

ANALISIS PERUBAHAN TEGANGAN PADA *FRICITION BLOCK* KERETA API CEPAT DENGAN BENTUK OCTAGONAL MENGGUNAKAN FINITE ELEMENT METHOD

*Sultan Alif Pranatagama¹, Ojo Kurdi², Achmad Widodo²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

*E-mail: sultanalifpranatagama@gmail.com

Abstrak

Kebutuhan akan fasilitas transportasi sangat dibutuhkan dan terus meningkat seiring perkembangan jaman. Negara Indonesia adalah negara berkembang, maka kebutuhan transportasi sangat krusial terhadap perkembangan setiap daerahnya. Kereta api sudah dipilih menjadi transportasi massal bagi Masyarakat Negara Indonesia dikarenakan dikenal sebagai transportasi yang cepat dan aman, serta ramah lingkungan. Namun, perkembangan teknologi membuat banyak negara berinvestasi dalam sistem kereta api yang lebih cepat dan lebih canggih. Kereta api cepat adalah transportasi massal dengan menggunakan rel yang dapat menempuh kecepatan diatas 250 Km/Jam. Sistem yang memungkinkan untuk kereta berlaju dengan ccepat juga memerlukan pengereman yang sepadan dengan kecepatannya. Pada dasarnya sistem pengereman yang digunakan pada kereta api cepat tidak jauh berbeda dibandingkan dengan kereta api konvensional, namun memiliki beberapa sistem tambahan untuk mengimbangi tenaga yang harus dihentikan. Sistem pengereman dengan menggunakan cakram masih digunakan untuk kecepatan tertentu. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh sudut pemasangan *brake pad/friction block* (kampus rem) terhadap gerak rotasi *disc brake* (piringan cakram), variasi yang digunakan adalah 0°, 22,5°, dan 30°. Penelitian ini menggunakan metode elemen hingga (*Finite Element Method*) untuk mengetahui sebaran tegangan dan regangan *von-mises* yang terjadi pada sistem pengereman dengan *friction block* berbentuk octagonal. Metode elemen hingga (*Finite Element Method*) menggunakan analisis *transient structural* dengan nilai konvergensi >1%. Penggunaan geometri dan properti material mengacu pada penelitian Z,Y, Xiang, dkk. Proses simulasi dan analisis menghasilkan data *equivalent stress Von-mises* terbesar pada variasi 30°, sedangkan nilai terkecil terdapat pada variasi 0°. Data *equivalent elastic strain Von-mises* terbesar terdapat pada variasi 30°, dan nilai *elastic strain Von-mises* terkecil terdapat pada variasi 0°.

Kata kunci: blok gesek; kereta api cepat; metode elemen hingga; sistem pengereman

Abstract

The need for transportation facilities is highly essential and continues to increase with the development of time. Indonesia is a developing country, hence the transportation needs are crucial for the development of each region. Trains have been chosen as a mass transportation mode for the people of Indonesia because they are known to be fast, safe, and environmentally friendly. However, technological advancements have led many countries to invest in faster and more sophisticated railway systems. High-speed trains are mass transportation systems that utilize rails and can reach speeds above 250 km/h. Systems allowing trains to run at such high speeds also require braking systems that are compatible with their velocity. Essentially, the braking system used in high-speed trains is not much different from conventional trains, but it incorporates additional systems to counteract the force that needs to be stopped. Disc brakes are still used for certain speeds. This study aims to determine the effect of the installation angle of *brake pads/friction blocks* on the rotational movement of disc brakes, with variations of 0°, 22.5°, and 30°. The study employs the Finite Element Method to analyse stress distribution and von-Mises strain that occur in the braking system with octagonal-shaped *friction blocks*. The Finite Element Method utilizes transient structural analysis with a convergence value of >1%. The geometry and material properties used in the simulation and analysis are based on the research conducted by Z, Y, Xiang, et al. The simulation and analysis process yields data on the largest von-Mises equivalent stress at the 30° variation, while the smallest value is found at the 0° variation. The largest equivalent elastic strain von-Mises is found at the 30° variation, and the smallest value is found at the 0° variation

Keywords: brake system; finite element method; *friction block*; high-speed train

1. Pendahuluan

Kebutuhan akan fasilitas transportasi sangat dibutuhkan dan terus meningkat setiap zaman. Setiap negara akan memberikan fasilitas untuk perkembangan negaranya. Khususnya negara Indonesia, karena Indonesia adalah negara berkembang maka kebutuhan transportasi sangat krusial terhadap perkembangan setiap daerahnya. Sejak zaman penjajahan Belanda, transportasi di atas rel sudah diterapkan karena kondisi lingkungan dan waktu transportasi yang tergolong cepat. Transportasi inilah yang membuat kereta api sangat diminati hingga sekarang, dikarenakan faktor *cost* atau biaya yang tergolong murah dan kecepatan yang masih dikategorikan tidak lambat. Kereta api sudah menjadi poin penting karena manfaatnya di bidang transportasi, sebagai transportasi massal (untuk mengangkut penumpang dan barang), pilihan transportasi yang cepat dan aman, serta ramah lingkungan dikarenakan emisi karbon yang sangat sedikit per-penumpang dibandingkan transportasi pribadi. Kereta api cepat adalah transportasi massal dengan menggunakan rel dengan kecepatan di atas 250 Km/Jam sedangkan kereta api tradisional memiliki kecepatan di bawah 200 Km/Jam. Kereta api sudah lama dipilih oleh masyarakat Indonesia karena menjadi salah satu transportasi publik yang terjangkau, aman, dan cepat. Keuntungan yang didapat dari adanya kereta api cepat adalah dari manfaat sosial misalnya penghematan waktu perjalanan [1]. Sistem yang memungkinkan untuk kereta berlaju dengan cepat juga memerlukan pengereman yang sepadan dengan kecepatannya [2].

Rem adalah sebuah sistem mekanisme yang digunakan pada kendaraan untuk mengurangi kecepatan dan menghentikan pergerakan kendaraan tersebut. Sistem pengereman masih menggunakan sistem rem cakram yang terdiri dari cakram/*disc brake*, kampas rem dan piston tekanan. Hal yang akan dibahas pada penelitian ini berfokus pada desain kampas rem atau blok gesek (*friction block*) pada sistem rem cakram. Rem cakram bekerja dengan menekan kampas rem menggunakan tekanan hidraulis pada *master cylinder* yang disalurkan melalui selang hidraulis ke piston pada kaliper rem. Sehingga piston pada kaliper rem menggerakkan dan menekan kampas rem / *brake pad* agar terjadi gesekan antara kampas rem dengan cakram rem / *disc brake*.

Pengereman kereta berkecepatan tinggi pada umumnya dilakukan oleh gesekan bantalan kampas rem dan cakram, yang dapat menghabiskan energi kinetik dalam jumlah besar [2]. Harus dipastikan bahwa kereta dapat berhenti dalam jarak yang ditentukan untuk menjamin operasi kereta yang aman [3]. Desain dari bantalan kampas rem sangat menentukan efisiensi dan keamanan dari sistem pengereman tersebut.

Fenomena ini telah menjadi sangat menonjol dengan perkembangan pesat kecepatan operasi dan peningkatan periode operasi dan jarak kereta berkecepatan tinggi. FIVN (*Friction-Induced Vibration and Noise*) memperburuk keausan antarmuka [4], mempercepat inisiasi retakan, dan masa pakai blok gesekan akan sangat berkurang, di mana semuanya memengaruhi keselamatan dan keandalan sistem rem

Menurut strategi kontrol pengereman kereta berkecepatan tinggi China, pengereman mekanis (pengereman gesekan) beroperasi bersamaan dengan pengereman listrik pada kecepatan kereta antara 20 Km/Jam dan 60 Km/Jam. Sebaliknya, pada kecepatan di bawah 20 Km/Jam, hanya pengereman mekanis yang digunakan untuk mengontrol kecepatan kereta dan menghentikan kereta [5]. Pengereman mekanis menggunakan sistem pengereman pneumatik dengan kampas blok rem yang ditekan oleh piston menggunakan tekanan fluida. Saat terjadi pengereman akan terjadi gesekan pada blok kampas rem yang dapat memperkirakan ketahanan dan efisiensi dari pengereman tersebut.

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.

Deformasi merupakan perubahan bentuk, dimensi dan posisi dari suatu materi baik merupakan bagian dari alam ataupun buatan manusia dalam skala waktu dan ruang. Deformasi dapat terjadi jika suatu benda atau materi dikenai gaya (*Force*). Deformasi ada dua macam yaitu deformasi elastis dan deformasi plastis. Yang dimaksud deformasi elastis adalah deformasi yang terjadi akibat adanya beban yang jika beban dihilangkan, maka material akan kembali ke ukuran semula. Sedangkan deformasi plastis adalah deformasi yang bersifat permanen jika bebannya dilepas [6]. 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 [7].

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. Dimana jika gaya yang bekerja menyebabkan pertambahan panjang maka disebut gaya tarik, sedangkan bila gaya yang bekerja menyebabkan perpendekan bayang maka disebut gaya tekan.

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. keadaan stres. Tegangan *Von-Mises* adalah nilai tegangan ekuivalen yang digunakan untuk menentukan apakah suatu material tertentu akan mulai luluh, dimana suatu material tertentu tidak akan luluh selama nilai tegangan *Von-Mises* maksimum tidak melebihi kekuatan luluh material tersebut. Tegangan *Von-Mises* digunakan untuk bahan ulet, seperti logam. Regangan atau strain adalah konsep dalam ilmu fisika yang mengacu pada perubahan dimensi suatu benda saat dikenai tekanan atau gaya tertentu. Secara spesifik,

regangan menggambarkan seberapa jauh suatu benda mengalami perubahan bentuknya dibandingkan dengan bentuk aslinya ketika dikenai gaya eksternal. Gaya gesekan adalah gaya yang ditimbulkan oleh dua benda yang bergesekan dengan arah gaya sejajar permukaan benda dan berlawanan dengan arah gerak benda [8]. Gaya gesek muncul apabila dua buah benda bersentuhan.

Metode elemen hingga merupakan suatu cara untuk menyelesaikan permasalahan yang ditemui di alam dengan menggunakan solusi numerik. Biasanya kejadian di alam dapat dijelaskan dengan persamaan dalam bentuk diferensial atau integral. Oleh karena itu, metode elemen hingga merupakan salah satu cara untuk menyelesaikan bentuk diferensial parsial dan integral. Secara umum, metode elemen hingga memungkinkan pengguna memperoleh evolusi spasial atau temporal dari satu atau lebih variabel yang mewakili suatu sistem fisik. Bila mengacu pada analisa struktur, metode elemen hingga merupakan metode yang baik dalam menghitung *displacement*, tegangan, dan regangan pada suatu struktur dalam pembebanan [9].

Metode elemen hingga (FEM) adalah salah satu metode pendekatan numerik di mana persamaan diferensial parsial ini bisa diselesaikan dengan cara pendekatan terhadap kondisi sebenarnya. Dari sudut pandang teknik (Engineering), FEM adalah metode untuk memecahkan masalah seperti analisis tegangan, perpindahan panas, aliran fluida dan elektromagnetik dengan menggunakan simulasi komputer. Penyelesaian dengan metode elemen hingga tersebut akan memberikan suatu hasil pendekatan dari nilai sebenarnya yang tidak diketahui pada suatu titik tertentu dalam sistem kontinyu. Sistem yang kontinyu merupakan istilah dari suatu kondisi struktur atau objek yang sebenarnya.

Secara garis besar, geometri suatu struktur dapat dibagi menjadi tiga jenis yaitu geometri 1D, 2D, dan 3D. Penggunaan elemen, sejalan dengan tipe geometri yang digunakan. Elemen-elemen yang dapat digunakan dalam melakukan analisis elemen hingga terdiri dari 7 elemen antara lain *spring* (1D), *truss* (1D), *beam* (1D), *triangle* (2D), *quadrilateral* (2D), *tetrahedron* (3D), dan *hexagonal* (3D)

2. Bahan dan Metode Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan dengan bantuan *software finite element analysis* (FEA) bernama Ansys Workbench yang digunakan untuk melakukan simulasi Transient Structural dari 3 variasi posisi *brake pad* pada rotasi *disc brake*. Dalam proses simulasi ini, simulasi yang digunakan yaitu simulasi analisa transient structural untuk mencari nilai tegangan, regangan, dan kontak gesekan seperti yang dilakukan oleh Y.K. Wu, 2021. Finite element method yang digunakan menggunakan sampel geometri yang sudah dibuat dan disederhanakan lalu di simulasikan menggunakan *software Ansys*. Parameter yang digunakan dalam metode elemen hingga ini adalah sebagai berikut; kecepatan rotasi 200 rpm, dan tekanan *friction block* 0,12 Mpa.

Pada penelitian ini, objek yang digunakan adalah 3 jenis variasi posisi *brake pad* terhadap rotasi *disc brake*, 0°, 22,5°, dan 30°. Material yang digunakan berupa campuran Cu-Mn pada *brake pad* dan baja pada *disc brake* yang dikonfigurasi sebagai benda solid. Penelitian ini menggunakan pemodelan dalam bentuk CAD menggunakan Autodesk Fusion 360 (student edition) agar kemudian dapat disimulasikan dalam *software* Ansys Mechanical Workbench 2023 R1.

3. Hasil dan Pembahasan

Pengujian *transient structural* menggunakan metode elemen hingga bertujuan untuk mengetahui Tegangan (*Von-Mises*) maksimum dan Gaya maksimum yang diterima oleh spesimen. Setiap pemodelan geometri akan diuji menggunakan pembebanan dan kondisi batas yang sama seperti yang sudah dijelaskan pada bab sebelumnya.

Uji konvergensi dilakukan untuk menentukan jumlah elemen yang sesuai dengan melakukan perbaikan *mesh* terlebih dahulu secara bertahap dan setiap kenaikan elemen pada daerah tertentu sehingga didapatkan hasil yang konvergen dengan error relatif $\leq 1\%$. Pada proses uji konvergensi dilakukan pada geometri setiap variasi.

Berdasarkan hasil simulasi untuk *equivalent stress* yang telah dilakukan pada model *brake system* kereta api cepat dengan bentuk *friction block octagonal* didapatkan nilai *equivalent stress Von-mises* terbesar dihasilkan oleh variasi sudut pemasangan *friction block* 30°. Sedangkan nilai terkecil dihasilkan oleh sudut pemasangan 0°. Simulasi untuk *equivalent elastic strain* yang telah dilakukan pada model *friction block* dengan bentuk octagonal menunjukkan Nilai *equivalent elastic strain Von-Mises* terbesar dihasilkan oleh variasi sudut pemasangan *friction block* 30°, sedangkan nilai *elastic strain* terkecil dihasilkan oleh sudut pemasangan 0°.

4. Kesimpulan

Data hasil simulasi tersebut menunjukkan bahwa variasi sudut 30° memiliki tegangan terbesar dibandingkan dengan variasi sudut 0° dan 22,5°, dapat diartikan bahwa sudut 30° memiliki wear rate terbesar dibandingkan dengan variasi sudut lainnya.

Data hasil simulasi geometri variasi sudut 30° menghasilkan perubahan elastic strain *von-mises* paling tinggi dari tekanan *friction block* terhadap *disc brake* dibandingkan sudut variasi 0° dan 22,5°.

5. Daftar Pustaka

- [1] A. P. A. Z. Fera Lestari, "Komparasi Pembangunan Kereta Cepat di Indonesia Dengan Kereta Cepat di Negara Lain dari Sudut Pandang Ekonomi," *Prosiding Semnas SINTA FT UNILA*, pp. 266-272, 2018.
- [2] C. L. S. F. J. D. L. Z. L. C. Xu Ma, "Comparison of braking behaviors between iron- and copper-based powder metallurgy *brake pads* that used for C/C–SiC disc," *Tribology International*, 2021.
- [3] Z. Z. P. Y. K. F. H. Z. T. G. L. Z. M. D. Yelong Xiao, "Mechanical and tribological behaviors of copper metal matrix composites for *brake pads* used in high-speed trains," *Tribology International*, pp. 585-592, 2018.
- [4] S.-X. X. J. C. C. Z. Jin-Kun Xiao, "Wear mechanism of Cu-based *brake pad* for high-speed train braking at speed of 380 km/h," *Tribology International*, 2020.
- [5] P. Z. D. H. J. M. S. Z. Q. G. L. D. Z.Y. Xiang, "Tribological improvement of a high-speed train brake system and friction-induced vibration energy harvesting via a sandwich damping piezoelectric structure," *Tribology International*, vol. Volume 176, 2022.
- [6] J. Edi, Analisis Perubahan Ketebalan Pada Komponen Produk Deep Drawing dengan Metode Numerik dan Metode Elemen Hingga Menggunakan Software Abaqus, Surakarta: UMS, 2006.
- [7] A. d. S. F. Pytel, Strength of Materials, United Kingdom: Harper & Row, 1995.
- [8] Hernawati, "MENGETAHUI KOEFISIEN GESEK STATIK DAN KINETIS MELALUI KONSEP GERAK MELINGKAR BERATURAN," *Jurnal Teknosains*, vol. 7, no. 1, pp. 55-65, 2013.
- [9] E. Onate, Structural Analysis with the Finite Element Method. Linear Statics Lecture Notes on Numerical Methods in Engineering and Sciences, Barcelona: Artes Graficas Torres S.A, 2003.
- [10] F. A. Wandono, "Pemodelan Metode Elemen Hingga Untuk Menentukan Tegangan Von Mises Pada As Roda LSU-05," *Prosiding SIPTEKGAN XXI-2017 Seminar Nasional Iptek Penerbangan & Antariksa XXI Tahun 2017*, pp. 222--231, 2017.
- [11] B. T. Z. X. H. Q. J. M. Z. Z. Y.K. Wu, "Brake squeal of a high-speed train for different *friction block* configurations," *Applied Acoustics*, 2021.