

## INVESTIGASI DAMPAK KECEPATAN TERHADAP KONTAK GESEK *TREAD BLOCK* SBR 25 PADA PERMUKAAN *RIGID* DENGAN METODE *FINITE ELEMENT*

\*Andar Naek Kristian Nainggolan<sup>1</sup>, Budi Setiyana<sup>2</sup>, Mohammad Tauvqiirrahman<sup>2</sup>

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

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

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

\*E-mail: andarnagl@gmail.com

### Abstrak

Setiap material memiliki ciri dan sifat yang berbeda, yang biasa disebut dengan sifat material. Dalam dunia industri pemilihan suatu material sangat diperhatikan karena dapat mempengaruhi proses produksi di industri tersebut. Untuk mengetahui sifat material, pengujian pada material tersebut harus dilakukan. Dalam melakukan suatu pengujian untuk mengetahui sifat suatu material, pemodelan dengan menggunakan program komputasi dapat menjadi solusi yang baik untuk mengurangi biaya yang dikeluarkan. Material hyperelastic merupakan model yang sering digunakan untuk material karet. Banyak peneliti yang telah mengembangkan teori tentang model *hyperelastic*, seperti Yeoh dan Mooney-Rivlin yang umumnya digunakan untuk material karet jenis *styrene-butadiene rubber* (SBR) yang diisi dengan *carbon black*. Pada penelitian ini menyajikan investigasi permodelan kontak gesek antara elastomer dengan permukaan *rigid* dengan variasi SEF (Yeoh dan Mooney Rivlin) dan variasi kecepatan (100 mm/s, 300 mm/s, 500 mm/s) dengan kedalaman indentasi 0,8 mm menggunakan bantuan *software* ABAQUS 6.14-5. Hasil dari penelitian berupa hubungan tegangan maksimum, gaya reaksi, dan koefisien gesek total terhadap perpindahan indenter arah horizontal. Berdasarkan hasil simulasi menunjukkan bahwa semakin kecil diameter indenter yang mengindentasi *elastomer*, tegangan maksimum dan koefisien gesek total yang didapat akan semakin besar. Semakin besar diameter indenter yang mengindentasi elastomer, gaya reaksi horizontal dan vertikal yang didapat akan semakin besar.

**Kata kunci:** *elastomer; hyperelastic*

### Abstract

Each material has different characteristics and properties, which are commonly referred to as material properties. In the industrial world the selection of a material is very concerned because it can affect the production process in the industry. To determine the properties of the material, testing on the material must be carried out. In conducting a test to determine the properties of a material, modeling using a computational program can be a good solution to reduce costs incurred. Hyperelastic material is a model that is often used for rubber materials. Many researchers have developed theories about the hyperelastic model, such as Yeoh and Mooney-Rivlin which are generally used for *styrene-butadiene rubber* (SBR) filled with *carbon black*. This research presents an investigation of friction contact modeling between elastomeric and rigid surfaces with variations of SEF (Yeoh and Mooney Rivlin) and variations of speed (100 mm/s, 300 mm/s, 500 mm/s) with an indentation depth of 0.8 mm with the help of ABAQUS 6.14-5 software. The results of this study are the relationship between maximum stress, reaction force, and total friction coefficient on the indenter displacement in the horizontal direction. Based on the simulation results, it shows that the smaller the diameter of the indenter that indents the elastomer, the greater the maximum stress and total friction coefficient obtained. The larger the diameter of the indenter that indents the elastomer, the greater the horizontal and vertical reaction forces obtained.

**Keywords:** *elastomer; hyperelastic*

### 1. Pendahuluan

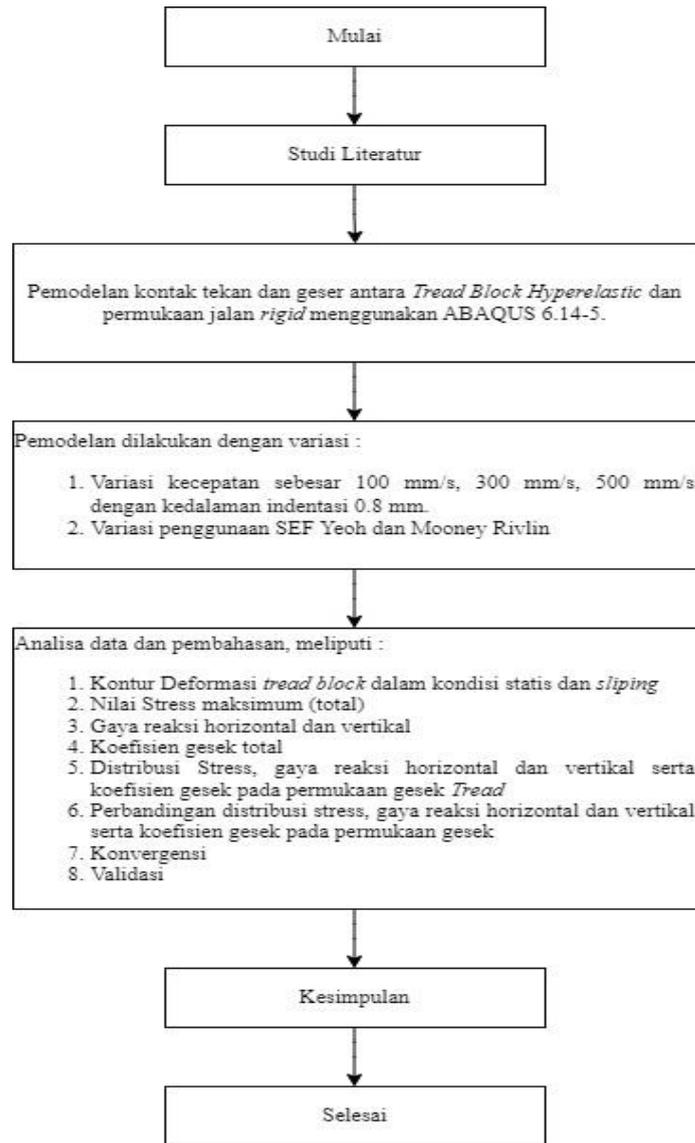
Setiap material memiliki ciri dan sifat yang berbeda, yang biasa disebut dengan sifat material. Dalam dunia industri pemilihan suatu material sangat diperhatikan karena dapat mempengaruhi proses produksi di industri tersebut [1]. Salah satu sifat material adalah sifat mekanis. Sifat mekanis adalah kemampuan suatu material dalam menerima beban dari luar seperti gaya, tekanan, regangan, dan lain – lain. Untuk mengetahui sifat material, pengujian pada material tersebut harus dilakukan. Contoh pengujian tersebut antara lain adalah uji tekan dan uji gesek pada suatu material elastomer yang sering dimodelkan sebagai material *hyperelastic* [2]. Tujuan pengujian tersebut adalah untuk

mengetahui fenomena yang terjadi [3].

Material *elastomer* merupakan salah satu material yang paling banyak digunakan didunia otomatis dan *aeroscope* [4]. *Elastomer* tersebut diproses dan diproduksi menjadi *enginements*, *bushings*, *door seals*, ban mobil atau motor, *conveyor belt*, kabel, aksesoris olahraga, dan lain – lain [5]. Material *elastomer* merupakan material yang mempunyai kemampuan untuk menerima gaya dan terjadi deformasi lalu kembali ke bentuk dan ukuran semula ketika gaya dihilangkan [6]. Abrasi adalah fenomena pelepasan material dari suatu permukaan karena interaksi dengan permukaan lain. Fenomena ini terjadi di hampir semua komponen elastomer. Abrasi dapat berupa penghilangan material dengan pemisahan fisik karena fraktur mikro, pelelehan pada permukaan kontak, atau dengan degradasi kimia [7]. Mekanisme abrasi *elastomer* dijelaskan dengan mempertimbangkan serangkaian faktor, seperti koefisien gesekan, tekanan, tekstur permukaan, kecepatan geser, suhu operasi, modulus elastisitas dan ketahanan lelah. Secara umum, abrasi tidak terjadi melalui mekanisme tunggal. Dalam material karet, ketika permukaan halus diabrasi, pola permukaan yang bergerigi secara paralel terbentuk yang arahnya tegak lurus dengan arah gerak dari abrader. Awalnya ukuran gerigi terbentuk dengan jarak dan dimensi tertentu dan dengan meningkatkan jumlah siklus abrasi, ukuran gerigi dan jarak antar gerigi akhirnya mempunyai dimensi dan jarak yang konstan. Karet merupakan material dengan senyawa *macromolecular* yang terdiri dari banyak *macromolecules*. Setiap *macromolecules* merupakan rantai *macromolecular* yang sangat panjang yang terbentuk dari beberapa unit struktur kimia yang terikat oleh ikatan kovalen [8]. *Elastomer* mempunyai sifat *non-linear* dan sering diisi dengan partikel *rigid* seperti karbon hitam, dimana akan meningkatkan kekakuan dari material seiring bertambahnya fraksi volume dari pengisi karbon hitam. *Elastomer* biasanya mengalami *cross-link* untuk membentuk *macromolecular polymer network* dimana rantai *polymer* bergabung satu sama lain pada interval yang acak [9]. Jenis material *elastomer* yang diteliti yaitu *styrene-butadiene rubber* dengan kandungan 25% karbon (SBR-25). Nilai konstanta material *hyperelastic* ditentukan berdasarkan hasil eksperimen yang telah dilakukan sebelumnya dan diambil pada buku karangan Hancheng Liang. Konstanta yang digunakan pada penelitian ini adalah model Yeoh. Analisa kontak menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan software ABAQUS 6.14-5.

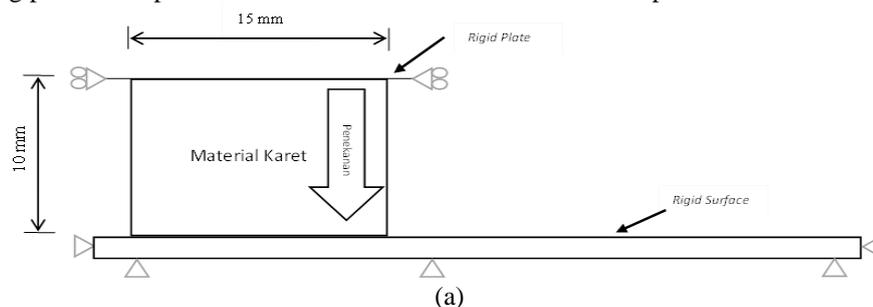
## 2. Dasar Teori dan Metodologi

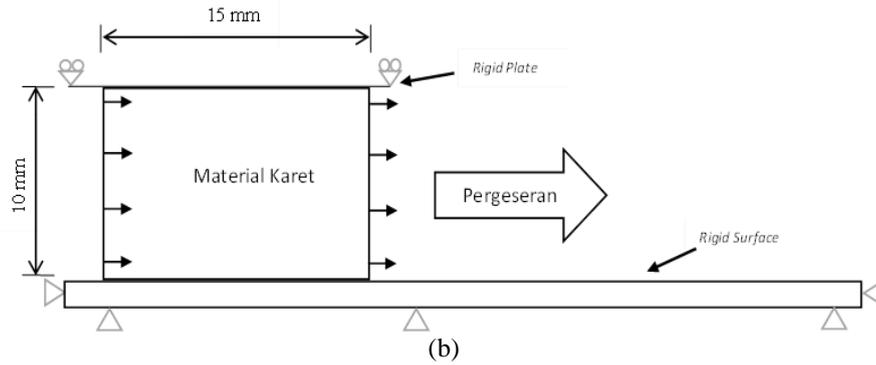
Pada penelitian ini terdapat beberapa proses dalam pemodelan desain dan Analisa mekanika kontak penekanan dan pergeseran antara permukaan jalan dengan *elastomer*, untuk mendapatkan hasil dari penelitian ini dilakukan simulasi yang dilakukan untuk pemodelan kontak tekan dan geser antara permukaan jalan *rigid* dan *elastomer*, yang dimulai dari proses penekanan terhadap *elastomer* lalu dilanjutkan dengan perpindahan horizontal *elastomer* terhadap permukaan *rigid* jalan sebesar 0.6 [10].



**Gambar 1.** Diagram Alir Penelitian

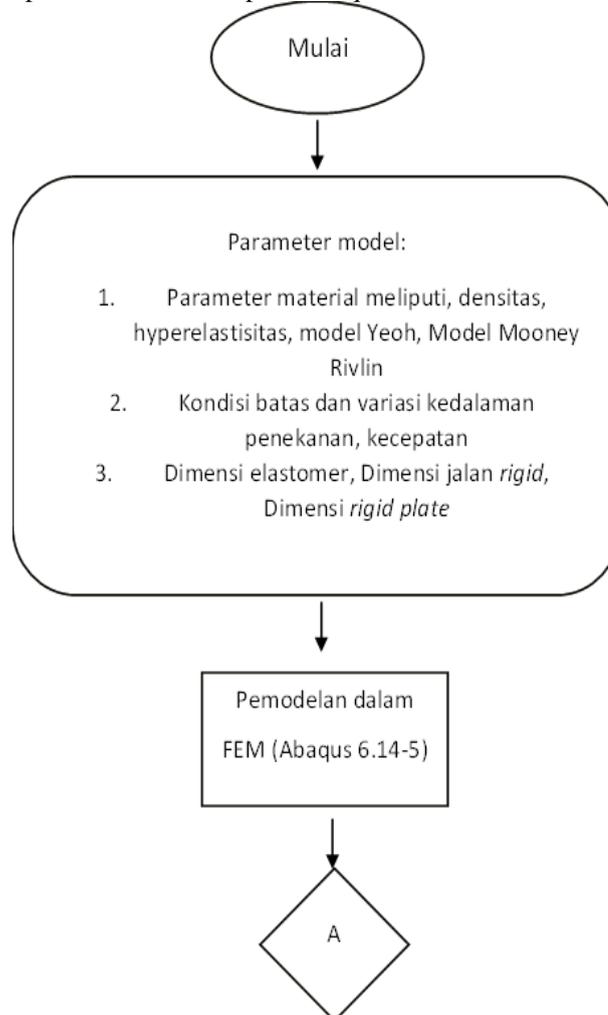
Fokus hasil yang dianalisa adalah dimana saat elastomer dalam proses *sliding*. Gambaran dari kasus ini di simulasikan dalam bentuk 2 dimensi (2D) dengan geometri yang dijelaskan pada gambar 2. Bagian jalan *rigid* di *constraint* diseluruh DOF dan permukaan bagian atas *elastomer* di *attached* pada *rigid plate* dengan fungsi untuk melakukan penekanan [11]. Penyelesaian kasus ini dilakukan dengan *finite element method* dengan bantuan *software* Abaqus 6.14-5. Terdapat 2 model yang disimulasikan dalam penelitian ini yaitu model SEF Yeoh dan Mooney Rivlin dengan kecepatan 100 mm/s, 300 mm/s dan 500 mm/s dengan kedalaman indentasi 0.8 mm. Nilai koefisien gesek adhesi yang diaplikasikan sebesar 0.6. Hasil yang diperoleh berupa kontur dan distribusi tegangan. Gambar tersebut menjelaskan tentang pemodelan pada *elastomer/treadblock* saat dalam kondisi penekanan.



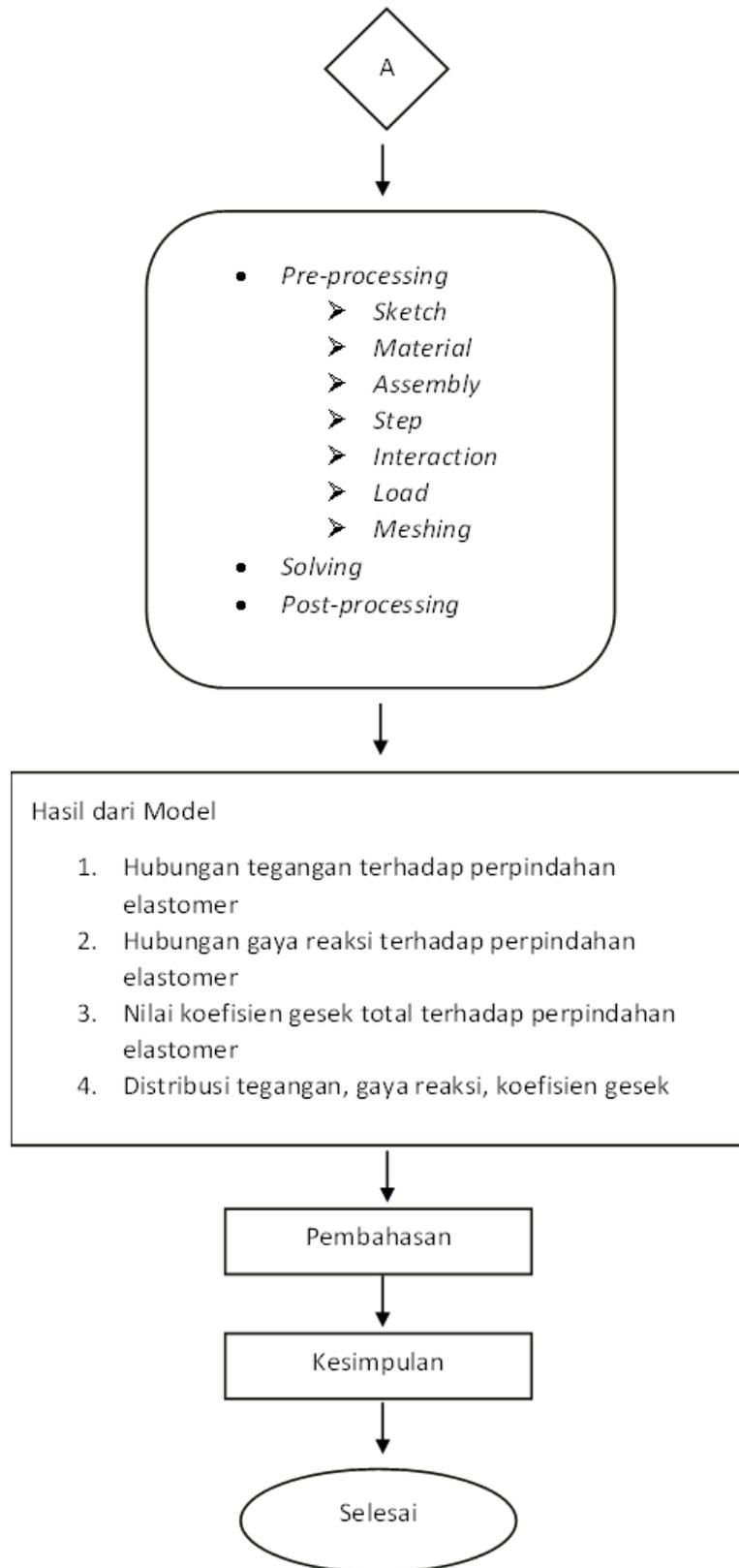


**Gambar 2.** Skema Pemodelan Kontak Penekanan dan Pergeseran pada *Elastomer* (a) Kondisi Penekanan (b) Kondisi Pergeseran

Berikut ini adalah flow chart pemodelan simulasi pada Abaqus 6.14-5.



**Gambar 3.** Flow Chart Pemodelan dalam Abaqus 6.14-5



**Gambar 4.** Flow Chart Permodelan dalam Abaqus 6.14-5 (lanjutan)

### 3. Analisis dan Pembahasan

Pada pemodelan yang dibuat, dilakukan simulasi dengan total jumlah 6 variasi simulasi. Rincian variasi data input pemodelan yang telah dilakukan ditunjukkan pada Tabel 1 di bawah.

**Tabel 1.** Data Input pada Simulasi Pemodelan

Parameter Tetap	Variasi Parameter
Material: SBR-25 Sifat: <i>Hyperelastic</i> $\mu_{adh} = 0.6$ Kecepatan : 300 mm/s	<i>Strain Energy Function:</i> 1. Yeoh 2. Mooney Rivlin
	Kecepatan: 1. 100 mm/s 2. 300 mm/s 3. 500 mm/s

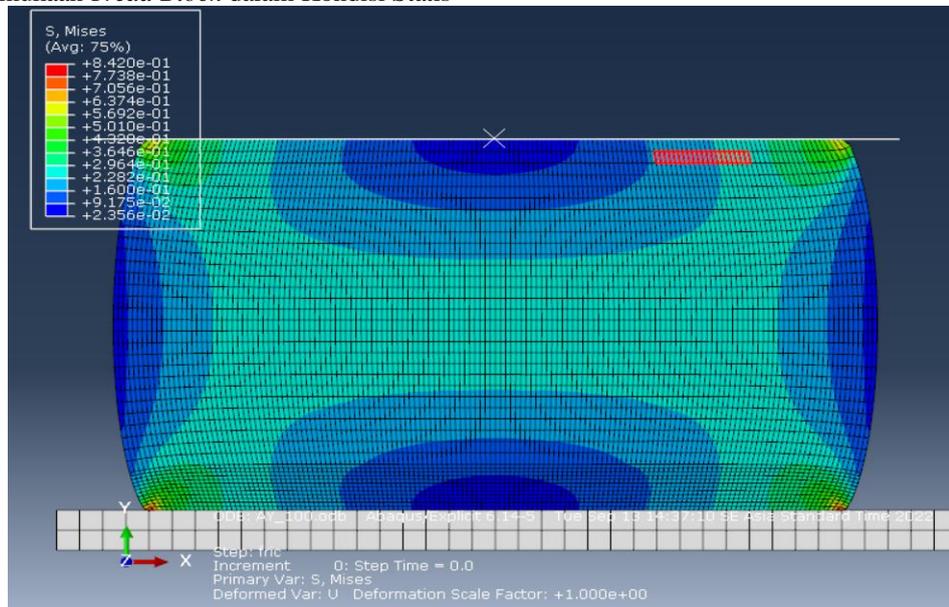
Dari hasil permodelan yang telah dibuat ada beberapa *output* yang didapat diantaranya yaitu:

1. Kontur permukaan *tread block* dalam kondisi statis dan *sliping*.
2. Nilai stress maksimum saat *sliping* (total).
3. Gaya reaksi horizontal dan vertikal saat *sliping* (total).
4. Koefisien gesek total saat *sliping*.
5. Distribusi stress, gaya reaksi horizontal dan vertikal serta koefisien gesek pada permukaan gesek *Tread*.
6. Perbandingan distribusi stress, gaya reaksi horizontal dan vertikal serta koefisien gesek pada permukaan gesek

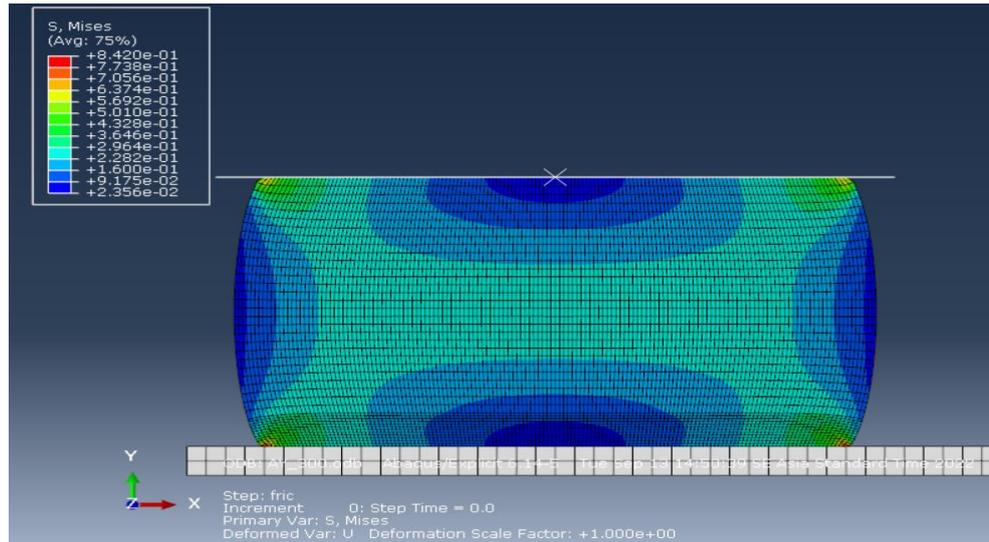
### 3.1 Kontur Permukaan *Tread Block* dalam Kondisi Statis dan *Sliping*

Berikut ini adalah kontur permukaan *tread block* dengan SEF Mooney Rivlin dan Yeoh pada kedalaman 0.8 mm dengan variasi kecepatan penekanan, yaitu 100mm/s, 300 mm/s, dan 500 mm/s.

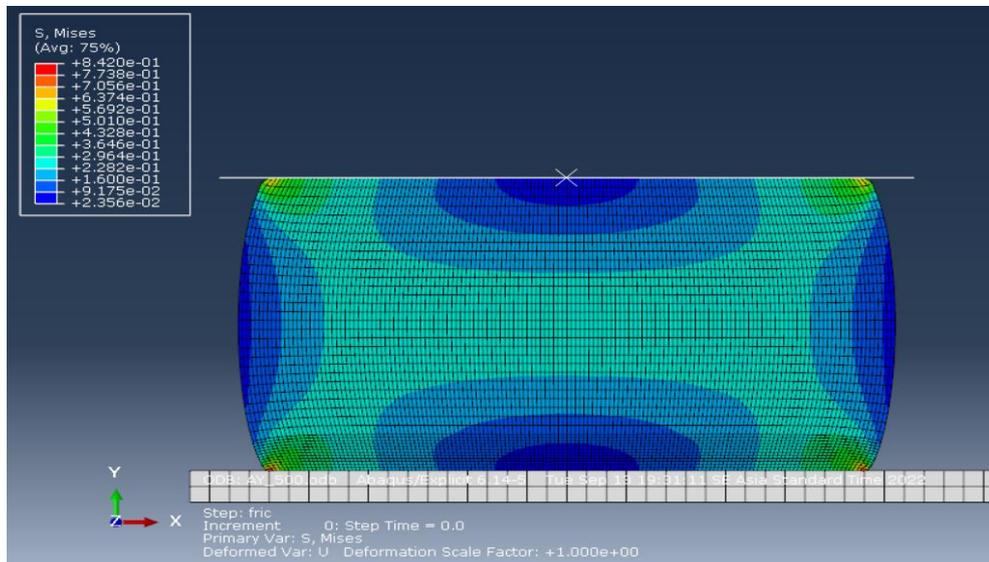
#### 3.1.1 Kontur Permukaan *Tread Block* dalam Kondisi Statis



(a)



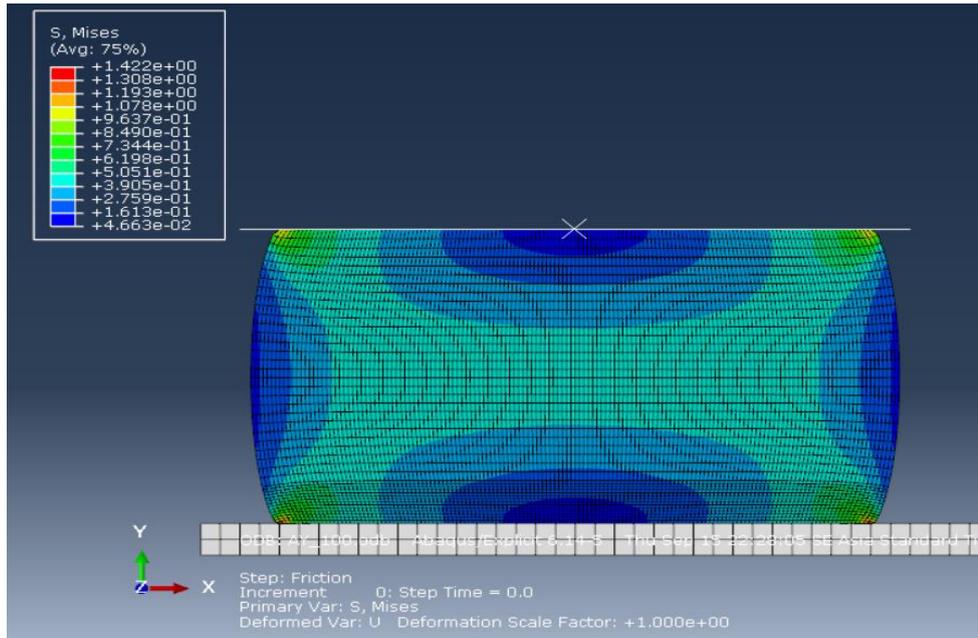
(b)



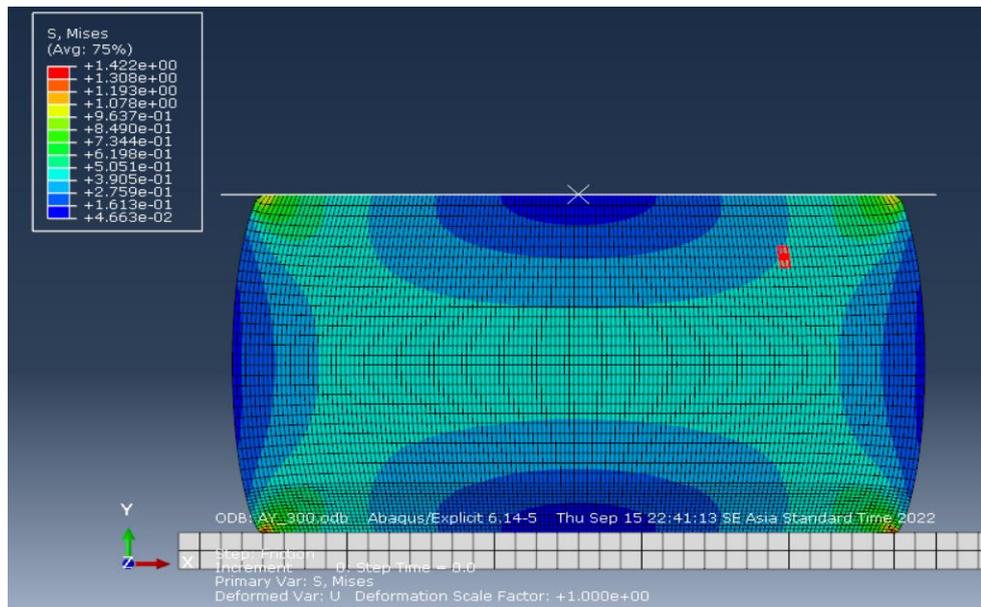
(c)

**Gambar 5** Kontur Deformasi Tread Block dengan SEF Yeoh dengan Kecepatan (a) 100 mm/s (b) 300 mm/s (c) 500 mm/s

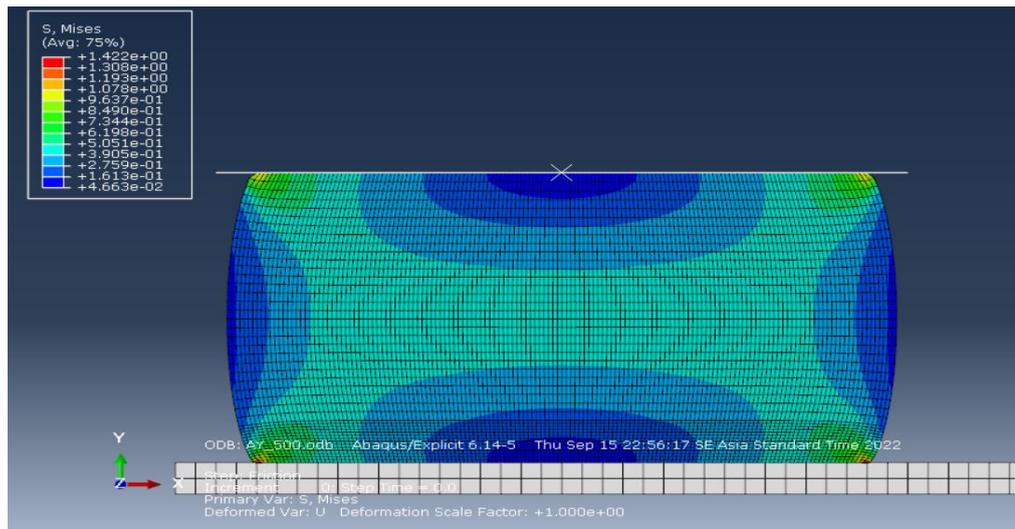
Berdasarkan grafik *Tread Block* dalam kondisi statis dengan SEF Yeoh, dapat dilihat bahwa dalam kecepatan 100mm/s, 300 mm/s, dan 500 mm/s, memiliki tingkat stress yang sama yaitu + 8420e-1. Tingkat stress yang sama ini terjadi akibat kondisi benda yang statis.



(a)



(b)

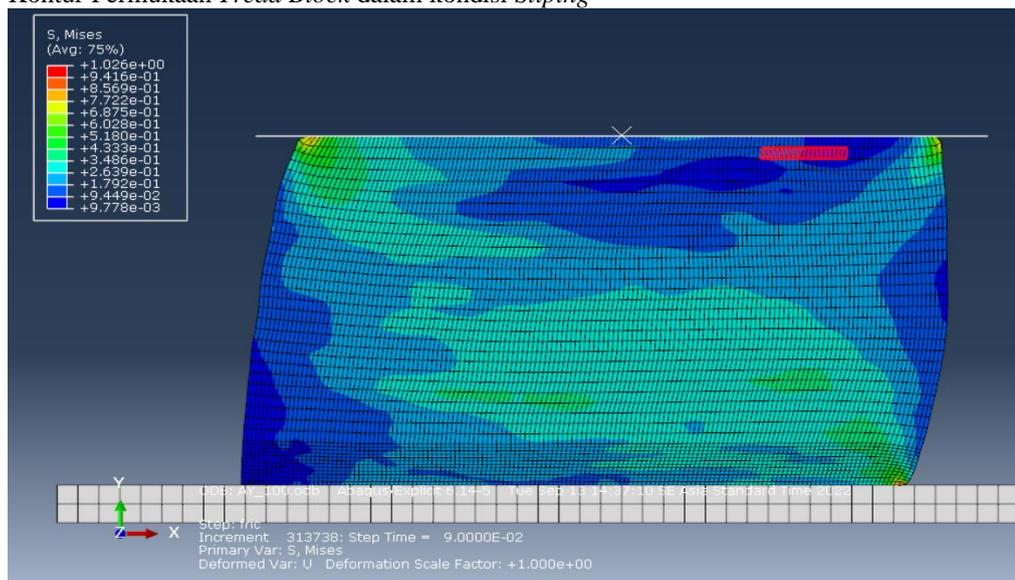


(c)

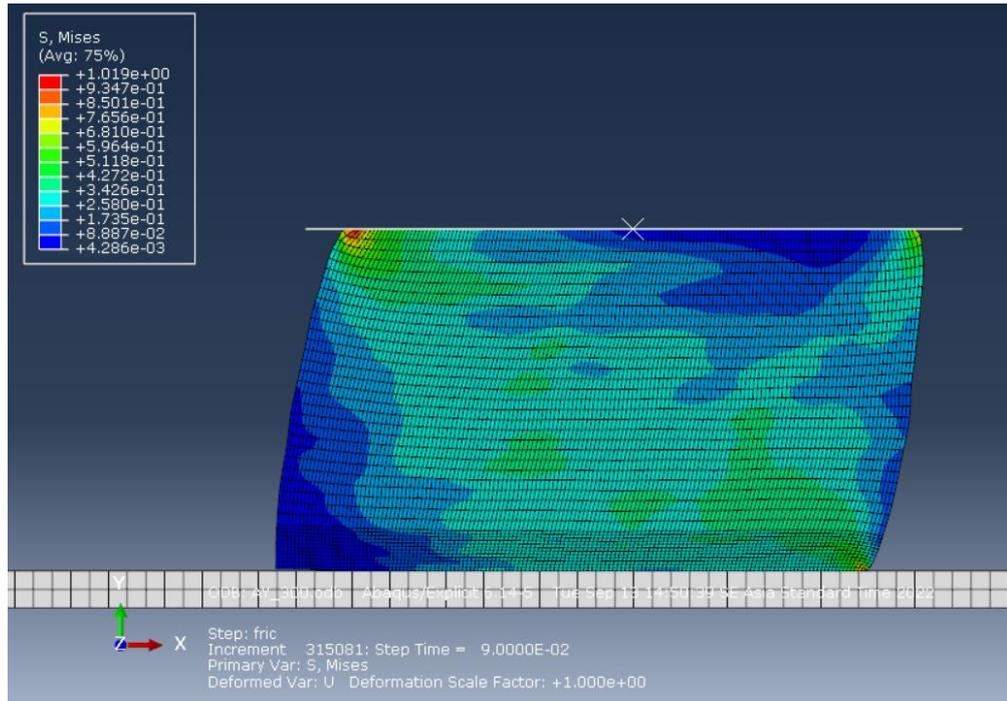
**Gambar 6.** Kontur *Tread Block* dengan SEF Mooney Rivlin dengan Kecepatan (a) 100 mm/s (b) 300 mm/s (c) 500 mm/s

Berdasarkan grafik *Tread Block* dalam kondisi statis dengan SEF Mooney Rivlin, dapat dilihat bahwa dalam kecepatan 100mm/s, 300 mm/s, dan 500 mm/s, memiliki tingkat stress yang sama yaitu + 1.422e. Tingkat stress yang sama ini terjadi akibat kondisi benda yang statis.

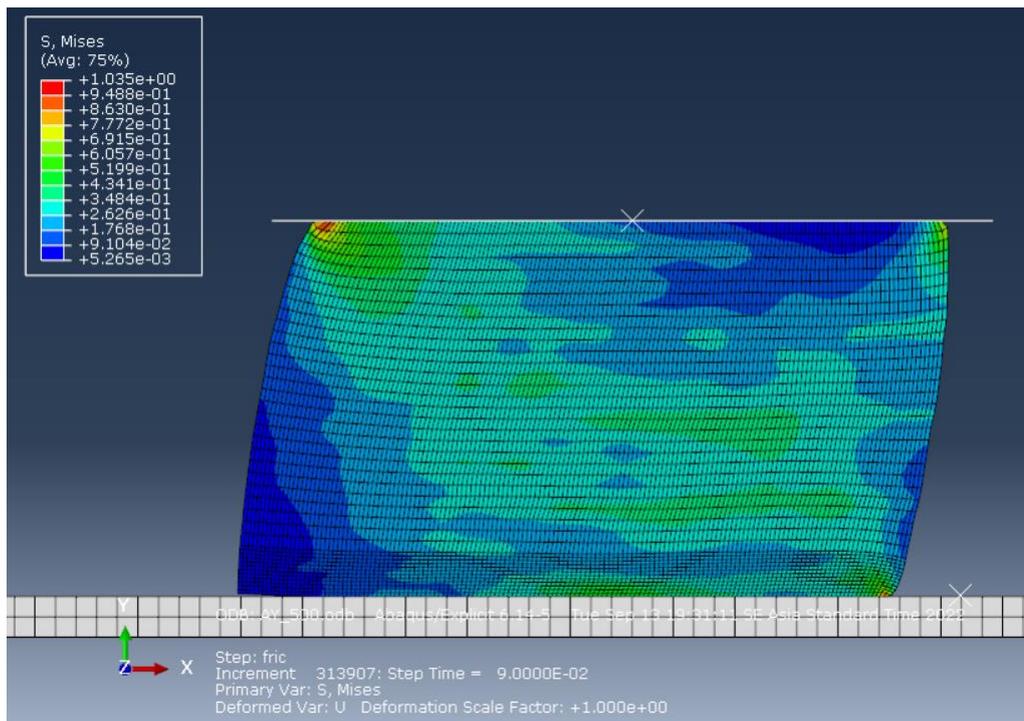
### 3.1.2 Kontur Permukaan *Tread Block* dalam kondisi *Sliping*



(a)



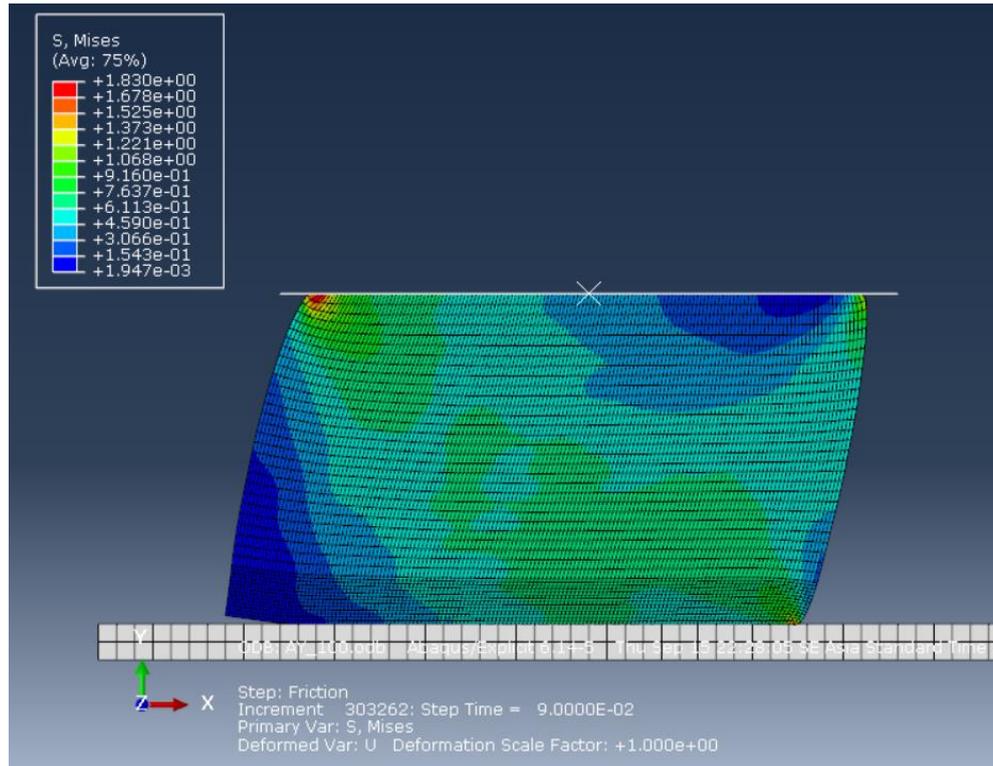
(b)



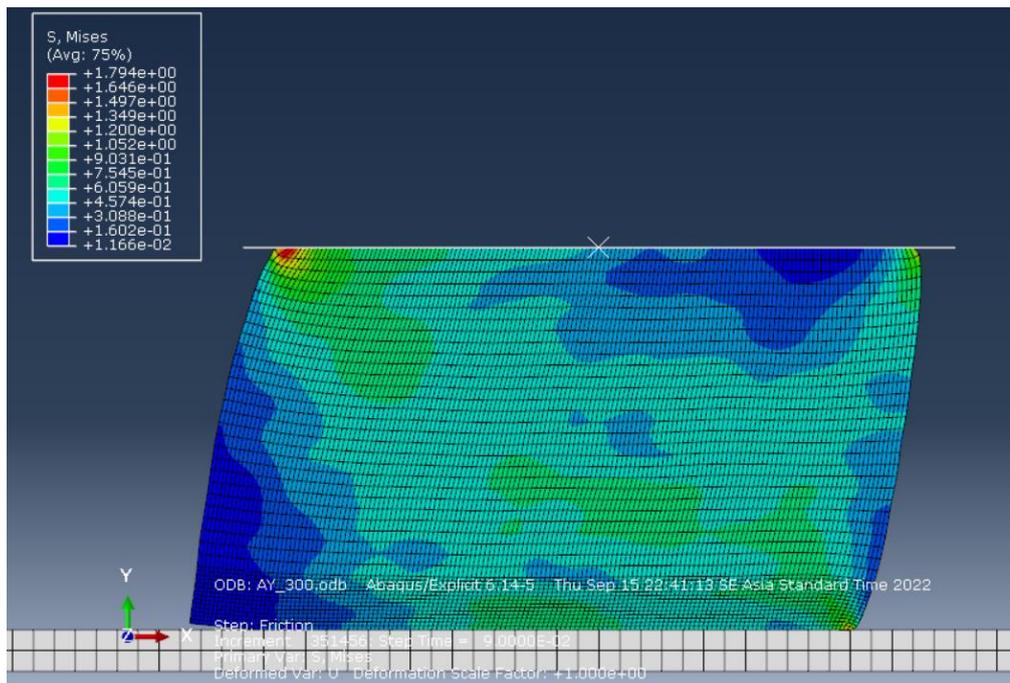
(c)

**Gambar 7.** Kontur Permukaan Tread Block dengan SEF Yeoh dengan Kecepatan (a) 100 mm/s (b) 300 mm/s (c) 500 mm/s

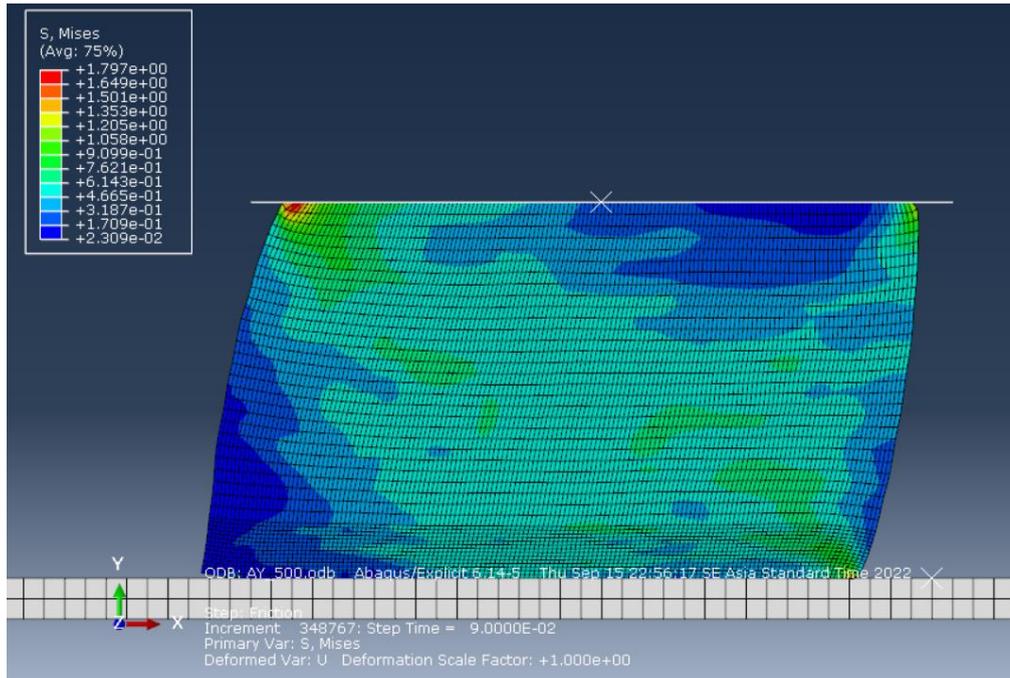
Berdasarkan grafik *Tread Block* dalam kondisi slipping dengan SEF Yeoh, dapat dilihat bahwa dalam kecepatan 100mm/s, 300 mm/s, dan 500 mm/s, memiliki tingkat stress yang berbeda yaitu, +1.026e, +1.019e, dan +1.035e.



(a)



(b)



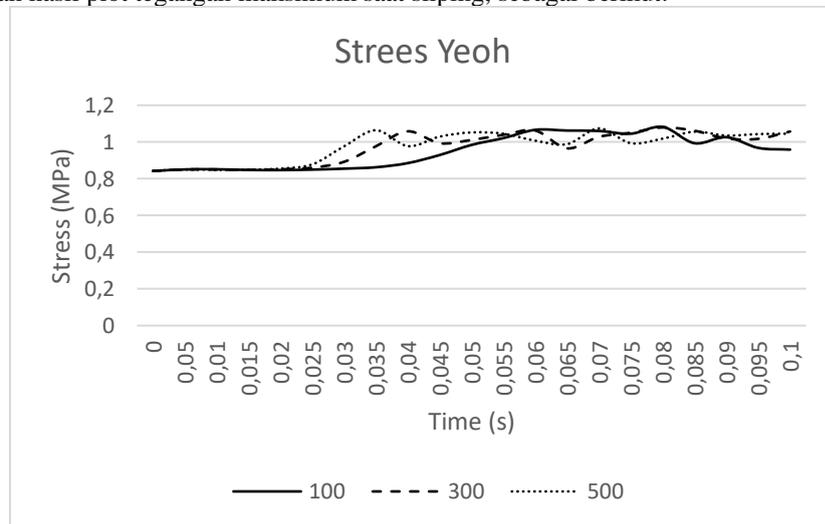
(c)

**Gambar 8.** Kontur Permukaan *Tread Block* dengan SEF Mooney Rivlin dengan Kecepatan (a) 100 mm/s (b) 300 mm/s (c) 500 mm/s

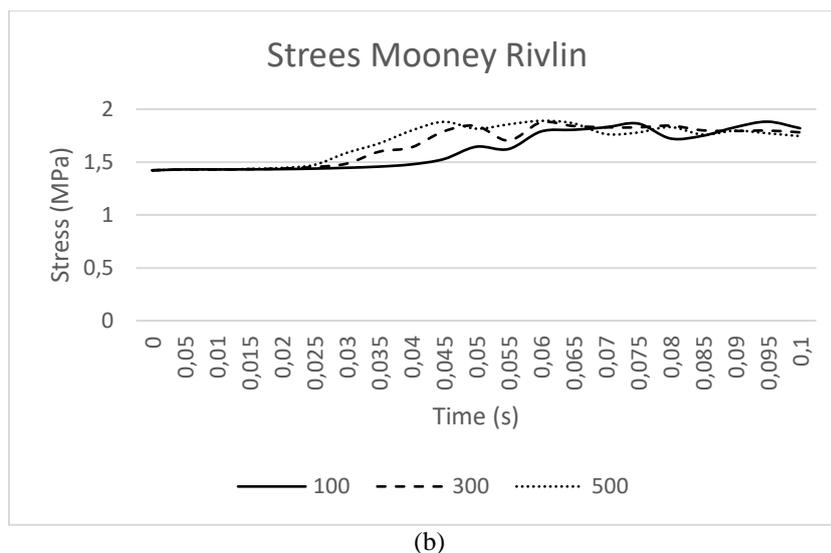
Berdasarkan grafik *Tread Block* dalam kondisi slipping dengan SEF Mooney Rivlin, dapat dilihat bahwa dalam kecepatan 100mm/s, 300 mm/s, dan 500 mm/s, memiliki tingkat stress yang berbeda yaitu, +1.830e, +1.794e, dan +1.797e.

### 3.2 Hasil Plot Tegangan Maksimum saat *Slipping* (Total)

Berikut merupakan hasil plot tegangan maksimum saat slipping, sebagai berikut:



(a)



**Gambar 9.** Hasil Plot Tegangan Maksimum Total (a) Yeoh (b) Mooney Rivlin

Berdasarkan grafik hasil plot tegangan maksimum pada metode Yeoh, dapat dilihat bahwa kondisi yang pertama kali mengalami *slipping* berturut-turut ialah pada kecepatan 500 mm/s, 300 mm/s, dan 100 mm/s. Hal ini menandakan bahwa benda tersebut akan mengalami *slipping* pertama kali pada kecepatan 500 mm/s. Jika dilihat dari tingkat stress tertinggi bahwa pada kecepatan 100 mm/s terjadi pada 0.095 s, pada kecepatan 300 mm/s terjadi pada 0.08 s, dan pada kecepatan 500 mm/s terjadi pada 0.07 s.

Berdasarkan grafik hasil plot tegangan maksimum pada Mooney Rivlin, dapat dilihat bahwa kondisi pertama kali mengalami *slipping* berturut-turut ialah pada kecepatan 500 mm/s, 300 mm/s, dan 100 mm/s. Hal ini juga menandakan bahwa benda tersebut akan mengalami *slipping* pertama kali pada kecepatan 500 mm/s. Jika dilihat dari tingkat stress tertinggi bahwa pada kecepatan 100 mm/s terjadi pada 0.08 s, pada kecepatan 300 mm/s terjadi pada 0.06 s, dan pada kecepatan 500 mm/s terjadi pada 0.06 s.

#### 4. Kesimpulan

Berikut adalah kesimpulan terkait dengan penelitian penelitian ini :

1. Permodelan kontak gesek antara *elastomer* dan permukaan *rigid* dengan variasi SEF (Yeoh dan Mooney Rivlin) dan variasi kecepatan (100 mm/s, 300 mm/s, 500 mm/s) telah berhasil dilakukan dengan menggunakan Abaqus 6.14-5.
2. Pada distribusi tegangan dan gaya reaksi vertikal dan horizontal pada saat *slipping* memiliki pola nilai yang meningkat pada daerah kanan *tread block* akibat dari arah pergerakan yang dialami. Sedangkan pada saat *sticking* terlihat nilai distribusi gaya vertikal dan horizontal yang lebih teratur daripada saat *slipping* karena pada fase ini *tread block* belum mengalami perpindahan. Pada distribusi reaksi gaya vertikal dan horizontal pada saat *tread block* mengalami penekanan statis terlihat paling teratur karena belum ada penerapan kecepatan pada *tread block*.
3. Semakin besar kecepatan yang diberikan kepada material *elastomer* maka tegangan maksimum dan gaya reaksi yang dihasilkan cenderung mengalami peningkatan. Nilai dari tegangan serta gaya reaksi akan meningkat seiring *tread block* memasuki fase *sticking* dan nilainya akan berfluktuasi sudah dalam tahap *slipping*.

#### 5. Referensi

- [1] Gent, A. N., 1992. Engineering with Rubber, how to design rubber components- 2nd Edition.
- [2] Hanhi, K., Poikelispää, M., Tirilä, H.M. 2007. Tampere University Of Technology The Laboratory Of Plastics And Elastomers Technology.
- [3] Liang, H., 2007. Investigating the mechanism of elastomer abrasion (Doctoral dissertation, University of London).
- [4] Maegawa, S. And Nakano, S., 2010. Mechanism of Stick-Slip Associated with Schallamach Waves. Wear, 924-930.
- [5] McKen, L. W. (2012). Film Properties Of Plastics And Elastomers. 3rd ed.
- [6] Moore, D. F. 1972. The Friction and lubrication of elastomers. 1st edn. Pergamon Press. New York.
- [7] Analytical Study of The Wear Pattern of An Abraded Rubber Surface: The Interaction Model. Tribology. Material Surface and Interface 1-7.
- [8] Setiyana, B., Ismail, R., Jamari, J. And Schipper, D.J., 2016. Stick-Slip Behaviour of a Viscoelastic Flat Sliding along a Rigid Indenter. Tribology Online, 11(4), pp.512-518.
- [9] Setiyana, B., Ismail, R., Jamari, J. And Schipper, D.J., 2018. Understanding The Occurrence of A Wavy Wear

Track on Elastomeric Materials Wear.

- [10] Stachowiak, G. W. and Batchelor, A. W. (1993) Engineering Tribology. Elsevier. Netherlands.
- [11] Zhang, S.W., 2004. Tribology of elastomers (Vol. 47). Elsevier.