

## DAMPAK BEBAN PADA KONTAK GESEK *TREAD BLOCK* TERHADAP PERMUKAAN *RIGID* DENGAN VARIASI MATERIAL MENGGUNAKAN METODE *FINITE ELEMENT*

\*Dennis Dama<sup>1</sup>, Budi Setiyana<sup>2</sup>, Muchammad<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: dennisdama810@gmail.com

### Abstrak

Ban kendaraan menggunakan suatu material elastomer yang memiliki sifat *hyperelastic*. Pada ban terdapat satu bagian yang disebut *tread block* yang bersentuhan langsung dengan permukaan jalan, yang lama kelamaan akan mengalami keausan karena bergesekan dengan permukaan jalan. Material yang digunakan pada pembuatan ban berpengaruh pada kualitas ban. Untuk mengetahui dampak dari penggunaan material perlu dilakukan pengujian pada produk yang menggunakan material tersebut. Pengujian yang dilakukan dapat memakan biaya yang tidak sedikit, pada penelitian ini pengujian dilakukan dengan menggunakan program komputasi dengan metode *finite element*. Pemodelan komputasi berupa simulasi *tread block* dengan panjang 15 mm dan tinggi 10 mm, material yang digunakan dalam penelitian ini adalah *styrene-butadiene rubber* dengan kandungan karbon hitam sebesar 25% (SBR 25), material Type-S (*Soft Compound*) dan material Type-H (*Hard Compound*) yang merupakan karet vulkanisasi berjenis lunak dan keras. Dengan menggunakan *software Abaqus 2017*, simulasi ini menyajikan pemodelan kontak tekan dan gesek antara *tread block* dan permukaan benda *rigid*, terdapat variasi kedalaman penekanan, antara lain 0,6 mm, 0,8 mm dan 1 mm dengan kecepatan konstan sebesar 300 mm/s. Dari simulasi, hasil yang akan didapatkan berupa tegangan maksimum pada *tread block*, gaya – gaya reaksi pada sumbu vertikal dan horizontal dan koefisien gesek total, kemudian analisa dari distribusi tegangan, gaya – gaya reaksi serta distribusi koefisien gesek pada permukaan *tread block* yang bergesekan dengan permukaan jalan.

**Kata kunci :** *abaqus; elastomer; hyperelastic; mooney-rivlin; tread block*

### Abstract

Vehicle tires use an elastomer material that has hyperelastic properties. On the tire, there is a part called a tread block that is in direct contact with the road surface, which over time will experience wear and tear due to friction with the road surface. The material used in the manufacture of tires will affect the quality of the tires. To determine the impact of the use of materials, it is necessary to conduct tests on products that use these materials. The tests carried out can cost a lot of money. In this study, the test was carried out using a computing program with the finite element method. The computational modelling is in the form of a tread block with a length of 15 mm and a height of 10 mm. The materials used in this research are Styrene Butadiene Rubber reinforced with carbon black of 25% (SBR-25), Type-S (*Soft Compound*) and Type-H (*Hard Compound*) materials which are soft and hard type of vulcanized rubber. By using Abaqus 2017, this simulation presents modelling of indentation and friction contact between tread block and the surface of a rigid object, there are variations in indentation depth, namely 0.6 mm, 0.8 mm and 1 mm with a constant speed of 300 mm/s. From the simulations, results will be obtained in the form of maximum stress on the tread block, reaction forces on the vertical and horizontal axes and total friction coefficients, then analysis of the stress distribution, reaction forces and the distribution of friction coefficients on the surface of the tread block that rubs against the road surface.

**Keywords :** *abaqus; elastomer; hyperelastic; mooney-rivlin; tread block*

### 1. Pendahuluan

Elastomer adalah kelas material polimer yang dapat berulang kali diregangkan hingga dua kali lebih panjang dari aslinya dengan sedikit atau tanpa deformasi permanen. Elastomer dapat ditemukan di berbagai aplikasi penggunaan, seperti *bumper* otomotif dan selang industri [8].

Ban kendaraan adalah komponen penting agar kendaraan dapat berjalan. Selain membuat kendaraan lebih mudah dioperasikan, ban juga berfungsi untuk membantu daya cengkeraman ke permukaan jalan untuk menjaga kenyamanan dan keselamatan pengemudi. Oleh karena itu baik desain maupun material pada pembuatannya perlu diperhatikan.

Salah satu bagian dari ban kendaraan adalah *tread block* atau kembangan ban yang berinteraksi langsung dengan permukaan jalan. Pada umumnya, saat terjadi kontak antara *tread block* dengan permukaan jalan, *tread block* akan mengalami fase *stick* dan *slip*, dimana fase *stick* adalah ketika kembangan ban melekat pada permukaan jalan dan *slip* adalah ketika kembangan ban mengalami pergeseran [1].

Material *elastic* adalah material yang dapat kembali ke bentuk semula apabila gaya yang diberikan dihilangkan. Material ini memiliki hubungan tegangan-regangan yang linear dan ditunjukkan dengan menggunakan persamaan hukum Hooke [3]. Material *Hyperelastic* adalah material yang memiliki kemampuan untuk mengalami regangan elastis yang besar, disebabkan oleh gaya yang kecil tanpa kehilangan sifat aslinya. Material ini memiliki hubungan tegangan-regangan yang nonlinear, hal ini menunjukkan bahwa deformasi yang terjadi tidak proporsional terhadap beban yang diaplikasikan [10]. Untuk menggambarkan hubungan tegangan-regangan tidak menggunakan persamaan Hukum Hooke, tapi diturunkan dari SEF, dimana koefisien dari SEF didapatkan dari proses uji tarik [6].

*Strain Energy Function* (SEF) atau *Stored Energy Function* menggambarkan jumlah energi elastis yang disimpan dalam satuan volume material pada keadaan regangan tertentu. Ada beberapa ahli yang mengusulkan formulasi untuk SEF seperti Mooney-Rivlin, Yeoh, dll. Tapi, beberapa model SEF tersebut sulit dicapai terutama untuk menentukan beberapa nilai konstanta dari formulasi SEF yang diperoleh dari model SEF dan analisis data eksperimen [4]. Konstanta SEF yang didapat nantinya akan diperlukan sebagai input untuk menjalankan simulasi *Abaqus*.

Abrasi adalah fenomena pengurangan material dari suatu permukaan karena berinteraksi dengan permukaan lain. Ketahanan abrasi yang baik selalu menjadi prioritas utama untuk sebagian besar komponen elastomer [6]. Untuk mempelajari sistem dengan kompleksitas mengenai abrasi, perlu memahami proses individu secara rinci terlebih dahulu dan kemudian menghubungkan hasil ini dengan gambaran umum dari mekanisme abrasi elastomer [5]. Gerakan *stick* dan *slip* adalah fenomena yang terjadi akibat interaksi yang kompleks antara dua permukaan benda padat yang diakibatkan oleh gesekan. Gerakan *stick-slip* pada suatu sistem mekanik dapat menyebabkan kerugian seperti getaran yang berlebihan yang dapat menyebabkan hilangnya presisi [2].

Metode Analisis Elemen Hingga (FEA) menjadi teknik yang semakin populer baik dalam penelitian maupun industri teknik untuk solusi numerik masalah analisis struktur, yang tidak dapat diselesaikan dengan metode analisis klasik. Metode ini telah diterima secara luas sebagai metode analisis yang sangat berharga, terutama di bidang otomotif, dirgantara, dan produksi minyak [6].

Dasar daripada FEA tergantung pada dekomposisi dari domain ke nomor hingga pada subdomain (elemen) dimana solusi perkiraan sistematis dibangun dengan mengaplikasikan variasi atau metode *weighted residual*. FEA menanggulangi masalah pada domain yang tidak terbatas dengan membaginya menjadi elemen yang terbatas dan dengan mengekspresikan *field variable* yang tidak diketahui dalam istilah dari fungsi perkiraan yang diasumsikan pada setiap elemen. Fungsi ini didefinisikan dalam istilah nilai dalam *field variable* pada titik tertentu, yang disebut sebagai *nodes*. *Nodes* biasanya terletak pada batas elemen, dan setiap *nodes* menghubungkan elemen yang berdekatan [7].

Dalam melakukan suatu pengujian untuk mengetahui dampak dari muatan yang berbeda – beda pada *tread block* ban saat mengalami fase *stick* dan *slip* dibutuhkan biaya yang sangat besar terutama dalam penyediaan peralatan yang diperlukan untuk mensimulasikan *tread block* pada ban yang digesekkan, Maka dari itu pemodelan dengan program komputasi dapat menjadi pilihan yang baik untuk mensimulasikan kejadian yang hampir sama dengan biaya yang lebih terjangkau.

Pada penelitian ini akan membahas mengenai dampak pemberian tekanan yang berbeda – beda pada kondisi *sticking* serta pada kondisi *slipping* dengan kecepatan konstan pada kontak antara *tread block* dengan permukaan jalan yang disimulasikan sebagai permukaan *rigid*. Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah *styrene-butadiene rubber* dengan kandungan karbon hitam sebesar 25% (SBR 25), material Type-S dan material Type-H yang merupakan karet vulkanisasi berjenis lunak (*soft*) dan keras (*hard*) [9]. Untuk variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah variabel tekanan yang akan diberikan pada permukaan atas dari *tread block* ban dalam simulasi. Nilai konstanta *hyperelastic* yang digunakan diambil dari pengujian yang telah dilakukan oleh Hancheng Liang dengan pemodelan konstanta Mooney-Rivlin. Analisa kontak menggunakan metode elemen hingga dengan *software ABAQUS 2017*.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian dilakukan dengan membuat pemodelan berupa simulasi pada *software* yang memanfaatkan metode elemen hingga. Pemodelan dari kasus ini dimodelkan dalam bentuk 2 dimensi (*plane strain*) dengan membuat suatu model elastomer menggunakan SEF Mooney Rivlin dengan variasi kedalaman penekanan 0.6 mm, 0.8 mm, 1mm serta variasi material SBR 25, Type-S dan Type-H. Pada simulasi elastomer/*tread block* akan ditekan dan digesekkan pada permukaan *rigid* untuk mencari tegangan maksimum, reaksi – reaksi gaya dan koefisien gesek total serta distribusi dari tegangan, reaksi gaya dan koefisien gesek dari permukaan bawah *tread block* yang bergesekan langsung dengan permukaan *rigid*.

Kondisi batas yang diterapkan pada saat simulasi, yaitu pada fase penekanan, permukaan jalan di kunci pada semua *DOF* dan *rigid plate* di *constraint* pada sumbu X. Pada fase pergeseran, kondisi jalan masih sama seperti saat fase penekanan namun *rigid plate* di *constraint* pada sumbu Y. Elastomer memiliki panjang 15 mm dan tinggi 10 mm, sedangkan permukaan *rigid* dengan Panjang 75 mm dan tinggi 1 mm. Pemodelan penekanan dan pergeseran dimulai dengan menentukan parameter material, dimensi dari elastomer dan kondisi batas serta komponen pendukung lainnya.

Pada tulisan ini, nilai konstanta dari SEF digunakan untuk mendefinisikan material-material yang telah ditentukan berdasarkan hasil uji coba yang dilakukan sebelumnya, dengan parameter tetap kecepatan konstan dan koefisien gesek adhesi masing – masing bernilai 300 mm/s dan 0.6.

### 3. Hasil dan Pembahasan

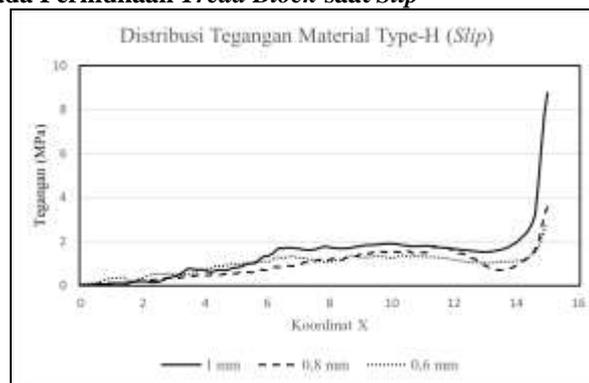
#### 3.1 Plot Kontur Deformasi *Tread Block*

Kontur permukaan pada *tread block* dengan material SBR 25, Type-S dan Type-H pada kedalaman penekanan 1 mm dengan kecepatan 300 mm/s dan koefisien gesek adhesi 0.6 saat kondisi statis, *stick* dan *slip*. Dari kontur yang didapatkan, ketiga material menghasilkan kontur deformasi yang hampir serupa pada setiap fase, baik saat ditekan, saat melekat maupun saat *tread block* bergeser terhadap permukaan *rigid*, hanya dibedakan oleh besarnya nilai dan distribusi dari tegangan yang dihasilkan.

#### 3.2 Hasil Simulasi dengan Fungsi Waktu saat *Slip*

Tegangan maksimum total yang dihasilkan pada saat *slipping*, pada ketiga material mengalami kenaikan secara bertahap hingga mencapai titik maksimum saat fase *sticking* kemudian mengalami penurunan nilai saat fase *slipping*. Lalu grafik mengalami fase *sticking* dan *slipping* beberapa kali hingga akhir grafik. Nilai gaya reaksi vertikal total pada fase *slipping*, grafik mengalami penurunan yang bertahap pada material SBR 25 dan cukup stabil pada material Type-S dan Type-H. Nilai gaya reaksi horizontal total saat fase *slipping*, grafik yang dihasilkan oleh material SBR 25, Type-S dan Type-H memiliki pola yang hampir sama, diawali dengan 0 karena *tread block* belum bergerak hingga perlahan meningkat dan mengalami fase *sticking* dan *slipping*. Nilai koefisien gesek total saat fase *slipping*, ketiga material menunjukkan pola yang hampir sama dimana nilai koefisien diawali dari nilai 0 karena masih dalam posisi diam lalu perlahan nilai koefisien gesek bertambah akibat dari *tread block* mengalami fase *sticking* hingga *tread block* memasuki kondisi *slipping* dan *sticking* yang ditandai dengan nilai koefisien gesek yang fluktuatif hingga akhir simulasi.

#### 3.3 Distribusi Tegangan pada Permukaan *Tread Block* saat *Slip*



Gambar 1 Distribusi tegangan dengan variasi kedalaman pada material Type-H

Distribusi tegangan maksimum yang dihasilkan pada ketiga material saat fase *slip*, menunjukkan pola yang secara garis besar sama, baik pada material SBR 25, Type-S dan Type-H, dimana nilai grafik menunjukkan pola distribusi tegangan yang semakin tinggi di bagian kanan karena gesekan yang sangat tinggi, pada bagian kiri menghasilkan nilai yang lebih rendah karena gesekan yang terjadi lebih minimum. Semakin besar kedalaman penekanan makin, tegangan yang dihasilkan cenderung lebih besar.

#### 3.4 Distribusi Gaya Kontak Permukaan *Tread Block* saat Statik *Stick* dan *Slip*

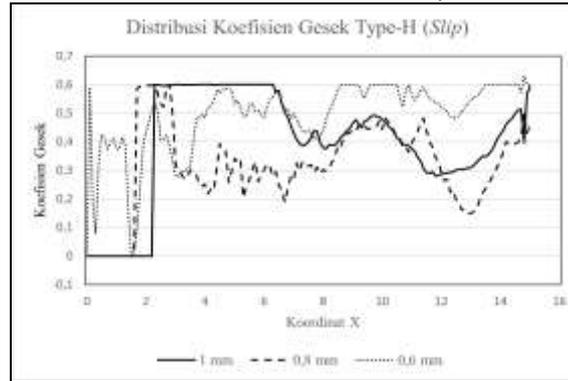
##### 3.4.1 Distribusi Gaya Vertikal

Distribusi gaya vertikal yang dihasilkan oleh ketiga material memiliki pola yang serupa. Pada fase statis, grafik menghasilkan pola yang tinggi di kiri dan kanan, pada fase *stick* grafik lebih tinggi pada bagian kanan dan lebih rendah pada bagian kiri, sedangkan pada fase *slip* grafik lebih tinggi pada bagian kanan dan 0 pada bagian kiri karena tidak adanya gesekan pada bagian kiri, semakin besar kedalaman penekanan, nilainya semakin besar.

##### 3.4.2 Distribusi Gaya Horizontal

Distribusi gaya horizontal yang dihasilkan oleh ketiga material memiliki pola yang hampir sama. Pada fase statis, grafik menghasilkan pola yang tinggi di bagian kanan dan kiri dengan pola yang serupa, pada fase *stick* distribusi lebih tinggi pada bagian kanan dan lebih rendah pada bagian kiri, saat fase *slip* dsitribusi lebih tinggi pada bagian kanan dan mencapai 0 pada bagian kiri karena tidak adanya gesekan, semakin besar kedalaman penekanan, nila gaya reaksi semakin besar.

### 3.5 Distribusi Koefisien Gesek Permukaan *Tread Block* saat Statis, *Stick* dan *Slip*



**Gambar 2** Distribusi koefisien gesek material Type-H dengan variasi kedalaman pada fase *slip*

Distribusi koefisien gesek yang dihasilkan oleh ketiga material memiliki pola yang hampir sama. Pada fase statis, grafik yang dihasilkan memiliki pola yang hampir serupa pada setiap kedalaman penekanan. Pada fase *stick*, bagian kanan cenderung menghasilkan bagian dengan nilai tinggi yang lebih banyak daripada bagian kiri. Pada fase *slip*, pada bagian kiri nilainya adalah paling rendah sedangkan pada bagian tengah dan kanan berfluktuasi dan menghasilkan nilai lebih tinggi.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan dari tugas akhir ini, kesimpulan yang dapat penulis sampaikan, antara lain:

1. Pemodelan kontak gesek antara *tread block* terhadap permukaan *rigid* dengan parameter yang telah ditentukan berhasil dilakukan.
2. Ketiga material menghasilkan kontur deformasi yang hampir serupa pada setiap fase, baik saat ditekan, saat melekat maupun saat *tread block* bergeser terhadap permukaan *rigid*, hanya dibedakan oleh besarnya nilai dan distribusi dari tegangan yang dihasilkan.
3. Semakin besar kedalaman penekanan yang diberikan pada *tread block* maka nilai dari tegangan maksimum dan gaya reaksi yang dihasilkan cenderung mengalami peningkatan.
4. Nilai koefisien gesek pada material SBR 25 cenderung meningkat, pada material Type-S cenderung sama dan pada material Type-H cenderung lebih rendah seiring bertambahnya kedalaman penekanan.
5. Distribusi tegangan dan gaya reaksi pada fase *slipping* menghasilkan pola yang semakin tinggi pada bagian kanan *tread block*. Pada distribusi koefisien gesek saat fase *slipping* pada material SBR 25 terlihat lebih stagnan dan terlihat lebih fluktuatif pada material Type-S dan Type-H.

#### 5. Daftar Pustaka

- [1] Danesworo, D., Setiyana, B., & Tauviqirrahman, M. (2021). Investigasi Dampak Beban Pada Kontak Gesek *Tread Block* SBR 25 Pada Permukaan *Rigid* Dengan Metode Finite Element. *Jurnal Teknik Mesin* 9(3), 417-428.
- [2] Fuadi, Z. (2016). Analisis Pengaruh Perbedaan Koefisien Gesekan Statis dan Kinetis Terhadap Gerakan *Stick-Slip* Menggunakan Bahan Viskoelastis. *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, 11(1), hal. 51-55.
- [3] Garcia, M. J. R., Ruiz, O. E. S., Lopez, C., Gonzalez, L. Y. S., Botero, M. G. dan Betancur, M. (2005). *Hyperelastic Material Modeling*, Technical Report, hal. 85.
- [4] Gent, A. N. (1992). *Engineering with Rubber, How to Design Rubber Components-2nd Edition*. Munich: Hanser Publisher.
- [5] Kato, K., & Adachi, K. (2001). *Modern Tribology Handbook (Vol 1)*.
- [6] Liang, H. (2007). *Investigating the Mechanism of Elastomer Abrasion*. PhD thesis, University of London, London.
- [7] Madenci, E., & Guven, I. (2015). *The Finite Element Method and Applications in Engineering using ANSYS 2nd Edition*. Springer.
- [8] McKeen, L. W. (2012). *Film Properties of Plastics and Elastomers*. 3rd Edition. Kidlington, Oxford: Elsevier.
- [9] Setiyana, B., & Hanitya, M. I. (2024). Study on the Friction Contact Model between a *Rigid Ball* and Rubber Surface with Various Rubber Materials: A Numerical Investigation. *International Research Journal of Innovations in Engineering and Technology* 8(4), hal. 105-111.
- [10] Shahzad, M., Kamran, A., Siddiqui, M. Z., & Farhan, M. (2015). Mechanical Characterization and FE Modelling of a Hyperelastic Material. *Material Research* 18(5), hal. 918-924.