, yang dapat menghabiskan energi kinetik dalam jumlah besar. Harus dipastikan bahwa kereta api dapat berhenti dalam jarak yang ditentukan untuk menjamin keselamatan pengoperasian kereta api. Dalam pola rem gesek kereta kecepatan tinggi, frekuensi tinggi dan intensitas tinggi biasanya terjadi pada antarmuka rem. Fenomena ini menjadi

sangat menonjol dengan pesatnya perkembangan kecepatan operasi dan peningkatan periode operasi dan jarak kereta api berkecepatan tinggi. [3]

Meskipun sistem rem kereta kecepatan tinggi mengadopsi metode rem cakram yang mirip dengan yang digunakan pada mobil, namun bobot, kecepatan pengoperasian, dan daya pengereman kereta kecepatan tinggi jauh lebih tinggi daripada mobil. Karakteristik ini mengakibatkan energi kinetik yang dikonsumsi oleh sistem rem pada kereta berkecepatan tinggi jauh lebih banyak dibandingkan pada mobil, yang juga membuat tegangan pada permukaan cakram dapat mencapai 600 °C [4] Ketangguhan bahan dibutuhkan untuk mematahkan sebuah bahan dalam ukuran energi. Bahan yang memiliki sifat ulet ini akan memerlukan energi perpatahan yang jauh lebih besar serta mempunyai sifat yang tangguh sehingga lebih baik daripada bahan yang sifatnya getas dengan memiliki kekuatan bahan yang sama. [5]

Pengereman adalah suatu proses memperlambat gerakan roda dengan jalan mengkonversi energi kinetik/ gaya ke dalam bentuk lain. Dengan gerakan roda yang diperlambat, maka secara otomatis gerak suatu benda menjadi lambat bahkan berhenti [6] Tegangan adalah reaksi yang timbul di seluruh bagian spesimen dalam menahan beban yang diberikan. Metode yang digunakan untuk memprediksi respon struktur akibat beban dan kerentanannya terhadap berbagai mode kegagalan memperhitungkan sifat bahan seperti yield strength, kekuatan maksimum, modulus young, dan poisson ratio. [7]

*Computer Aided Engineering* (CAE) adalah penggunaan perangkat lunak komputer untuk mensimulasikan kinerja guna meningkatkan desain produk atau membantu penyelesaian masalah teknik untuk berbagai industri termasuk simulasi, validasi dan optimalisasi produk, proses, dan alat manufaktur [8] *Finite Element* adalah salah satu dari metode numerik yang memanfaatkan operasi matriks untuk menyelesaikan masalah-masalah fisik. Teori metode elemen hingga ditemukan dalam kalkulus variasional, dan dasar matematisnya memungkinkannya dikembangkan dalam waktu yang sangat singkat. [9]

Metode elemen hingga adalah metode numerik yang dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan getaran mekanis dan struktural yang kompleks. Dalam metode ini, struktur benda digantikan oleh beberapa bagian atau elemen, yang masing-masing diasumsikan berperilaku sebagai anggota struktural kontinu yang disebut elemen hingga. [10]

## 2. Bahan dan Metode Penelitian

Pada penelitian ini digunakan pemodelan dalam bentuk CAD agar kemudian dapat disimulasikan dalam aplikasi Ansys 2023 RI.

### Pra Simulasi

Simulasi dilakukan untuk mengetahui tegangan yang terjadi pada model friction block tersebut. Pada penelitian ini digunakan software finite elemen method (FEM) Ansys 2023 RI untuk melakukan simulasi pada model friction block. Terdapat beberapa langkah pra-simulasi yang harus dilakukan sebelum memulai simulasi analisis, diantaranya sebagai berikut:

### Input Geometri

Proses input geometri rangka yang terdiri dari friction block dan disc brake dalam bentuk CAD menggunakan software Ansys Space Claim 2023 R1. Untuk dimensi friction block dan disc brake.

### Input Data Material

Proses input data adalah proses memasukkan properties mekanik material seperti yield strength, ductile strength, dan lain-lainnya. Pada Tabel 3.2 dapat dilihat menunjukkan sifat material yang digunakan pada simulasi untuk model pengereman kereta api.

### Meshing

Proses meshing pada friction block dilakukan menggunakan model unstructured mesh yang terdiri dari elemen-elemen diskrit yang saling terhubung secara acak. Penggunaan unstructured mesh dikarenakan adaptasi dan fleksibilitas terhadap berbagai geometri yang kompleks, khususnya permukaan lengkung pada friction block.

## 3. Hasil dan Pembahasan

### Analisis Statik Pembebanan Internal

Simulasi ini mengoperasikan asumsi bahwa friction block berada dalam kondisi diam. Warna merah merepresentasikan pemberian tekanan sebesar 100 MPa kepada permukaan atas friction block. Sementara, warna biru menunjukkan adanya fixed support yang diberikan pada permukaan ass dari disk brake.

### Deformasi

Hasil simulasi dengan nilai sebesar 0 mm. Indikasi deformasi rendah ini mengisyaratkan kekurangan fleksibilitas pada permukaan bawah disc brake yang dapat mengakibatkan kerusakan atau retak dengan beban

berlebihan. Sebagai akibatnya, muncul permasalahan terkait penurunan kemampuan sistem pengereman dalam menghasilkan gaya gesekan yang cukup untuk menghentikan pergerakan kereta api.

### Shear Stress

Hasil simulasi shear stress pada kondisi simulasi statik dapat diamati pada Gambar 4.3. Terlihat bahwa disc brake dan friction block menunjukkan nilai shear stress yang memadai, ditandai dengan dominasi warna hijau pada keseluruhan permukaan. Warna hijau merepresentasikan rentang shear stress antara -26,15 MPa hingga 15,846 MPa.

### Safety Factor

Hasil simulasi safety factor pada friction block, di mana variasi warna mencerminkan perbedaan nilai safety factor. Warna biru mengindikasikan rentang nilai safety factor maksimum antara 10 hingga 15 pada sisi samping permukaan bawah dan ujung permukaan atas disc brake. Sementara itu, warna hijau mencerminkan rentang nilai safety factor antara 5 hingga 10 pada sisi samping permukaan disc brake. Setengah permukaan atas disc brake dan friction factor memperlihatkan rentang nilai antara 1 hingga 5, sedangkan pada permukaan dekat friction block, warna merah menggambarkan rentang nilai safety factor dari 0 hingga 1.

### Analisis Thermal dalam Kondisi Steady State

Penentuan nilai thermal pada simulasi statik dengan asumsi steady state untuk friction block, tahapan awal melibatkan penerapan kondisi batas pada komponen tersebut. Kondisi batas ini mencakup pemberian fitur temperature sebesar 22°C pada friction block yang ditandai dengan warna merah, dan fitur convection pada disc brake sebesar 70°C yang ditandai dengan warna kuning.

## 4. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian analisis friction block menggunakan metode elemen hingga adalah.

Pada simulasi statik *friction block* menunjukkan deformasi yang aman pada keseluruhan permukaan. Namun pada ujung atas permukaan *friction block* mencapai batas deformasi maksimum sebesar 0,39131 mm. Hal ini berpotensi menyebabkan kerusakan struktural. Sementara nilai *shear stress* dan *safety factor* pada keseluruhan desain *friction block* dinyatakan memadai, menandakan bahwa sistem pengereman memiliki tingkat keamanan yang baik, kecuali pada sisi dekat permukaan *ass disc brake*.

Dalam simulasi statik *thermal friction block* dengan asumsi *steady state*, pemberian kondisi batas menunjukkan peningkatan temperatur maksimum pada bagian bawah *disc brake* hingga 24,99°C. Meskipun *disc brake* mengalami penurunan temperatur yang tidak signifikan, *friction block* tetap pada temperatur minimum 22°C.

Simulasi *transient* dengan kondisi berputar pada *friction block dan disc brake* mengungkapkan deformasi minimum pada *friction block*, menunjukkan ketidakfleksibelan yang dapat mempengaruhi kinerja pengereman. Sebaliknya, *disc brake* mengalami deformasi pada ujung permukaan, mencapai nilai maksimum, menandakan batas elastisitas tercapai

## 5. Daftar Pustaka

- [1] Peraturan Presiden Indonesia, 2020
- [2] Liu, J., Li, Y. F., & Zio, E. (2017). A SVM framework for fault detection of the braking system in a high speed train. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 87, 401-409.
- [3] Li, J., Li, Jiao P., Lv, B., Chen B., & Gu, L. (2013). Development of cast steel for *brake disc* of high-speed train. In *Applied Mechanics and Materials* Vol. 419, pp. 370-375. Trans Tech Publications Ltd
- [4] Xiang, Z., Mo, J., Ouyang, H., Massi, F., Tang, B., Zhou, Z., (2020). Contact Behaviour and Vibrational Response of a High-Speed Train Brake *Friction Block*. *Wear* Vol. 152.
- [5] Jasmani E. (2006). Analisis Perubahan Ketebalan Pada Komponen Produk Deep Drawing dengan Metode Numerik dan Metode Elemen Hingga Menggunakan Software Abaqus 6.5-1. Skripsi. Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [6] Sugiharta, A. (2014). Pengertian Rem Cakram. Repository, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
- [7] Pytel, A., dan Singer, F. (1995). *Strength of Materials*. 4th ed. Harpercollins College Div; Subsequent edition.
- [8] Bagci, E. (2009). Reverse Engineering Applications for Recovery of Broken or Worn Parts and Re-manufacturing: Three case studies. *Advances in Engineering Software*, 40, pp. 407-418.
- [9] Ansys Mechanical Finite Element Analysis (FEA) Software for Structural Engineering. Diakses di [ansys.com](https://www.ansys.com) (tanggal akses 28/09/2023).

- [10] Jasmani E. (2006). Analisis Perubahan Ketebalan Pada Komponen Produk Deep Drawing dengan Metode Numerik dan Metode Elemen Hingga Menggunakan Software Abaqus 6.5-1. Skripsi. Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta.