

## ANALISIS DEFORMASI DAN TEGANGAN PADA *FRICITION BLOCK* KERETA API CEPAT DENGAN BENTUK HEPTAGON MENGGUNAKAN *FINITE ELEMENT METHOD*

\*Dionysius Abdi Kristiyanto<sup>1</sup>, Achmad Widodo<sup>2</sup>, Ojo Kurdi<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: [dionysiusabdi@gmail.com](mailto:dionysiusabdi@gmail.com)

### Abstrak

Kereta api berkecepatan tinggi, dirancang untuk kecepatan, efisiensi, penghematan energi, keamanan dan kenyamanan, memberi vitalitas pada transportasi kereta api tradisional. Transportasi kereta api telah memasuki era kecepatan tinggi. Rem merupakan komponen penting yang berfungsi untuk memperlambat atau menghentikan laju kereta api. Prinsip kerja dari rem yaitu adanya gesekan antara piringan dengan kampas rem pada saat kedua komponen ini berkontak. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui total deformasi dan tegangan ekuivalen yang terjadi pada *friction block* kereta api cepat menggunakan metode elemen hingga. Dalam penelitian ini terdapat dua alat penting untuk menjalankan penelitian ini. Pertama adalah perangkat lunak (*software*) yang menjadi alat utama untuk menjalankan penelitian ini, Kedua adalah perangkat keras (*hardware*) yang menjalankan perangkat lunak yaitu komputer. Penelitian ini menggunakan *friction block* berbentuk heptagon dengan variasi sudut pemasangan 0°, 15°, 30°, 45°. Hasil dari simulasi menunjukkan keausan di tepi depan dekat dengan *friction block*. Hasil total deformasi untuk sudut 0° adalah 0,00046 mm, sudut 15° adalah 0,00035 mm, sedangkan untuk sudut 30° adalah 0,00040 mm, dan untuk sudut 45° adalah 0,00036 mm. Hasil dari simulasi menunjukkan nilai tegangan ekuivalen untuk sudut 0° adalah 1,48 MPa. sudut 15° adalah 1,33 MPa, sedangkan sudut 30° adalah 1,40 MPa, dan untuk sudut 45° adalah 1,35 MPa.

**Kata kunci:** kereta api cepat; rem; tegangan ekuivalen; total deformasi

### Abstract

*High-speed rail, designed for speed, efficiency, energy saving, safety and comfort, gives vitality to traditional rail transportation. Railway transportation has entered the high-speed era. The brake is an important component that serves to slow or stop the train. The working principle of the brake is the friction between disk and brake lining when these two components are in contact. This study aims to determine the total deformation and equivalent stress that occurs in the friction block of a fast train using the finite element method. In this research, there are two important tools to carry out this research. First is the software which is the main tool for running this research, Second is the hardware that runs the software, namely the computer. A friction block with a heptagonal shape was installed at various angles (0°, 15°, 30°, and 45°). The simulation results show wear on the leading edge close to the friction block. The overall deformation is 0.00046 mm for the 0° angle, 0.00035 mm for the 15° angle, 0.00040 mm for the 30° angle, and 0.00036 mm for the 45° angle. According to the simulation's findings, the equivalent stress at a 0° angle is 1.48 MPa. Angle 15° has an MPa of 1.33, angle 30° has an MPa of 1.40, and angle 45° has an MPa of 1.35.*

**Keywords:** high-speed train; brake; equivalent stress; total deformation

### 1. Pendahuluan

Secara global, jenis kereta api menjadi pilihan yang baik bagi banyak penumpang jarak jauh [1]. Dalam sistem dan jalur yang ada, kereta berkecepatan tinggi dapat memperoleh kecepatan hingga 200-220 km/jam [2]. Terlebih lagi, meningkatnya laju sistem transportasi publik berkecepatan tinggi dan banyaknya pengguna kereta api cepat tersebut menuntut untuk pembuatan kereta api cepat dengan sistem pengereman yang baik untuk mendukung efektifitas transportasi publik.

Pengertian rem secara umum adalah suatu sistem yang bekerja untuk memperlambat atau menghentikan perputaran. Prinsip kerja sistem rem adalah mengubah tenaga kinetik menjadi panas dengan cara menggesekan dua buah logam pada benda yang berputar sehingga putarannya akan melambat, dengan demikian laju kendaraan menjadi pelan atau berhenti dikarenakan adanya kerja rem [3] Rem cakram adalah perangkat pengereman yang digunakan pada kendaraan modern. Rem ini bekerja dengan menjepit cakram yang dipasang pada roda kendaraan, untuk menjepit cakram

digunakan kaliper yang digerakkan oleh piston untuk mendorong sepatu rem (bantalan rem) ke cakram. Rem jenis ini juga digunakan pada kereta api, sepeda motor, dan sepeda. Pada mobil balap bahan yang digunakan biasanya dari keramik agar lebih tahan terhadap panas yang ditimbulkan selama proses pengereman [4]. Sistem pengereman merupakan jaminan dasar pengoperasian kereta api kecepatan tinggi yang aman dan andal, dimana rem cakram merupakan salah satu komponen terpenting untuk menjamin keselamatan lalu lintas, terutama sebagai sistem pengamanan terakhir disaat sistem lain mengalami kegagalan. Kecepatan keausan, pembentukan retakan, dan kecepatan perambatan retakan semuanya terkait dengan kecepatan kenaikan suhu pada permukaan cakram rem. Dalam kondisi suhu tinggi, struktur mikro cakram rem, sifat mekanik, dan kinerja pengereman gesekan akan berubah. Untuk rem cakram, suhu dan tegangan termal merupakan faktor utama dari kriteria desain cakram rem, yang secara langsung mempengaruhi masa pakai cakram rem [5]. Sifat keausan bahan rem tidak hanya berkaitan dengan sifat bahan itu sendiri, tetapi juga memiliki hubungan dengan lingkungan dan bahan *friction*-nya yang memiliki karakteristik cocok [6].

Secara umum, *brake pad* terdiri dari beberapa *friction blok*. Oleh karena itu, bentuk, struktur, dan distribusi *friction blok* akan mempengaruhi perilaku tribologi dan karakteristik dinamis antar rem [7]. Salah satu contohnya ialah bantalan rem *China Railway High-speed (CRH)*, sebagian besar *friction blok* yang digunakan pada *brake pad* berbentuk poligonal, seperti segitiga, segi lima, segi enam, dan lain sebagainya [6]. Akibatnya, perilaku kontak antara bantalan rem dan cakram relatif kompleks, menyebabkan perbedaan besar pada bunyi derit yang dihasilkan oleh sistem rem kereta berkecepatan tinggi. Oleh karena itu, penelitian tentang sistem rem mobil mungkin tidak dapat diterapkan pada sistem rem kereta berkecepatan tinggi [7].

Jika antar permukaan rem tidak sesuai, hal ini dapat menyebabkan FIVN (*friction-induced vibration and noise*) berfrekuensi sangat tinggi dan berintensitas tinggi, serta perilaku tribologi antar permukaan yang kompleks, yang juga akan menimbulkan banyak faktor tidak pasti pada kenyamanan dan keamanan rem kereta berkecepatan tinggi. Secara khusus, arah pemasangan *friction blok* biasanya bergantung pada pengalaman perancang; namun, arah pemasangan yang berbeda dapat menyebabkan masalah tribologi dan dinamika antarmuka rem yang belum sepenuhnya dipertimbangkan, yang akan merugikan keausan yang tidak merata, bunyi derit, dan keamanan bantalan rem. Oleh karena itu, penting untuk menyelidiki pengaruh arah pemasangan blok gesekan pada tribologi dan dinamika antarmuka rem untuk meningkatkan sistem rem kereta berkecepatan tinggi [8].

Deformasi terjadi bila bahan mengalami gaya. Selama deformasi, bahan menyerap energi sebagai akibat adanya gaya yang bekerja sepanjang deformasi. Deformasi ada dua macam yaitu deformasi elastis dan deformasi plastis. Yang dimaksud deformasi elastis adalah deformasi yang terjadi akibat adanya beban yang jika beban ditiadakan, maka material akan kembali ke ukuran semula. Sedangkan deformasi plastis adalah deformasi yang bersifat permanen jika bebannya dilepas [9]. Penambahan beban pada bahan yang telah mengalami kekuatan tertinggi tidak dapat dilakukan, karena pada kondisi ini bahan telah mengalami deformasi total. Jika beban tetap diberikan maka regangan akan bertambah dimana material seakan menguat yang disebut dengan penguatan regangan (*strain hardening*) yang selanjutnya benda akan mengalami putus pada kekuatan patah [10].

Tegangan adalah besaran fisika yang menjelaskan tentang gaya yang timbul di dalam partikel benda yang disebabkan oleh gaya pada partikel benda lainnya. Keberadaan tegangan secara mekanika membuat benda dapat mengalami perubahan bentuk atau deformasi. Sebuah gaya dan momen yang bekerja pada sebuah titik dari potongan penampang menghasilkan distribusi tegangan yang bekerja pada penampang tersebut. Tegangan dapat dipisahkan berdasarkan sumbu mana yang tegangan tersebut bekerja. Tegangan normal ialah tegangan yang diakibatkan oleh gaya yang bekerja pada sumbu normal penampang

Tegangan ekuivalen merupakan tegangan umum yang berlaku untuk material dalam keadaan getas atau ulet dan dapat digunakan untuk menggambarkan awal terjadinya leleh, hilangnya kekuatan atau kerusakan pada elemen struktur, material granular, dan sebagainya yang terkena pengaruh multiaksial. Sebagian besar komponen rekayasa saat ini mengalami berbagai kondisi pembebanan mulai dari tegangan dan kompresi hingga geser, tekukan, dan torsi yang semuanya menghasilkan keadaan tegangan kompleks yang dijelaskan secara komprehensif oleh tensor tiga kali tiga

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. Ketangguhan bahan perlu diukur secara konvensional, hal itu dilakukan dengan adanya uji impak atau benturan, sehingga akan mengakibatkan resiko penurunan ketangguhan bahan dan dapat berakibat fatal.

Pada penelitian ini, dilakukan simulasi sebaran deformasi dan tegangan ekuivalen yang terjadi pada sistem pengereman kereta api cepat dengan bentuk *friction blok* berupa heptagon dengan variasi sudut pemasangan *friction blok*.

## 2. Bahan dan Metode Penelitian

Metode yang dilaksanakan dalam penelitian ini adalah dengan mensimulasikan desain sistem rem yang terdiri dari *brake disc* dan *friction blok* untuk mencari nilai maksimal deformasi yang diakibatkan oleh *pressure* sebesar 0,12 MPa. Variabel independen berupa sudut pemasangan *friction blok*. Material yang digunakan untuk *brake disc* berupa *structural steel* dan *friction blok* berupa *cast iron*.

Pada penelitian ini, sistem pengereman disederhanakan menjadi *brake disc* dan *friction block* untuk mempermudah simulasi. Bagian lain digantikan dengan *constraint* yang sesuai. Simulasi sebaran deformasi dilaksanakan dengan menggunakan *software* ANSYS 2020 R1. Berikut disajikan model sistem *brake disc* yang digunakan.

Sebelum dilakukan analisa struktur pada ANSYS, data material dimasukan pada kolom *engineering data*. Kemudian dilanjut dengan memasukan data parameter penelitian berupa kecepatan sudut *brake disc*  $\omega = 200$  r/min, tekanan *brake disc*  $P = 0,12$  MPa, radius *friction*  $R = 45$  mm.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Pada analisis deformasi *friction block* bentuk heptagon ini menggunakan variasi sudut pemasangan  $0^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $30^\circ$  dan  $45^\circ$ . Nilai maksimal deformasi yang dihasilkan sudut  $0^\circ$  sebesar 0,00046 mm, sudut  $15^\circ$  sebesar 0,00035 mm, sudut  $30^\circ$  0,00040 mm dan sudut  $45^\circ$  sebesar 0,00036 mm serta nilai minimal sebesar 0 mm dengan titik deformasi tertinggi berada di ujung kiri *brake disc* dan *friction block* dilihat dari arah depan. Nilai deformasi pada titik lain ditunjukkan oleh *legend* di samping kiri model.

Pada analisis deformasi *friction block* bentuk heksagon ini menggunakan variasi sudut pemasangan  $0^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $30^\circ$  dan  $45^\circ$ . Nilai maksimal deformasi yang dihasilkan sudut  $0^\circ$  sebesar 0,00042 mm, sudut  $15^\circ$  sebesar 0,00038 mm, sudut  $30^\circ$  sebesar 0,00036 mm dan sudut  $45^\circ$  sebesar 0,00033 mm serta nilai minimal sebesar 0 mm dengan titik deformasi tertinggi berada di ujung kiri *brake disc* dan *friction block* dilihat dari arah depan. Nilai deformasi pada titik lain ditunjukkan oleh *legend* di samping kiri model.

Pada analisis tegangan ekuivalen *friction block* bentuk heptagon ini menggunakan variasi sudut pemasangan  $0^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $30^\circ$  dan  $45^\circ$ . Nilai maksimal tegangan ekuivalen yang dihasilkan sudut  $0^\circ$  sebesar 1,48 MPa, sudut  $15^\circ$  sebesar 1,33 MPa, sudut  $30^\circ$  sebesar 1,40 MPa dan sudut  $45^\circ$  sebesar 1,35 MPa serta nilai minimal sebesar 0 MPa. Nilai tegangan ekuivalen pada titik lain ditunjukkan oleh *legend* di samping kiri model.

Pada analisis tegangan ekuivalen *friction block* bentuk heksagon ini menggunakan variasi sudut pemasangan  $0^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $30^\circ$  dan  $45^\circ$ . Nilai maksimal tegangan ekuivalen yang dihasilkan sudut  $0^\circ$  sebesar 1,41 MPa, sudut  $15^\circ$  sebesar 1,38 MPa, sudut  $30^\circ$  sebesar 1,35 MPa dan sudut  $45^\circ$  sebesar 1,29 MPa serta nilai minimal sebesar 0 MPa. Nilai tegangan ekuivalen pada titik lain ditunjukkan oleh *legend* di samping kiri model.

### 4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan berikut ini.

Hasil analisis deformasi menunjukkan bahwa sebaran deformasi terbesar terjadi di bagian ujung *brake disc* yang diakibatkan oleh tekanan *friction block*. Dari hasil analisis yang telah dilakukan, bentuk dan sudut pemasangan *friction block* yang berbeda dapat mempengaruhi hasil nilai dari deformasi. Nilai deformasi terbesar ditunjukkan oleh *friction block* dengan bentuk heptagon sudut pemasangan  $0^\circ$  dan nilai deformasi terkecil ditunjukkan oleh *friction block* bentuk heksagon sudut pemasangan  $45^\circ$ .

Hasil analisis tegangan ekuivalen menunjukkan bahwa sebaran tegangan yang diakibatkan oleh tekanan *friction block* berada di tengah *brake disc* yang bersampingan dengan *friction block*. Dari hasil analisis yang telah dilakukan, bentuk dan sudut pemasangan *friction block* yang berbeda dapat mempengaruhi hasil nilai dari tegangan ekuivalen. Nilai tegangan ekuivalen terbesar ditunjukkan oleh *friction block* dengan bentuk heptagon sudut pemasangan  $0^\circ$  dan nilai tegangan ekuivalen terkecil ditunjukkan oleh *friction block* bentuk heksagon sudut pemasangan  $45^\circ$ .

### 5. Daftar Pustaka

- [1] Kazerooni, S., Kaymak, Y., Cessa, R., Feng, N., Zhou, M., Zhang, T. (2017). Optimal positioning of ground base stations in free-space optical communications for high-speed trains. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*.
- [2] UIC, High Speed - International Union of Railways (UIC),. (2015). Diakses di <http://www.uic.org/highspeed#General-definitions-of-highspeed>. (Tanggal akses 28/09/2023)
- [3] Sugiharta, A. (2014). Pengertian Rem Cakram. Repository, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- [4] Ahmad, A. (2015). Analisa Vapor Lock Pada Sistem Rem Tipe Hidrolik Pneumatik dan Pengaruhnya Terhadap Daya Pengereman Bus. Skripsi. Universitas Mercu Buana. Jakarta.
- [5] Li J., dan Kim H. (2013). Design for the Predictor of the Emergency Braking System Based on Fuzzy Algorithm. *Journal of Automation and Control Engineering* Vol.1 No.3, pp. 240-244.
- [6] Peng T., Yan Q., Zhang X., Zhuang Y. (2020). Role Of Titanium Carbide And Alumina On The Friction Increment For Cu-Based Metallic Brake Pads Under Different Initial Braking Speeds, *Frict.* pp.1–15.
- [7] Zhou, L., Yu, X., Huo, M., Yu, X. (2021). Research On High-Speed Railway Freight Train Organization Method Considering Different Transportation Product Demands. *Mathematical Problem in Engineering*.
- [8] Xiang, Z., Mo, J., Qian, H., Zhu, S., Chen, W., Du, L., (2021). The Effect Of The *Friction Block* Installation Direction On The Tribological Behavior And Vibrational Response Of The High-Speed Train Brake Interface. *Wear* Vol. 1 pp.484-485.

- 
- [9] 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.
- [10] Pytel, A., dan Singer, F. (1995). *Strength of Materials*. 4<sup>th</sup> ed. Harpercollins College Div; Subsequent edition.