

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

*Daniel Danesworo¹, Budi Setiyana², Muhammad Tauviqirrahman²

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: edenw95@gmail.com

Abstrak

Ban adalah salah satu komponen penting dalam kendaraan, ban memiliki komponen yang disebut *tread block* yang bergesekan langsung dengan permukaan jalan. Pada saat kendaraan bergerak, *tread block* akan mengalami pergerakan translasi dan rotasi, sehingga *tread block* akan mengalami berbagai gaya. Dalam penelitian ini digunakan metode *finite element* untuk menganalisa gaya gaya yang terjadi pada *tread block* mengalami tranlasi dimana komponen tersebut akan mengalami penekanan dan pergeseran pada permukaan keras, pembahasan pada penulisan ini akan membahas dampak dari perbedaan kedalaman penekanan dan penggunaan *SEF* yang berbeda pada *tread block* saat mengalami penekanan dan pergeseran pada permukaan *rigid* dengan kecepatan yang konstan. Dengan menggunakan *software ABAQUS6.14-5* untuk memodelkan model 2 dimensi akan dimodelkan simulasi penekanan dan pergeseran pada *tread block* untuk mengetahui dampak penekanan dan perbedaan *SEF* pada tegangan yang akan terjadi pada *tread block* gaya – gaya reaksinya pada sumbu vertikal dan horizontal dan koefisien gesek total yang terjadi, serta distribusi tegangan, gaya – gaya reaksi serta distribusi koefisien gesek pada permukaan *tread block* yang bergesekan langsung pada permukaan jalan.

Kata kunci : *hyperelastis; mooney rivlin; SEF; tread block; yeoh*

Abstract

Tires are one of the important components in a vehicle, tires have a component called a tread block that rubs directly against the road surface. When the vehicle moves, the tread block will experience translational and rotational movements, so that the tread block will experience various forces. In this study, the finite element to analyze the forces that occur in the tread block component will experience emphasis and shift on the hard surface . where the subjected to compression and displacement of the rigid at a constant rate. By using software to model a 2-dimensional model, a simulation of compression and shift in the tread block to determine the impact of stress and SEF on the stresses that will occur in the tread block , the reaction forces on the vertical and horizontal axes and the total friction coefficient. that occurs, as well as the distribution of stresses, reaction forces and the distribution of the coefficient of friction on the surface of the tread block that rubs against the road surface.

Keywords : *hyperelastis; mooney rivlin; SEF; tread block; yeoh*

1. Pendahuluan

Elastomer adalah suatu kelas dari material polimerik yang dapat diregangkan berkali – kali sampai dua kali panjang semula dengan sedikit atau sama sekali tidak menghasilkan deformasi permanen. Elastomer biasanya dipilih berdasarkan kekerasan dan sifat penyerapan energi. Elastomer dapat ditemukan dibanyak aplikasi, seperti otomotif, bumper, dan perpipaan industri. Elastomer dapat dibuat dari material termoplastik maupun termoset dan biasanya diuji dan dikategorikan secara berbeda dibandingkan dengan material rigid [2].

Ban kendaraan bermotor adalah salah satu hal penting dalam mengoperasikan suatu kendaraan. Pada tahun 2018 ban kendaraan roda 4 terjual sebanyak 84 juta unit di Indonesia menurut data APBI. Dengan nilai penggunaan yang tinggi tentu saja baik sisi desain, material dan konstruksi ban perlu sangat diperhatikan untuk menunjang keamanan dan kenyamanan saat berkendara. Salah satu hal yang perlu diperhatikan pada komponen ban adalah *Tread block* atau blok Kembangan dari ban. *Tire block* dari ban dalam kondisinya Ketika digunakan di subjeksikan terhadap berbagai kondisi menyetir yang berbeda – beda di jalanan seperti percepatan atau pengereman ABS dan juga *cornering* di dalam kondisinya sehari – hari. Dalam kondisi tersebut *tread block* akan mengalami kondisi tekanan yang berbeda – beda sehingga akan berpengaruh pada kontak dan gaya gesek yang terjadi akibat dari kondisi yang berbeda – beda [3].

Pada umumnya sifat elastisitas material *solid* atau logam menggunakan hukum Hooke yang menyatakan regangan yang terjadi pada material selalu proporsional dengan tegangan yang diberikan pada material tersebut dalam

batas elastisitasnya.[6]. Hiperelastisitas adalah suatu kemampuan dari sebuah material untuk mengalami regangan *elastic* yang signifikan yang disebabkan oleh gaya yang kecil tanpa harus kehilangan sifat aslinya. Sifat material yang hyperelastis ini memiliki sifat yang non linier yang menyebabkan hukum elastisitas Hooke tidak dapat diterapkan pada material ini [7]. Suatu material *Hyperelastis* memiliki perilaku yang tidak linier yang menyebabkan deformasi tidak secara langsung proporsional terhadap beban yang diberikan kepada material [8]. Perilaku stress-strain dari material hyperelastis sangat nonlinear dan simple modulus of elasticity tidak lagi cukup. Maka dari itu, karakterisasi dari perilaku elastic dari highly extensible, material nonlinear merupakan hal yang sangat penting [9]. Maka dari itu Koefisien dari Stored Energy Function (SEF) digunakan untuk mendeskripsikan perilaku kekakuan dari unfilled compound dan filled SBR compound didapatkan dari pengujian tarik yang sederhana [1].

Abrasi dapat menjadi pengikis material yang disebabkan oleh pemisahan fisik dikarenakan oleh micro-fracture, dengan melelehkan pada kontak permukaan, atau dengan degradasi kimia [10]. Abrasi dapat berupa penghilangan material dengan pemisahan fisik karena fraktur mikro, pelepasan pada permukaan kontak, atau dengan degradasi kimia. 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 [1]. Dua jenis gerakan periodik diamati yang mungkin merupakan sumber mekanisme abrasi, ini adalah *stick-slip* dan mikro-getaran yang dihasilkan selama gesekan geser *elastomer* [5].

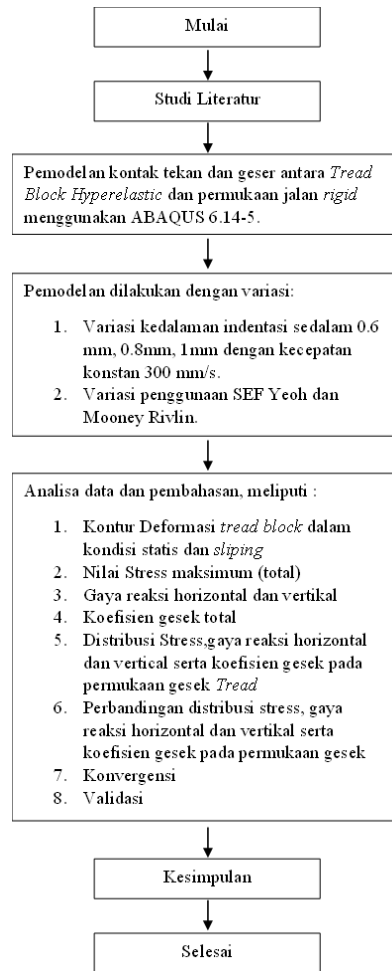
Maka dari itu material elastomer yang digunakan daripada ban harus mampu memiliki ketahanan yang baik terhadap berbagai gaya yang mungkin diberikan dalam kondisi berkendara. Pada umumnya waktu kontak suatu *tread block* dengan jalan dalam kecepatan 100Km/h adalah 5ms dimana *tread block* mengalami fase *stick* dan *slip*, Dimana fase *stick* adalah Ketika Kembangan roda melekat pada permukaan jalan dan *slip* adalah saat Kembangan roda mengalami fase bergeser. Dalam melakukan suatu pengujian untuk mengetahui dampak dari *loading* yang berbeda – beda pada *tread block* ban saat mengalami fase *stick* dan *slip* akan memerlukan biaya yang sangat besar terutama dalam mengakuisisi peralatan yang diperlukann untuk menyimulasikan Kembangan ban yang digesekan, Maka dari itu pemodelan dengan program komputasi dapat menjadi opsi yang baik untuk menyimulasikan fenomena yang sama dengan biaya yang lebih murah [3].

Pada penelitian ini akan membahas mengenai dampak pemberian tekanan yang berbeda – beda pada kondisi *sticking* serta pada kondisi *slipping* dengan kecepatan konstan terhadap kontak antara elastomer dengan permukaan jalan yang di simulasikan sebagai *rigid*. Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah *styrene-butadiene rubber* dengan kandungan karbon 25% karbon (SBR 25), Untuk variable yang digunakan dalam penelittian ini adalah variable tekanan yang akan diberikan pada permukaan atas dari Kembangan ban dalam simulasi. Nilai konstanta *hyperelastis* yang digunakan diambil dari pengujian yang telah dilakukan oleh Hanceng Liang dengan pemodelan Konstanta Yeoh. Analisa kontak menggunakan metode elemen hingga dengan *software ABAQUS 6.14-5* [4].

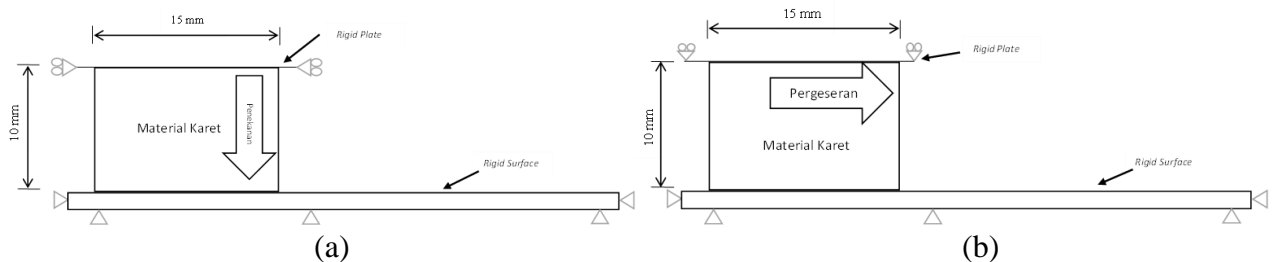
2. Metode Penelitian

Gambar dibawah adalah diagram alir penelitian yang dilakukan oleh penulis.Pemodelan dari kasus ini dimodelkan dalam bentuk 2 dimensi (*plane strain*) dengan membuat 2 model yaitu elastomer dengan SEF Yeoh dan SEF Mooney Rivlin dengan variasi kedalaman penekanan 0.6 mm, 0.8 mm, 1mm. pada simulasi elastomer/*tread block* akan ditekan dan digesekan pada permukaan jalan yang *rigid* untuk mencari tegangan maksimum, reaksi – reaksi gaya dan koefisien gesek total serta distribusi dari tegangan, rekasi gayanya dan koefisien gesek dari permukaan yang bergesekan langsung dengan permukaan jalan.

Pada Gambar 1 menunjukkan kondisi batas yang diterapkan pada saat simulasi, dimana ppada Gambar (a) pada fase penekanan, permukaan jalan di kunci pada semua *DOF* dan *rigid plate* di *constraint* pada sumbu X. Sedangkan pada Gambar (b) pada fase pergeseran, kondisi jalan masi sama seperti pada Gambar (a) sedangkan *rigid plate* di *constraint* pada sumbu Y. Spesimen memiliki Panjang 15 mm dan tinggi 10 mm. Pemodelan uji penekanan dan pergeseran dimulai dengan menentukan parameter material, kondisi batas dan dimensi dari elastomer serta komponen pendukung lainnya.

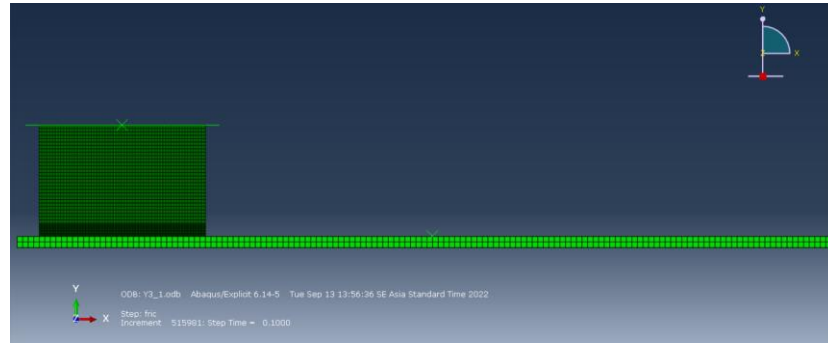


Gambar 1. Diagram alir penelitian



Gambar 2. (a) Kondisi batas saat fase penekanan, (b) kondisi batas saat fase pergeseran

Pada tulisan ini, nilai konstanta dari SEF yang digunakan untuk mendefinisikan material SBR- 25 yang digunakan berdasarkan hasil uji coba yang dilakukan oleh Liang [dan didapatkan hubungan tegangan – regangan untuk elastomer SBR – 25 yang digunakan dalam simulasi, dengan parameter tetap kecepatan dan koefisien gesek adhesi masing – masing bernilai 300 mm/s dan 0.6. Berikut ini adalah Gambar model simulasi yang telah diberikan *meshing*.

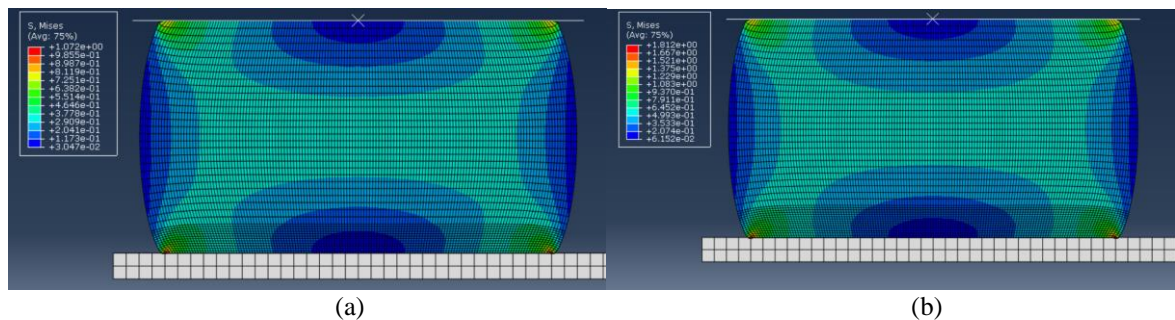


Gambar 3. Model yang telah dimeshing

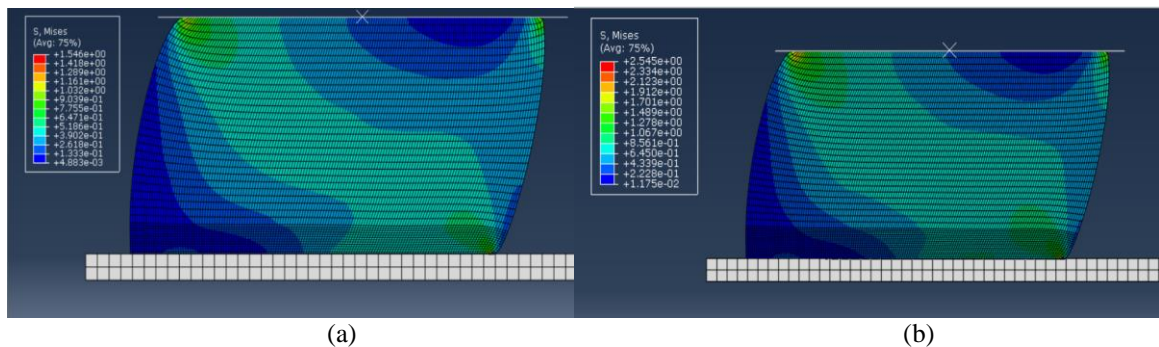
3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Plot Kontur Deformasi Tread Block

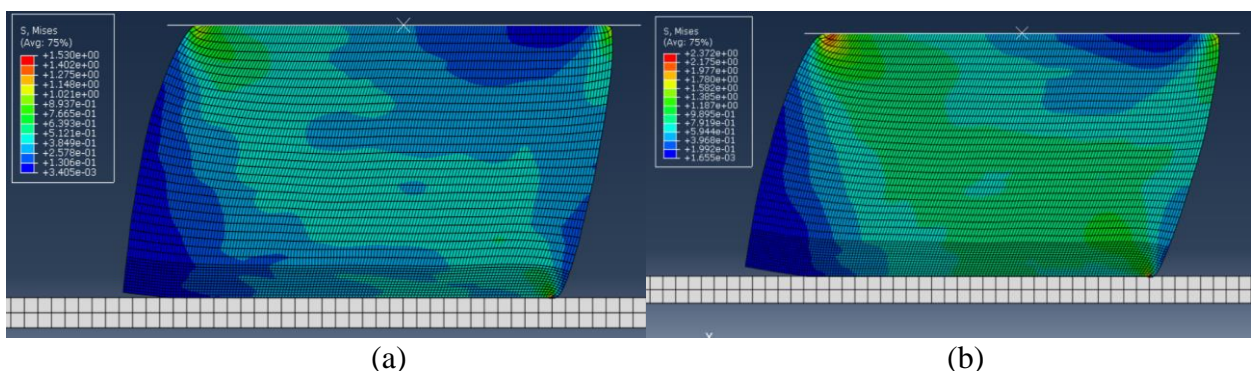
Berikut ini adalah sample plot kontur deformasi dari elastomer/tread block saat dalam fase statis, *stick* dan *slip* dengan kedalaman penekanan 1 mm.



Gambar 4 Kontur Deformasi saat kondisi statis (a) SEF Yeoh (b) SEF Mooney Rivlin



Gambar 5. Kontur Deformasi saat kondisi *stick* (a) SEF Yeoh (b) SEF Mooney Rivlin



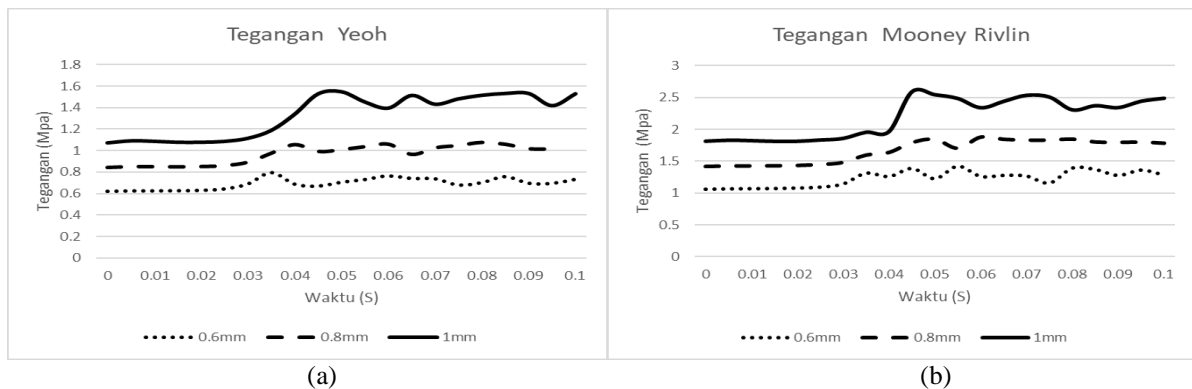
Gambar 6. Kontur Deformasi saat kondisi *slip* (a) SEF Yeoh (b) SEF Mooney Rivlin

Pada gambar 4, 5 dan 6 membandingkan antara kontur permukaan tread block dengan SEF Yeoh dan Mooney Rivlin dengan 1mm dengan kecepatan yang sama yaitu 300 mm/s dan koefisien gesek adhesi yang sama 0.6 saat

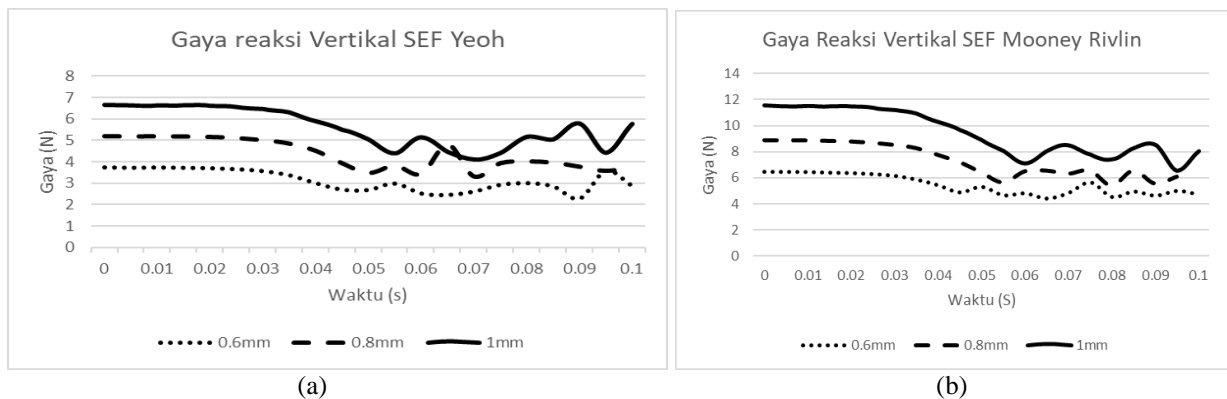
kondisi statis, *stick* dan *slip*. Dapat dilihat dari kontur yang dihasilkan dengan variasi Strain Energy Function yang berbeda akan menghasilkan nilai tegangan mises yang berbeda walaupun pada kedalaman indentasi yang sama. pada kedalaman indentasi 1mm SEF Yeoh menghasilkan tegangan maksimum 1.072 Mpa dan pada Rivlin menghasilkan 1.812 Mpa pada kondisi statis. 1mm SEF Yeoh menghasilkan tegangan maksimum 1.546 Mpa dan pada Rivlin menghasilkan 2.545 Mpa pada kondisi *stick* dan SEF Yeoh menghasilkan tegangan maksimum 1.53 Mpa dan pada Rivlin menghasilkan 2.372 Mpa pada saat *slipping*. Dari nilai tegangan maksimum tersebut dapat dilihat bahwa SEF Mooney Rivlin menghasilkan nilai tegangan maksimum yang lebih tinggi daripada Yeoh walaupun dalam kedalaman indentasi yang sama. Sedangkan untuk kontur distribusi tegangan dari kedua SEF tersebut terlihat teratur di seluruh permukaan dari tread block

3.2 Hasil Simulasi dengan Fungsi Waktu saat Slip

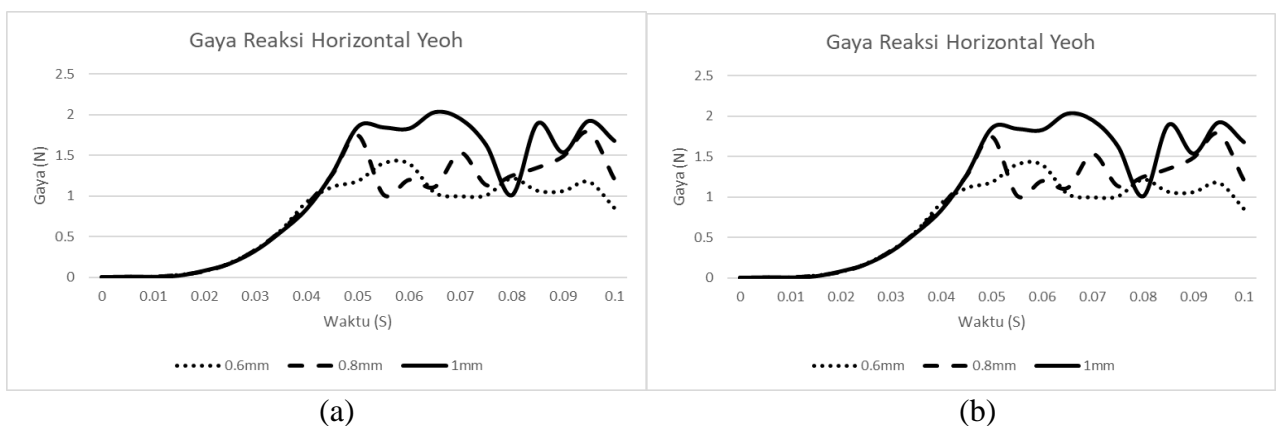
Hasil simulasi dengan fungsi waktu adalah hasil simulasi saat kecepatan telah diaplikasikan pada tread block dan telah bergeser atau *slipping*. Terdiri dari tegangan maksimum, Reaksi gaya vertikal dan Horizontal dan koefisien gesek.



Gambar 7. Hasil plot tegangan maksimum total (a) Yeoh (b) Rivlin



Gambar 8. Hasil plot gaya reaksi vertikal (a) Yeoh (b) Mooney Rivlin



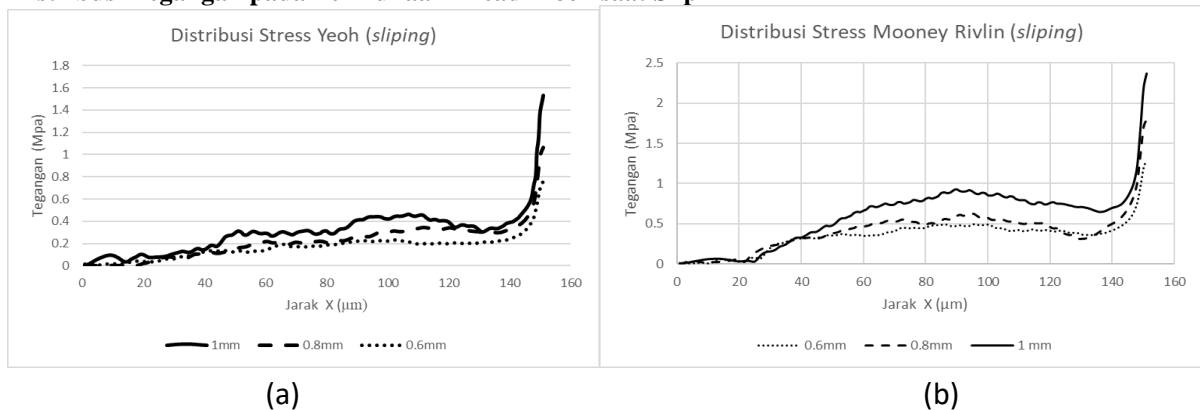
Gambar 9. Hasil plot gaya reaksi Horizontal (a) Yeoh (b) Rivlin

Pada pembahasan yang kedua yaitu tegangan maksimum total yang dihasilkan pada saat *slipping*, pada Gambar 4.8 terlihat pada grafik a dan b pada awalnya terlihat mengalami kenaikan stress yang stabil akibat *tread block* yang dalam tahap *sticking* hingga titik maksimum nya dan terlihat setelah itu grafik mengalami fluktuasi nilai akibat dari *tread block* yang mengalami tahap *slipping* dan *sticking* dan dapat diperhatikan semakin dalam indentasi yang dilakukan maka hasil stress maksimum nya juga akan meningkat.

Pada pembahasan yang ketiga yaitu nilai gaya reaksi vertikal total pada fase *slipping*, pada Gambar 4.9 terlihat pada grafik a dan b pada awalnya nilai gaya reaksi horizontal mengalami penurunan yang stabil, hal ini diakibatkan dari *treadblock* yang akan bergerak tetapi masih dalam kondisi *sticking* hingga mencapai titik *sticking* maksimal lalu nilai reaksi horizontal terlihat fluktuatif akibat dalam kondisi *sticking* dan *slipping*.

Pada pembahasan yang keempat yaitu nilai gaya reaksi horizontal total saat fase *slipping*, pada gambar 4.10 terlihat pada grafik a dan b pada awalnya nilai dari kedua grafik adalah 0 karena *tread block* dalam kondisi diam lalu secara perlahan nilai grafik mulai meningkat dengan stabil akibat transisi dalam kondisi *sticking* hingga mencapai titik *sticking* maksimum dan *tread block* mengalami kondisi *sticking* dan *slipping* yang ditandai dengan grafik yang fluktuatif pada grafik Yeoh dan Mooney Rivlin.

3.3 Distribusi Tegangan pada Permukaan Tread Block saat Slip



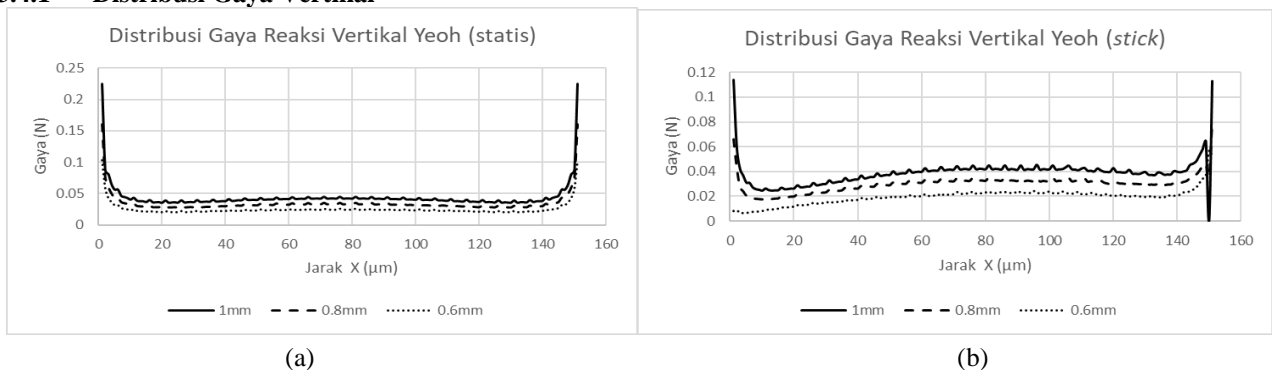
Gambar 10. Distribusi tegangan (a) Yeoh (b) Rivlin

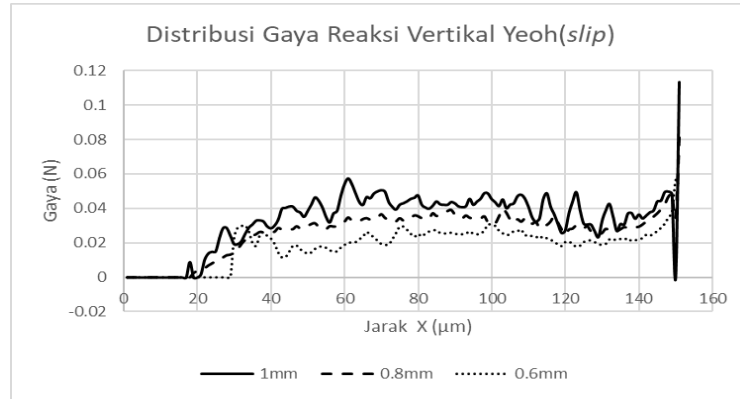
Pada gambar 10 dapat diperhatikan Distribusi tegangan pada bagian tiap elemen yang bergesekan langsung dengan permukaan rigid pada saat *tread block* mengalami *slipping*. Pada kedua grafik menunjukkan pola yang secara garis besar sama, Baik pada *SEF* Yeoh maupun Mooney Rivlin, Dimana grafik menunjukkan pola distribusi tegangan yang semakin besar ke arah kanan daripada elemen yang bergesekan dengan permukaan *rigid* dikarenakan arah pergerakan saat *tread block* bergerak menyebabkan distribusi tegangan yang jauh lebih tinggi pada sisi kanan dari *tread block* hal ini disebabkan oleh karena gesekan yang sangat tinggi pada elemen paling kanan yang menyebabkan nilai tegangan yang tinggi dan menurun pada sisi kiri dari *tread block* akibat gesekan yang lebih minimum. Pada titik tertinggi dari stress yang dihasilkan pada Yeoh dengan indentasi secara berurutan 0.6 mm, 0.8 mm, 1 mm adalah 0.75 Mpa, 1.06 Mpa, 1.52 Mpa sedangkan pada Rivlin secara berurutan nilai stress tertinggi pada distribusinya pada indentasi 0.6 mm, 0.8 mm, 1 mm adalah 1.20 Mpa, 2.01 Mpa, 2.37 Mpa.

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

Distribusi gaya kontak permukaan terdiri dari 2 properti yaitu reaksi terhadap gaya Vertikal dan Horizontal, berikut ini adalah hasil simulasi terhadap gaya reaksi Vertikal dan Horizontal dari permukaan tread block.

3.4.1 Distribusi Gaya Vertikal

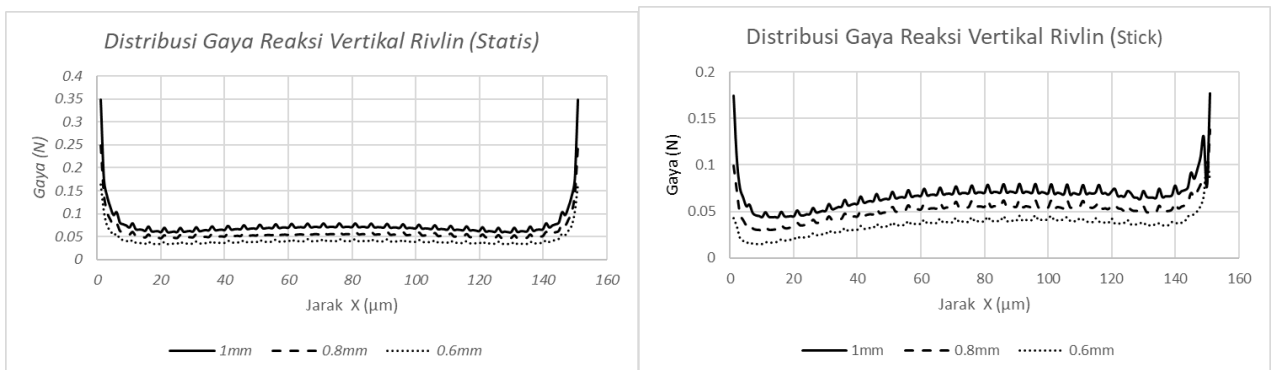




(c)

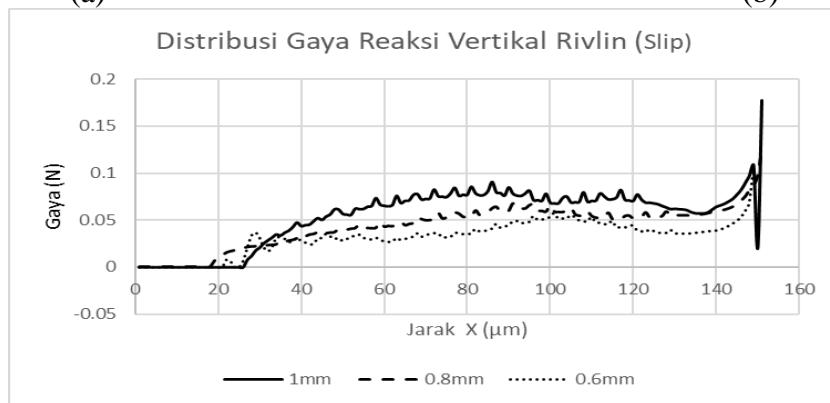
Gambar 11. Distribusi gaya reaksi vertikal Yeoh (a) statis (b) stick (c) slip

Pada gambar 11 dapat diperhatikan hasil dari plotting distribusi reaksi gaya vertikal dari SEF Yeoh pada kondisi slipping, sticking, dan statis. Pada saat tread block mengalami slipping dapat diperhatikan pada tiap elemen mengalami osilasi baik pada indentasi 0.6 mm hingga 1 mm hal ini diakibatkan oleh gesekan yang terjadi terhadap permukaan rigid sedangkan pada bagian paling kiri terlihat grafik menunjukkan angka 0 akibat dari pada bagian tersebut elemen tidak mengalami gesekan. Pada saat tread block mengalami fase sticking terlihat distribusi gaya vertikal yang terlihat stabil pada bagian tengah tread block kecuali pada bagian ujung kanan yang mulai mengalami gesekan akibat arah pergerakan horizontal dan pada bagian kiri tread block yang juga masih menempel pada permukaan rigid karena masih dalam tahap sticking. Pada tahap statis terlihat distribusi reaksi gaya vertikal pada tread block mengalami gaya yang jauh lebih besar pada bagian pojok kanan dan kiri dikarenakan gaya penekanan yang dialami tread block mengakibatkan elemen pada pojok kanan dan kiri mengalami gaya vertikal yang lebih tinggi daripada posisi elemen di tempat lain.



(a)

(b)

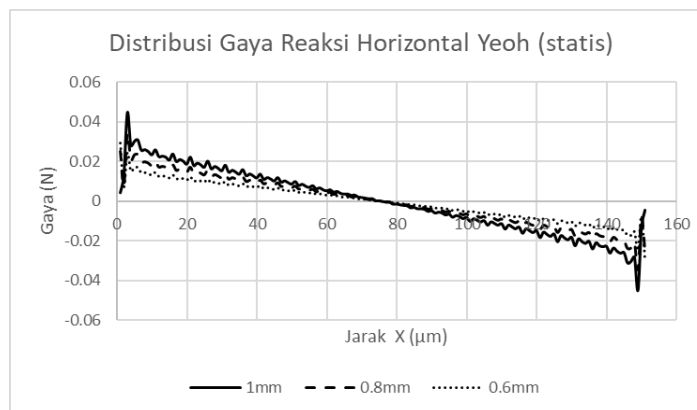


(c)

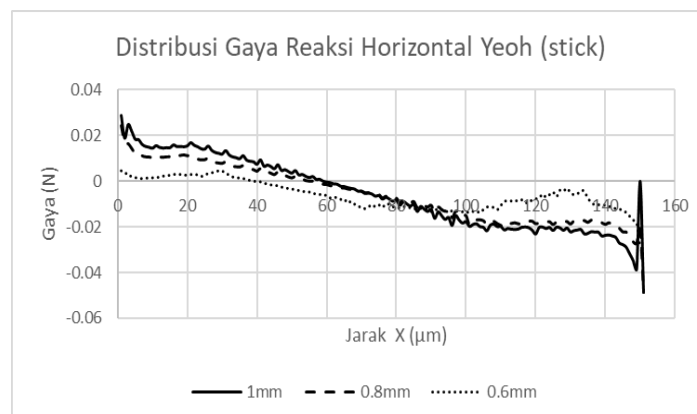
Gambar 12. Distribusi gaya reaksi vertikal Rivlin (a) statis (b) stick (c) slip

Pada gambar 4.14 dapat diperhatikan hasil dari plotting distribusi reaksi gaya vertikal dari SEF Mooney Rivlin pada kondisi slipping, sticking, dan statis. Pada saat tread block mengalami slipping dapat diperhatikan pada tiap elemen mengalami osilasi baik pada indentasi 0.6 mm hingga 1 mm hal ini diakibatkan oleh gesekan yang terjadi terhadap permukaan rigid sedangkan pada bagian paling kiri terlihat grafik menunjukkan angka 0 akibat dari pada bagian tersebut elemen tidak mengalami gesekan. Pada saat tread block mengalami fase sticking terlihat distribusi gaya vertikal yang terlihat stabil pada bagian tengah tread block kecuali pada bagian ujung kanan yang mulai mengalami gesekan akibat arah pergerakan horizontal dan pada bagian kiri tread block yang juga masih menempel pada permukaan rigid karena masih dalam tahap sticking. Pada tahap statis terlihat distribusi reaksi gaya vertikal pada tread block mengalami gaya yang jauh lebih besar pada bagian pojok kanan dan kiri dikarenakan gaya penekanan yang dialami tread block mengakibatkan elemen pada pojok kanan dan kiri mengalami gaya vertikal yang lebih tinggi daripada posisi elemen di tempat lain.

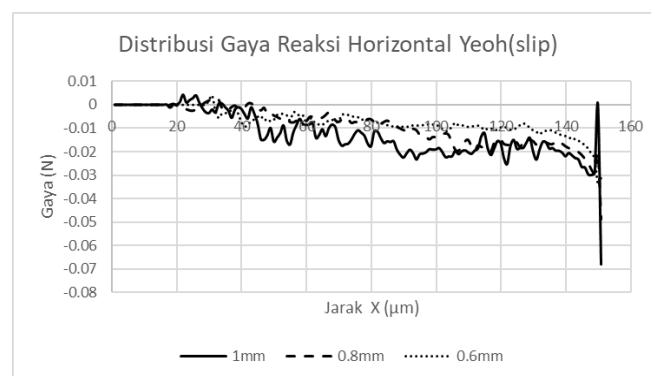
3.4.2 Distribusi Gaya Horizontal



(a)



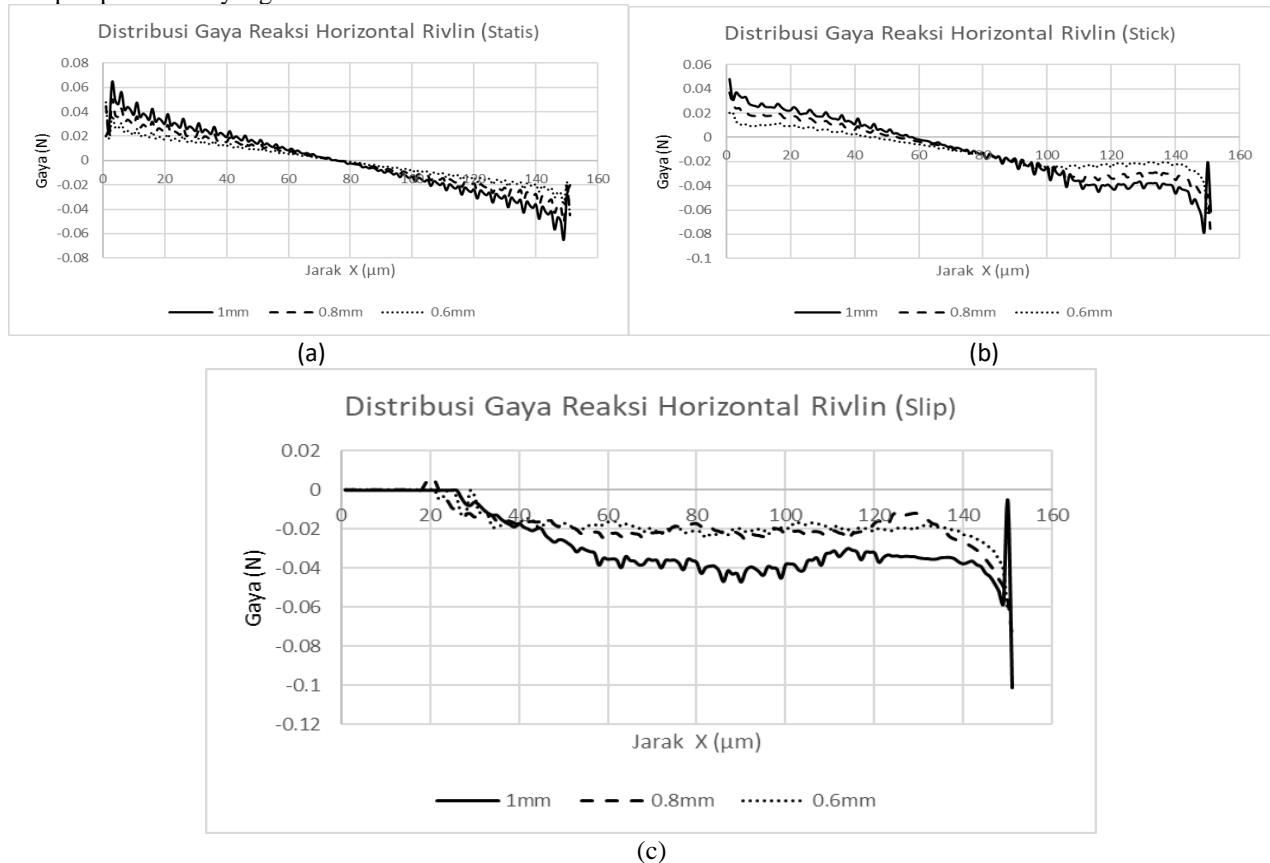
(b)



(c)

Gambar 13. Distribusi gaya reaksi horizontal Yeoh (a) statis (b) stick (c) slip

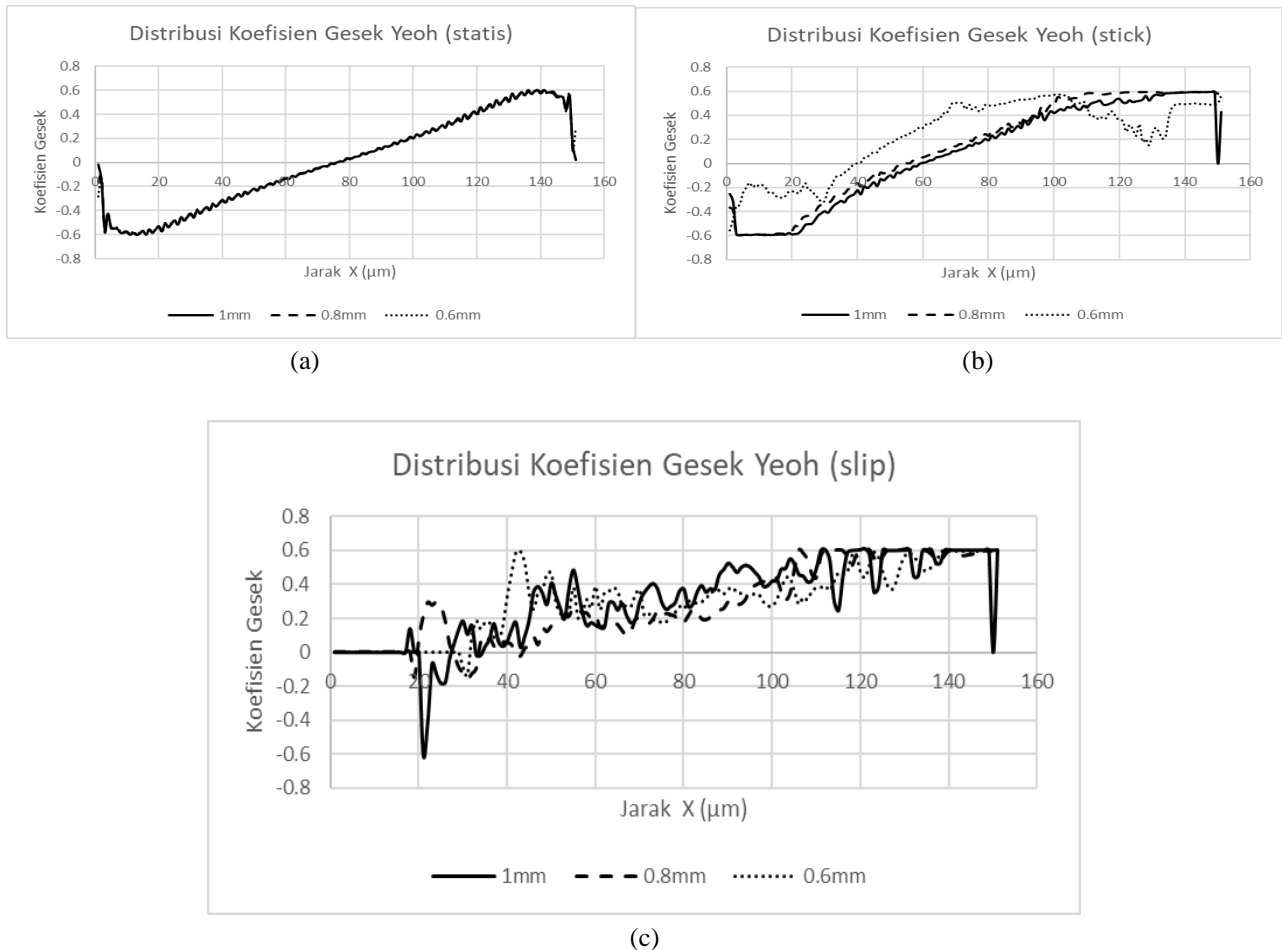
Pada gambar 13 dapat diperhatikan hasil dari plotting distribusi gaya horizontal dari tread block saat dalam tahap slipping, sticking dan statis. Pada saat tread block mengalami slipping, Distribusi dari gaya reaksi horizontal akan menuju arah negatif disebabkan oleh arah gaya yang berlawanan dengan arah pergerakan dari tread block baik pada kedalaman indentasi 0.6 mm, 0.8 mm dan 1mm. pada bagian paling kiri dari tread block tidak mengalami gesekan sehingga menghasilkan nilai 0 sedangkan pada bagian pertengahan dari tread block mengalami osilasi akibat gesekan dengan permukaan benda rigid. Pada saat tread block mengalami fase sticking terlihat pada bagian kiri dari tread block yang menghasilkan reaksi gaya horizontal ke arah positif akibat dari bagian tread block yang masih menempel pada permukaan benda rigid pada tahap sticking ini sedangkan pada bagian tengah tread block tidak mengalami osilasi dikarenakan tread block yang belum bergerak dan pada bagian paling kanan tread block yang mengalami gaya horizontal paling besar dalam tahap sticking karena searah dengan arah pergerakan dari perpindahan tread block. Pada saat tread block dalam fase statis terlihat baik pada sisi kiri dan kanan tread block distribusi reaksi gaya horizontal menunjukkan arah gaya yang saling berlawanan hingga pada titik tengah dari tread block, hal ini disebabkan daripada dampak penekanan yang dialami oleh tread block.



Gambar 14. Distribusi gaya reaksi horizontal Rivlin (a) statis (b) *stick* (c) *slip*

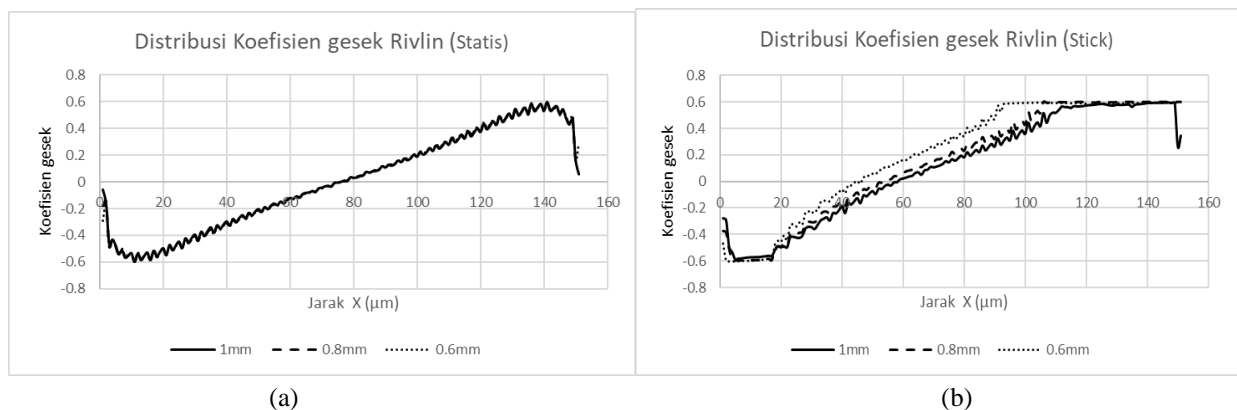
Pada gambar 4.16 dapat diperhatikan hasil dari plotting distribusi gaya horizontal dari tread block saat dalam tahap slipping, sticking dan statis. Pada saat tread block mengalami *slipping*, Distribusi dari gaya reaksi horizontal akan menuju arah negatif disebabkan oleh arah gaya yang berlawanan dengan arah pergerakan dari tread block baik pada kedalaman indentasi 0.6 mm, 0.8 mm dan 1mm. pada bagian paling kiri dari tread block tidak mengalami gesekan sehingga menghasilkan nilai 0 sedangkan pada bagian pertengahan dari tread block mengalami osilasi akibat gesekan dengan permukaan benda rigid. Pada saat tread block mengalami fase sticking terlihat pada bagian kiri dari tread block yang menghasilkan reaksi gaya horizontal ke arah positif akibat dari bagian tread block yang masih menempel pada permukaan benda rigid pada tahap sticking ini sedangkan pada bagian tengah tread block tidak mengalami osilasi dikarenakan tread block yang belum bergerak dan pada bagian paling kanan tread block yang mengalami gaya horizontal paling besar dalam tahap sticking karena searah dengan arah pergerakan dari perpindahan tread block. Pada saat tread block dalam fase statis terlihat baik pada sisi kiri dan kanan tread block distribusi reaksi gaya horizontal menunjukkan arah gaya yang saling berlawanan hingga pada titik tengah dari tread block, hal ini disebabkan daripada dampak penekanan yang dialami oleh tread block.

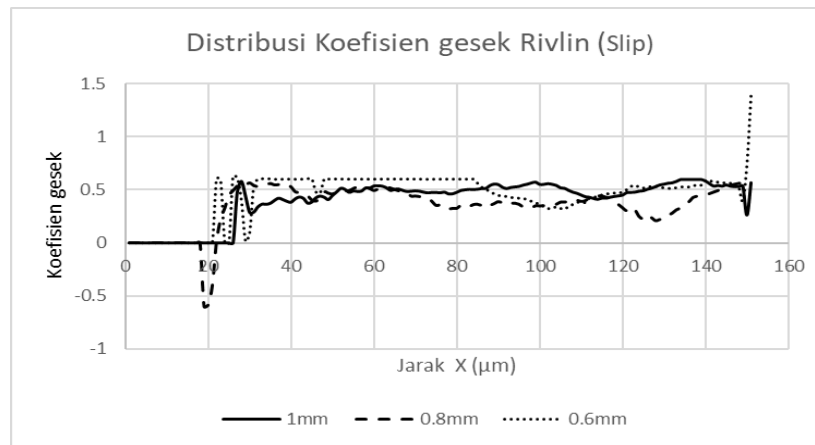
3.5 Distribusi Koefisien Gesek Permukaan Tread Block saat Statis, Stick dan Slip



Gambar 15. Distribusi koefisien gesek Yeoh (a) statis (b) *stick* (c) *slip*

Pada gambar 15 dapat diperhatikan hasil dari plotting distribusi koefisien gesek yang terjadi saat fase slipping, sticking dan statis pada SEF Yeoh. Pada saat fase slipping pada bagian kiri dari tread block yang tidak mengalami gesekan menghasilkan koefisien gesek sebesar 0 pada semua kedalaman indentasi, dan pada bagian tread block lain yang bergesekan dengan permukaan rigid terlihat nilai koefisien gesek beresilasi dengan nilai tertinggi pada 0.6 baik searah gerak dan berlawanan arah dan nilai terendah 0. Pada saat tread block pada fase sticking dapat terlihat pola dari grafik indentasi 0.6 tampak berbeda, hal ini disebabkan karena indentasi 0.6 mm berada pada posisi paling dekat dengan tahap slipping sehingga lebih terlihat ber osilasi daripada indentasi 0.8 mm dan 1 mm, Sedangkan pada kedalaman indentasi yang lain distribusi gaya gesek pada tread block terlihat masih dalam tahap sticking. Pada saat tread block berda dalam fase statis dapat terlihat bahwa semua kedalaman indentasi memiliki distribusi koefisien gesek yang sama akibat dari tread block yang tidak mengalami pergerakan.





(c)

Gambar 16. Distribusi koefisien gesek Rivlin (a) *slip* (b) *stick* (c) statis

Pada Gambar 16 dapat diperhatikan hasil dari plotting distribusi koefisien gesek yang terjadi saat fase *slipping*, *sticking* dan statis pada SEF Rivlin. Pada saat fase *slipping* pada bagian kiri dari tread block yang tidak mengalami gesekan menghasilkan koefisien gesek sebesar 0 pada semua kedalaman indentasi, dan pada bagian tread block lain yang bergesekan dengan permukaan rigid terlihat nilai koefisien gesek ber osilasi dengan nilai tertinggi pada 0.6 baik searah gerak dan berlawanan arah dan nilai terendah 0. Pada saat tread block pada fase *sticking* dapat terlihat pola dari grafik indentasi 0.6 tampak berbeda, hal ini disebabkan karena indentasi 0.6 mm berada pada posisi paling dekat dengan tahap *slipping* sehingga lebih terlihat ber osilasi daripada indentasi 0.8 mm dan 1 mm, Sedangkan pada kedalaman indentasi yang lain distribusi gaya gesek pada tread block terlihat masih dalam tahap *sticking*. Pada saat tread block berada dalam kondisi statis dapat terlihat bahwa semua kedalaman indentasi memiliki distribusi koefisien gesek yang sama akibat dari tread block yang tidak mengalami pergerakan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan dari tugas akhir ini, penulis memiliki beberapa saran, antara lain:

1. Pemodelan kontak gesek antara elastomer dan permukaan *rigid* dengan variasi SEF (Yeoh dan Mooney Rivlin) dan variasi kedalaman penekanan (0.6 mm, 0.8 mm, 1 mm) telah berhasil dilakukan dengan menggunakan Abaqus 6.14-5.
2. Semakin besar kedalaman penekanan 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 ketika sudah dalam tahap *slipping*.
3. Nilai koefisien gesek pada SEF Yeoh memiliki kecenderungan nilai koefisien gesek yang lbwh rendah seiring dengan meningkatnya kedalaman penekanan pada elastomer sedangkan pada SEF Mooney Rivlin memiliki kecenderungan nilai koefisien gesek yang meningkat seiring meningkatnya kedalaman penekanan.
4. 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 reaksi 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 *treadblock* mengalami penekanan statis terlihat paling teratur karena belum ada penerapan kecepatan pada *tread block*.
5. Distribusi koefisien gesek yang dialami *tread block* saat *slipping* terlihat lebih *fluktuatif* pada SEF Yeoh daripada distribusi koefisien gesek SEF Mooney Rivlin yang lebih stagnan. Sedangkan disteibusi koefisien gesek pada saat *sticking* dan statis baik pada Yeoh dan Rivlin secara relatif terlihat teratur pada fase *sticking* sedangkan pada fase statis koefisien gesek pada semua kedalaman penekanan memiliki nilai yang sama pada kedua SEF.
6. Pada hasil nilai *output* tegangan dan reaksi gaya SEF Mooney Rivlin memiliki nilai *output* yang selalu lebih besar dibandingkan pada SEF Yeoh.

5. Daftar Pustaka

- [1] Liang, H., 2007. *Investigating the mechanism of elastomer abrasion (Doctoral dissertation, University of London)*.
- [2] McKen, L. W. (2012). *Film Properties Of Plastics And Elastomers*. 3rd ed.
- [3] P.Moldenhauer & M Kroger. (2008). *Simulation and Experimental Investigations of the Dynamic Interaction between Tyre Tread Block and Road*. The Journal Of Acoustical Society America.
- [4] Dassault. 2012. ABAQUS User's Manual, ABAQUS/CAE User's Manual.

- [5] Schallamach, A. (1958). Friction and abrasion of rubber. 384-417.
- [6] Roger, Kara. (2022). Robert Hooke. Britannica.com. Diakses pada 25 Oktober 2022
- [7] 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, p.85.
- [8] 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, p.85.
- [9] Gent, A. N. (1989). *A hypothetical mechanism for rubber abrasion. Journal of Rubber chemistry and technology*, 750-756.
- [10] Kato, K., & Adachi, K. (2001). Modern Tribology Handbook (Vol. 1). Kinetis Terhadap Gerakan Stick-slip Menggunakan Bahan Viskoelastis.