

STUDI PERBANDINGAN KONTAK GESEK PADA PERMUKAAN HALUS DAN PERMUKAAN TERABRASI DARI MATERIAL KARET MENGGUNAKAN *SOFTWARE* ABAQUS

*Afid Khoirudin¹, Budi Setiyana², Muchammad²

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

*Email: afidkhoirudin@students.undip.ac.id

Abstrak

Keausan akibat abrasi pada komponen yang terbuat dari material karet seperti pada ban kendaraan sangat menentukan umur pakai dari komponen tersebut. Dalam material karet, ketika permukaan yang masih halus mengalami abrasi, maka akan terbentuk permukaan yang bergerigi secara paralel yang arahnya tegak lurus dengan arah gerak abrasi. Bentuk permukaan yang bergerigi ini akan terus menerus terbentuk selama proses kontak abrasi masih berjalan. Keausan abrasi terjadi akibat tegangan pada material karet melampaui tegangan patah material. Tetapi analisis keausan abrasi pada karet masih sangat sulit dilakukan secara analitik dikarenakan sifat karet yang non linier dan hyperelastic. Dengan menggunakan metoda numerik, tulisan ini membahas perbandingan performa dari material karet permukaan halus dan terabrasi, dengan material yang digunakan yaitu SBR-25. Sebagai studi awal, analisis dilakukan dalam dua dimensi dengan menggunakan perangkat lunak komersial ABAQUS 6.14-5 dengan memodelkan karet yang kontak dengan indenter yang kaku. Simulasi dilakukan dengan variasi ukuran *chip*, kedalaman indentasi, dan kecepatan geser.

Kata kunci: abrasi; *chip*; material karet

Abstract

Wear due to abrasion on components made of Elastomer such as on vehicle tires greatly determines the service life of these components. In Elastomer, when a smooth surface is subjected to abrasion, a parallel jagged surface is formed which is perpendicular to the direction of the abrasion. This jagged surface will continue to form as long as the abrasion contact process is still running. Abrasion wear occurs when the stress on the rubber material exceeds the fracture stress of the material. But the analysis of abrasion wear on rubber is still very difficult to do analytically due to the non-linear and hyperelastic properties of rubber. By using a numerical method, this paper discusses the performance comparison of smooth and abraded rubber material, with the material used, namely SBR-25. As a preliminary study, the analysis was carried out in two dimensions using commercial software ABAQUS 6.14-5 by modeling rubber in contact with a rigid indenter. Simulations were carried out with variations in chip size, indentation depth, and shear velocity.

Keywords: abrasion; *chip*; elastomer

1. Pendahuluan

Material karet atau *elastomer* merupakan salah satu material yang paling banyak digunakan didunia otomotif dan *aerospace*. *Elastomer* tersebut diproses dan diproduksi menjadi *engine mounts*, *bushings*, *door seals*, ban mobil atau motor, *conveyor belt*, kabel, aksesoris olahraga, dan lain – lain. Material *elastomer* merupakan material yang mempunyai kemampuan untuk menerima gaya dan terjadi deformasi lalu kembali kebentuk dan ukuran semula ketika gaya dihilangkan [1]. Disini Material yang digunakan adalah SBR-25, SBR adalah karet sintesis yang berasal dari minyak bumi, merupakan *co-polymer* dari *styrena* dan *butadiene*. Jenis ini pertama kali dibuat di Jerman pada tahun 1930-an sebagai pengganti sintesis untuk karet alam. SBR mempunyai kemampuan yang berbeda dari yang lain, SBR tidak terjadi kristalisasi pada regangan besar [2]. Aplikasi utama SBR padat adalah di dunia otomotif dan industri ban, penggunaannya terhitung ada sekitar 70 persen. Oleh karena itu, SBR berhubungan erat dengan industri ban dan penggunaan lainnya [3].

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. Mekanisme abrasi *elastomer* dijelaskan dengan mempertimbangkan serangkaian faktor, seperti koefisien gesekan, tekanan, tekstur

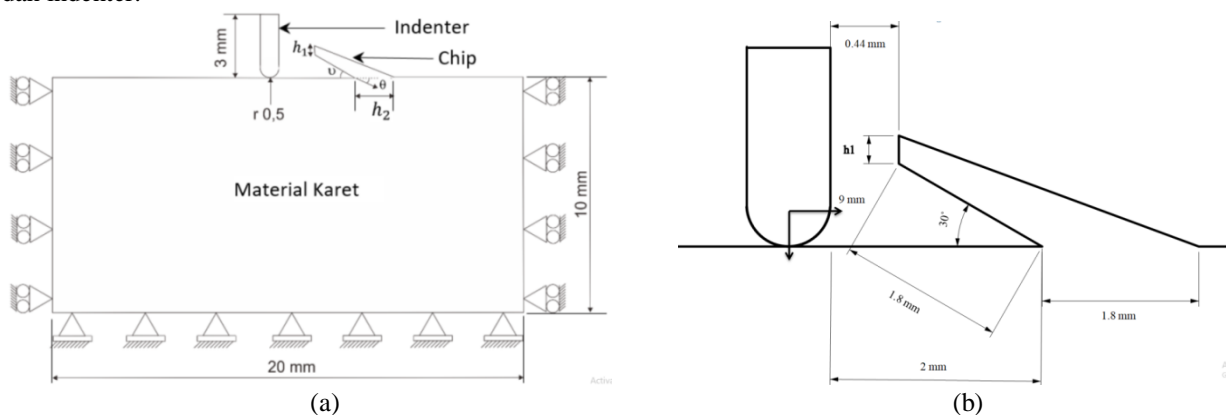
permukaan, kecepatan geser, suhu operasi, modulus elastisitas dan ketahanan leleh. Secara umum, abrasi tidak terjadi melalui mekanisme tunggal [2]. Dalam material karet, ketika permukaan halus diabrasi, pola permukaan yang bergerigi secara paralel terbentuk yang arahnya tegak lurus dengan arah gerak 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. Ukuran pada pola gerigi yang konstan tersebut sudah memasuki kondisi tunak dan sangat tergantung pada nilai beban yang diterapkan pada abrader [4-5]. Dua jenis gerakan periodik diamati yang mungkin merupakan sumber mekanisme abrasi, ini adalah *stick-slip* dan mikro-getaran yang dihasilkan selama gesekan geser *elastomer* [6]. Gerakan *stick-slip* merupakan fenomena yang terjadi karena interaksi yang kompleks antara dua permukaan akibat adanya gesekan. *Stick* terjadi ketika material elastomer menempel pada permukaan indenter, menghambat gerakan indenter sehingga mengakibatkan nilai tegangan maksimal yang membesar. Dan ketika *slip* terjadi, material elastomer lepas dari permukaan indenter dan nilai tegangan maksimalnya akan mengecil [7].

Pada penelitian ini berkaitan pada kehidupan sehari-hari seperti antara ban dan jalan saat mengalami pengereman. Keausan akibat abrasi pada ban kendaraan sangat menentukan umur pakai dari komponen tersebut. Hal ini ada kaitannya dengan tujuan dari penelitian ini yaitu mencari hasil tegangan maksimum dan koefisien gesek total, dimana keausan ban terjadi akibat tegangan pada material karet melampaui tegangan patah material, secara logika fenomena patah dan lepasnya material dimulai dari tegangan maksimum yang timbul [8-9]. Artinya semakin tinggi tegangannya maka *elastomer* semakin mudah aus. Juga kaitan koefisien gesek total dengan kapasitas pengereman ban yaitu semakin tinggi koefisien geseknya berarti semakin cepat ban itu akan berhenti pada saat di rem. Kemudian membandingkan performa dari ban dengan permukaan halus dan ban dengan permukaan terabrasi dari hasil tegangan maksimum dan koefisien gesek total yang didapat dengan cara memodelkan kontak antara permukaan *elastomer* dan *indenter*.

2. Bahan dan Metode Penelitian

Gambaran kasus dari penelitian ini dimodelkan dalam bentuk 2 dimensi (*plane strain*) dengan membuat 2 model yaitu elastomer dengan permukaan halus dan terabrasi, geometri pada material dengan permukaan terabrasi yang dijelaskan pada Gambar 1. Sisi kanan dan kiri *elastomer* ditumpu pada arah horizontal dan dapat bergerak bebas arah vertikal, sedangkan bagian bawah elastomer ditumpu mati. Penyelesaian kasus ini dilakukan menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan software Abaqus 6.14-5. Indentasi dilakukan dengan memberi kedalaman tertentu sesuai variasi, kemudian memberikan perpindahan *indenter* pada arah horizontal dengan kecepatan tertentu.

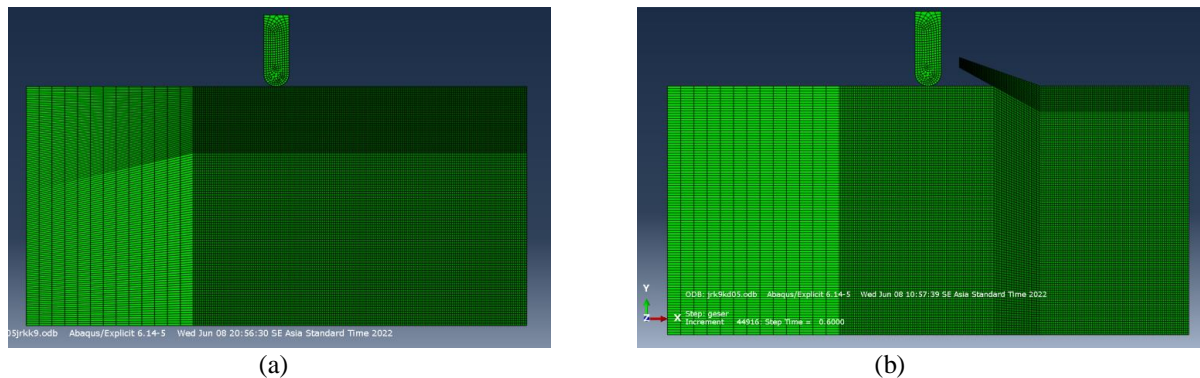
Gambar 1 merupakan skema pemodelan dari elastomers dimana elastomers tersebut diibaratkan memiliki permukaan yang sudah terabrasi dengan permukaan yang bergerigi. Untuk menyederhanakan simulasi, pada permukaan karet atau elastomer ini diberikan sebuah gerigi atau geram (*chip*) dengan dimensi tertentu. Secara umum ada hubungan antara h_1 , h_2 dan sudut θ , dan yang disebut ketebalan chip di tulisan ini adalah h_1 . Panjang spesimen elastomers 20 mm, lebar dari elastomers 10 mm dan radius indenter disimbolkan dengan r . Pemodelan uji tekan dan geser dimulai dengan menentukan parameter dari model yang meliputi parameter material, kondisi batas dan dimensi dari elastomers dan indenter.



Gambar 1. (a) Skema pemodelan pada material permukaan terabrasi, (b) Detail ukuran *chip* dan jarak dengan indenter

Pada tulisan ini, nilai konstanta dari SEF untuk material SBR-25 ditentukan berdasarkan hasil uji tarik oleh yang dilakukan oleh Liang [2] dan didapat hubungan tegangan-regangan untuk karet SBR-25 berupa data SEF. Banyak peneliti yang membuat model untuk SEF dan SEF pada penelitian ini adalah model Yeoh [2]. Penelitian ini dilakukan untuk beberapa ketebalan chip (h_1) yaitu 0,2 mm, 0,4 mm dan 0,6. Penelitian juga dilakukan untuk beberapa kedalaman indentasi yaitu 0,3 mm, 0,5 mm dan 1 mm. Penelitian ini juga dilakukan dengan variasi kecepatan sebesar 5 mm/s, 15 mm/s, dan 25 mm/s. Setelah dilakukan indentasi, kemudian memberikan perpindahan indenter pada arah horizontal sejauh 9 mm, koefisien gesek adhesi diberikan sebesar 0,5.

Sebelum melakukan simulasi pada Abaqus 6.14-5 diperlukan dua part yaitu spesimen dan indenter yang akan digunakan untuk pemodelan. Langkah selanjutnya adalah pemberian properties pada kedua part. Untuk part elastomers diberikan properties berupa masa jenis dan sifat hyperelastic yang diisi oleh koefisien Yeoh untuk SBR-25. Setelah pemberian properties pada kedua part, langkah selanjutnya adalah pemberian step tekan dan geser serta memberi beberapa input diantaranya kedalaman indentasi, koefisien gesek adhesi sebesar 0,5, sliding horizontal sejauh 9 mm. Untuk part indenter dibuat rigid pada saat pemberian boundary condition. Langkah berikutnya adalah pemberian mesh pada kedua part seperti pada gambar 2 berikut ini adalah hasil mesh yang dihasilkan. Langkah yang terakhir adalah solving problem yaitu mensimulasikan kontak gesek antara elastomers dan indenter dengan masuk ke module job dan menunggu hasil simulasi sampai hasilnya dapat ditampilkan dan dianalisis. Hasil yang didapat berupa tegangan maksimum, gaya reaksi horizontal dan vertikal, juga koefisien gesek yang terjadi terhadap perpindahan atau pergeseran indenter [10].



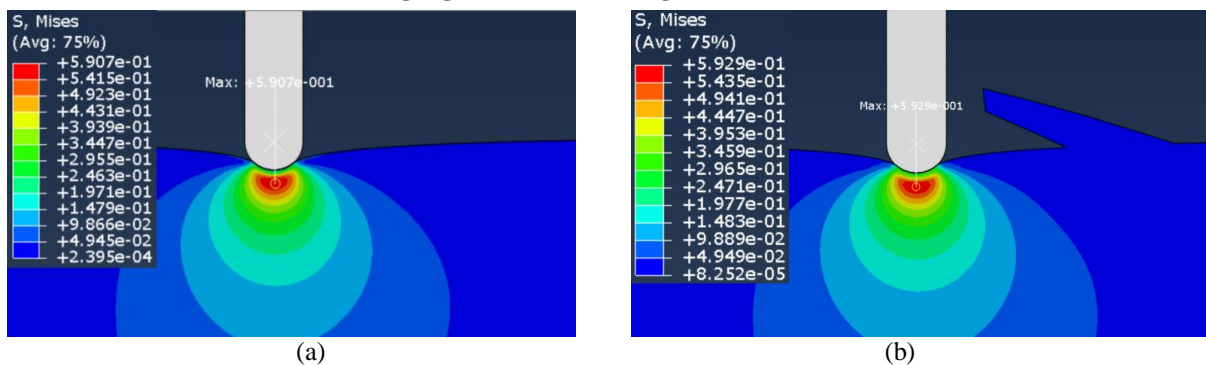
Gambar 2. Mesh yang dihasilkan pada elastomer (a) Permukaan halus, (b) Permukaan terabradi

3. Hasil dan Pembahasan

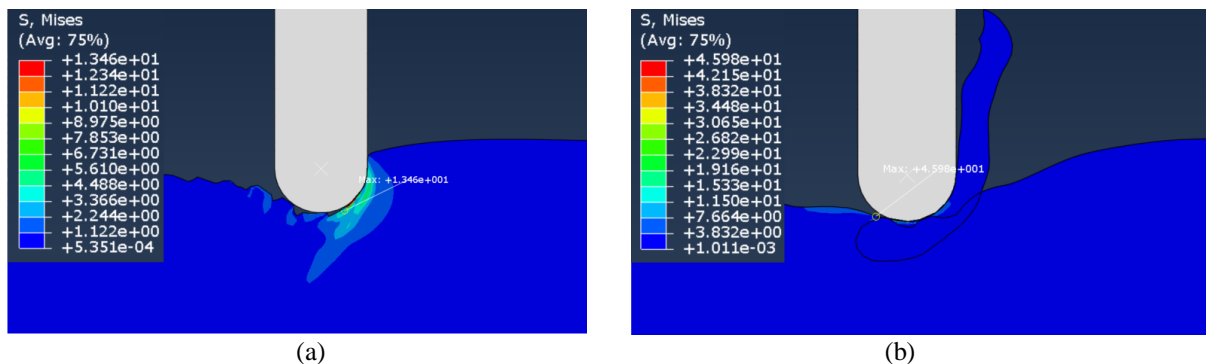
3.1. Plot Kontur dan Distribusi Tegangan von-Mises

Berikut Plot Kontur dan Distribusi Tegangan Von-Mises dari variasi material permukaan halus dan terabradi, dan variasi ukuran chip.

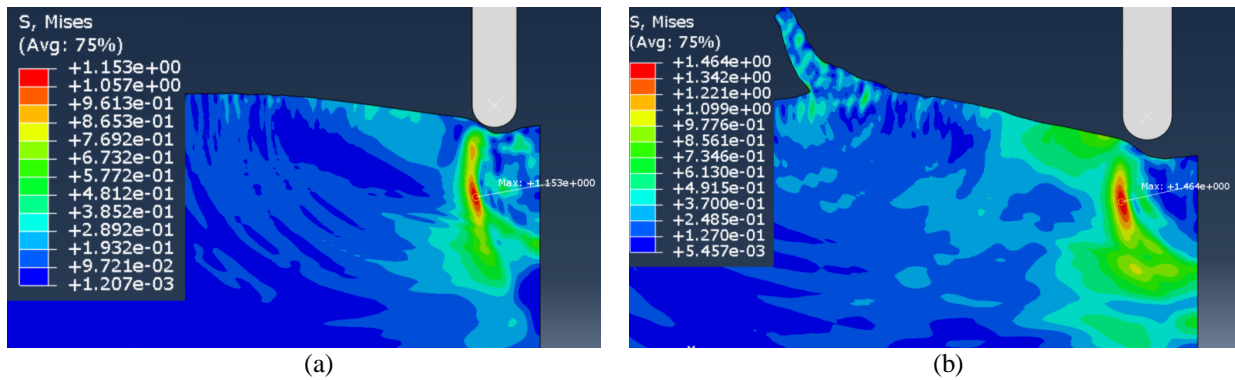
3.1.1. Plot Kontur dan Distribusi Tegangan Von-Mises dengan Variasi Material



Gambar 3. Plot kontur tegangan maksimum pada kondisi awal dengan kedalaman 0,5 mm (a) Permukaan halus dan (b) Permukaan terabradi dengan ukuran chip 0,4 mm



Gambar 4. Plot kontur tegangan maksimum pada kondisi kritis dengan kedalaman 0,5 mm dan kecepatan 15 mm/s (a) Permukaan halus dan (b) Permukaan terabradi dengan ukuran chip 0,4 mm

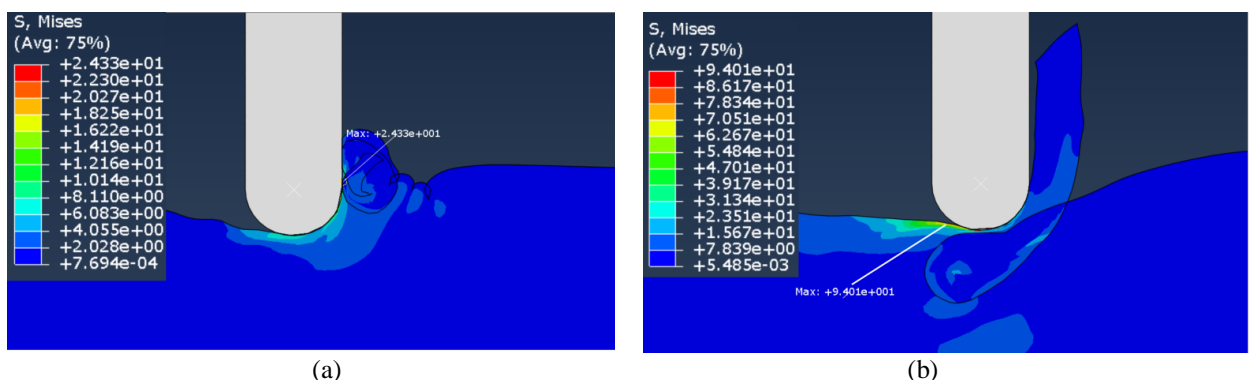


Gambar 5. Plot kontur tegangan maksimum pada kondisi akhir dengan kedalaman 0,5 mm dan kecepatan 15 mm/s (a) Permukaan halus dan (b) Permukaan terabrasi dengan ukuran chip 0,4 mm

Pada Gambar 3 sampai 5 menunjukkan perbandingan plot kontur tegangan maksimum antara material karet dengan permukaan halus dan terabrasi, dengan input kecepatan sebesar 15 mm/s dan kedalaman 0,5 mm. Terlihat pada kondisi awal nilai tegangan maksimum tidak beda jauh, yaitu pada permukaan halus dan terabrasi sebesar 0,5907 MPa dan 0,5929 MPa, kemudian saat kondisi kritis nilai tegangan maksimum pada permukaan halus dan terabrasi sebesar 13,46 MPa dan 45,98 MPa, terlihat perbandingannya tegangan maksimum jauh lebih tinggi pada permukaan terabrasi, dan saat kondisi akhir nilai tegangan maksimum pada permukaan halus dan terabrasi hampir sama dan menurun kembali nilainya yaitu sebesar 1,153 MPa dan 1,464 MPa. Perbandingan Kontur dari hasil simulasi cenderung hampir mirip yaitu pada kondisi awal memiliki kontur yang teratur, saat kondisi kritis sedikit kontur yang terlihat, dan saat kondisi akhir konturnya tidak beraturan dan hampir merata pada *elastomer*. Material dengan permukaan terabrasi cenderung memiliki nilai tegangan yang jauh lebih tinggi. Hal tersebut diwakilkan oleh nilai kedua model pada kondisi kritis.

3.1.2. Plot Kontur dan Distribusi Tegangan Von-Mises dengan Variasi Ukuran *Chip*

Pada Gambar 6 menunjukkan perbandingan plot kontur tegangan maksimum material karet permukaan terabrasi pada kondisi kritis dengan variasi ukuran *chip* sebesar 0,2 mm, dan 0,6 mm, dan input kecepatan sebesar 15 mm/s dan kedalaman 0,5 mm, yang menghasilkan tegangan maksimum sebesar 24,33 MPa, dan 94,01 MPa. Perbandingan Kontur dari hasil simulasi cenderung hampir mirip yaitu pada kondisi kritis ini memiliki kontur yang hampir tidak terlihat, dan deformasi terjadi pada *chip* yang terkena kontak dengan *indenter*. Ukuran *chip* yang lebih besar cenderung memiliki nilai tegangan yang lebih tinggi. Hal tersebut diwakilkan oleh nilai hasil tegangan maksimum pada kondisi kritis dari masing-masing ukuran *chip*.

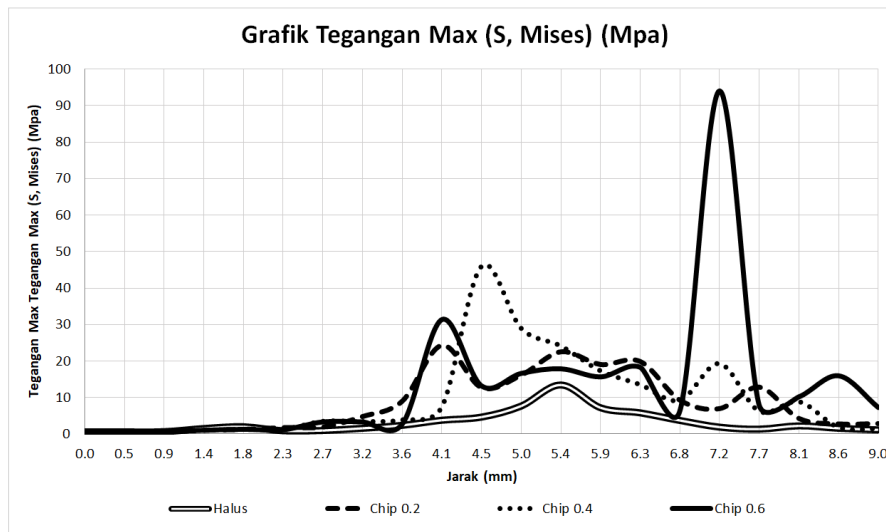


Gambar 6. Plot kontur tegangan maksimum pada kondisi kritis dengan kedalaman 0,5 mm dan kecepatan 15 mm/s dan variasi ukuran *chip* (a) 0,2 mm (b) 0,6 mm

3.2. Hasil Plot Tegangan Maksimum dengan Perpindahan *Indenter* Arah Horizontal

Berikut adalah Plot Tegangan Maksimum dengan perpindahan *indenter* arah horizontal dengan variasi material, variasi kedalaman, dan variasi kecepatan.

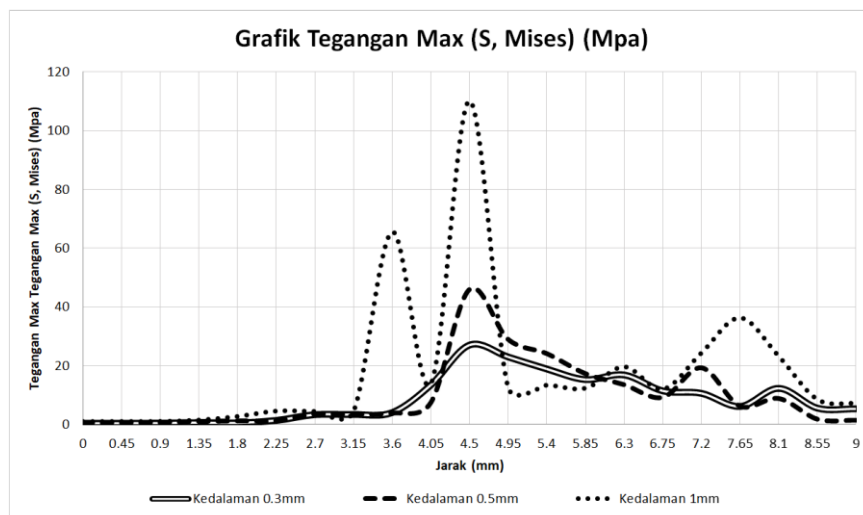
3.2.1 Hasil Plot Tegangan Maksimum dengan Perpindahan *Indenter* Arah Horizontal Variasi Material dan Ukuran *Chip*



Gambar 7. Grafik tegangan maksimal terhadap perpindahan *indenter* untuk material karet permukaan halus dan terabrasi dengan variasi ukuran *chip* yang menggunakan besar kedalaman 0,5 mm dan kecepatan 15 mm/s

Semua hasil plot grafik dalam hasil penelitian ini menunjukkan perubahan besarnya nilai tegangan maksimal yang terjadi seiring dengan semakin jauhnya perpindahan *indenter*. Pada Gambar 7 menunjukkan perbandingan grafik tegangan maksimal terhadap perpindahan *indenter* pada material karet permukaan halus dan material karet permukaan terabrasi dengan ukuran *chip* yang berbeda. Penelitian pada grafik diatas menggunakan variasi kedalaman 0,5 mm dan, kecepatan 15 mm/s. Terlihat grafik yang fluktuatif, hal ini dikarenakan adanya fenomena *stick-slip*. Fenomena *stick-slip* ini terjadi dengan cepat dan berulang sehingga terlihat nilai tegangan maksimal yang fluktuatif. Pada material permukaan terabrasi tegangan mulai naik pada jarak sekitar 4 mm, ini dikarenakan *indenter* yang menabrak *chip*, dan pada jarak sekitar 8 mm sampai 9 mm tegangan mulai menurun, ini dikarenakan *indenter* telah melewati *chip* sepenuhnya dan *chip* kembali ke posisi awal. Terlihat pada material permukaan terabrasi mengalami fluktuasi yang lebih dibandingkan pada material permukaan halus hal ini dikarenakan *indenter* yang menabrak *chip* dan fenomena *stick-slip*. Pada grafik tersebut terlihat bahwa secara garis besar material permukaan terabrasi menghasilkan nilai tegangan yang lebih tinggi dibandingkan material permukaan halus hal ini dikarenakan *indenter* yang menabrak *chip* dan fenomena *stick-slip*. Pada grafik tersebut terlihat bahwa secara garis besar material permukaan terabrasi menghasilkan nilai tegangan yang lebih tinggi dibandingkan material permukaan halus, dan urutan nilai tegangan paling tinggi adalah ukuran *chip* 0,6 mm, 0,4 mm, 0,2 mm, dan yang terakhir pada permukaan halus, yang nilainya 94,01 MPa, 45,98 MPa, 24,33 Mpa, 13,46 MPa. Ini juga menyimpulkan semakin besar ukuran *chip* maka tegangan maksimal yang dihasilkan cenderung lebih besar.

3.2.2 Hasil Plot Tegangan Maksimum dengan Perpindahan *Indenter* Arah Horizontal Variasi Kedalaman

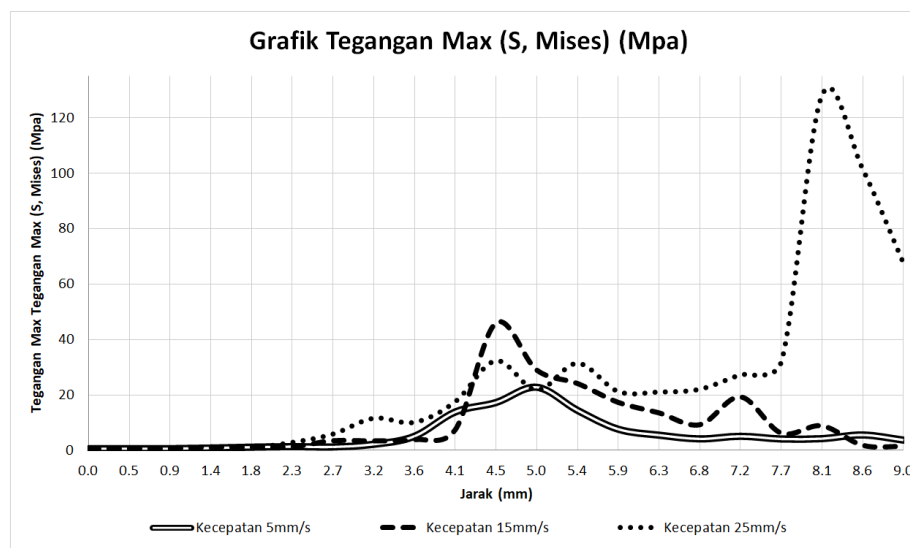


Gambar 8. Grafik tegangan maksimal terhadap perpindahan *indenter* untuk material karet permukaan terabrasi dengan variasi kedalaman yang menggunakan besar kecepatan 15 mm/s dan ukuran *chip* 0,4 mm

Pada Gambar 8 menunjukkan perbandingan grafik tegangan maksimal terhadap perpindahan indenter pada material karet permukaan terbrasi dengan variasi kedalaman indentasi yang berbeda yaitu sebesar 0,3 mm, 0,5 mm, 1 mm. Penelitian pada grafik diatas menggunakan material permukaan terbrasi dengan ukuran *chip* 0,4 mm dan, kecepatan 15 mm/s. Terlihat grafik yang fluktuatif, hal ini dikarenakan adanya fenomena *stick-slip*. Tegangan mulai naik pada jarak sekitar 4 mm, ini dikarenakan indenter yang menabrak *chip*, namun pada kedalaman 1 mm pada jarak sekitar 3,5 mm tegangan sudah naik, ini dikarenakan indenter menekan permukaan material karet jauh lebih dalam dari yang lain sehingga terjadi deformasi dan fenomena *stick-slip* yang membuat tegangan naik dan fluktuatif, dan pada jarak sekitar 8 mm sampai 9 mm tegangan mulai menurun, ini dikarenakan *indenter* telah melewati *chip* sepenuhnya dan *chip* kembali ke posisi awal. Pada grafik tersebut terlihat urutan nilai tegangan paling tinggi adalah pada kedalaman 1 mm, 0,5 mm, 0,3 mm, yang nilainya 110,1 MPa, 45,98 MPa, 27,05 MPa. Ini juga menyimpulkan semakin dalam kedalaman indentasi maka tegangan maksimal yang dihasilkan cenderung semakin besar.

3.2.3 Hasil Plot Tegangan Maksimum dengan Perpindahan Indenter Arah Horizontal Variasi Kecepatan

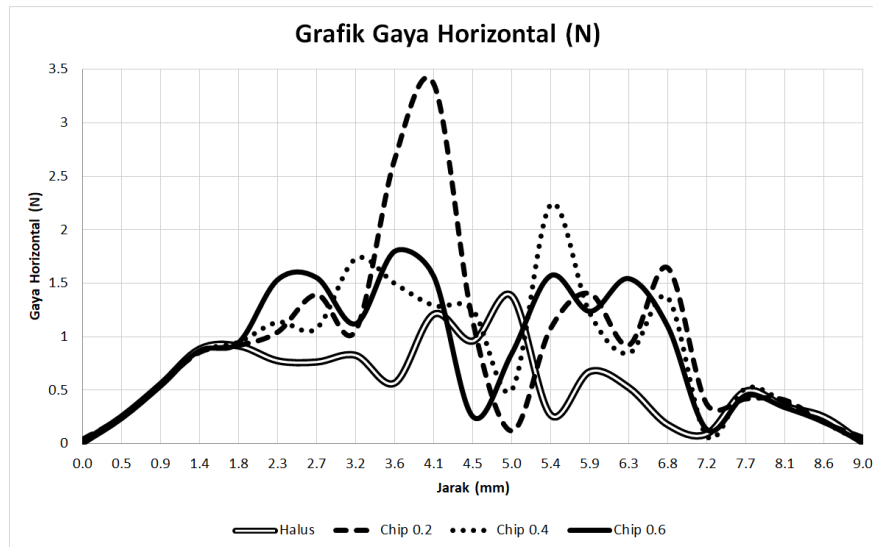
Pada Gambar 9 menunjukkan perbandingan grafik tegangan maksimal terhadap perpindahan indenter pada material karet permukaan terbrasi dengan variasi kecepatan geser yang berbeda. Terlihat grafik yang fluktuatif, hal ini dikarenakan adanya fenomena *stick-slip*. Tegangan mulai naik pada jarak sekitar 4 mm, ini dikarenakan indenter yang menabrak *chip*, namun pada kecepatan 25 mm/s pada jarak sekitar 2,7 mm tegangan sudah naik, ini dikarenakan *indenter* menekan permukaan material karet jauh lebih cepat dari yang lain sehingga terjadi deformasi dan fenomena *stick-slip* yang membuat tegangan naik, dan pada jarak sekitar 8 mm sampai 9 mm tegangan mulai menurun ini dikarenakan *indenter* telah melewati *chip* sepenuhnya dan *chip* kembali ke posisi awal, kecuali pada kecepatan 25 mm/s tegangannya masih belum turun, ini dikarenakan efek dari kecepatan geser *indenter* yang tinggi mengakibatkan deformasi dan tegangan tinggi masih terjadi. Pada grafik tersebut terlihat urutan nilai tegangan paling tinggi adalah pada kecepatan 25 mm/s, 15 mm/s, 5 mm/s, yang nilainya 128,1 MPa, 45,98 MPa, 22,8 MPa. Ini juga menyimpulkan bahwa semakin cepat kecepatan geser indenter maka tegangan maksimal yang dihasilkan cenderung semakin besar.



Gambar 9. Grafik tegangan maksimal terhadap perpindahan *indenter* untuk material karet permukaan terbrasi dengan variasi kecepatan yang menggunakan besar kedalaman 0,5 mm dan ukuran *chip* 0,4

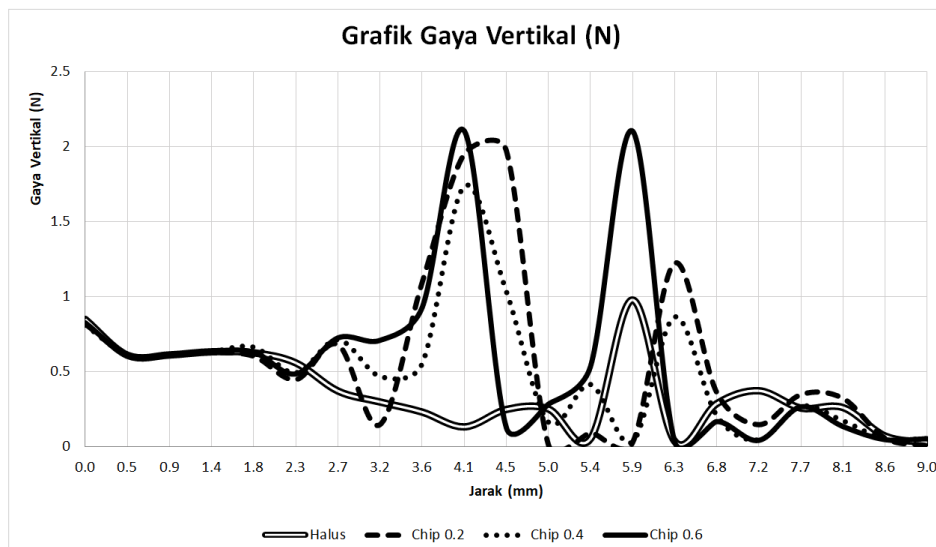
3.3 Hasil Plot Gaya Reaksi Horizontal dengan Perpindahan Indenter

Pada Gambar 10 menunjukkan hasil plotting gaya reaksi horizontal terhadap perpindahan *indenter* pada arah horizontal pada pemodelan dengan material permukaan halus dan material permukaan terbrasi dengan ukuran *chip* 0,2 mm, 0,4 mm dan, 0,6 mm. Penelitian pada grafik diatas menggunakan besar kecepatan 15 mm/s dan, kedalaman 0,5 mm. Terlihat pada grafik saat jarak 0 sampai 1,8 mm grafik menunjukkan nilai yang sama, setelah itu grafik mengalami fluktuasi dan pada jarak sekitar 7,7 mm sampai 9 mm grafik mengalami penurunan kembali dan nilai yang sama. Secara garis besar gaya reaksi horizontal pada material permukaan terbrasi nilainya lebih tinggi daripada material permukaan halus, urutannya dari yang terbesar ke terkecil yaitu material terbrasi dengan ukuran *chip* 0,2 mm, 0,4 mm, 0,6 mm, dan yang terakhir ada pada material permukaan halus, yang nilainya yaitu 3,364 N, 2,236 N, 1,799 N, 1,382 N. Unikny disini yaitu material permukaan terbrasi dengan ukuran *chip* 0,2 nilai gaya reaksi maksimumnya lebih tinggi daripada semuanya, dan ukuran *chip* 0,4 lebih tinggi dari ukuran *chip* 0,6.



Gambar 10. Grafik Gaya reaksi horizontal terhadap perpindahan *indenter* pada material karet permukaan halus dan terabrasi dengan variasi ukuran *chip* yang menggunakan besar kedalaman 0,5 mm dan kecepatan 15 mm/s

3.4 Hasil Plot Reaksi Gaya Vertikal dengan Perpindahan *Indenter* Arah Horizontal



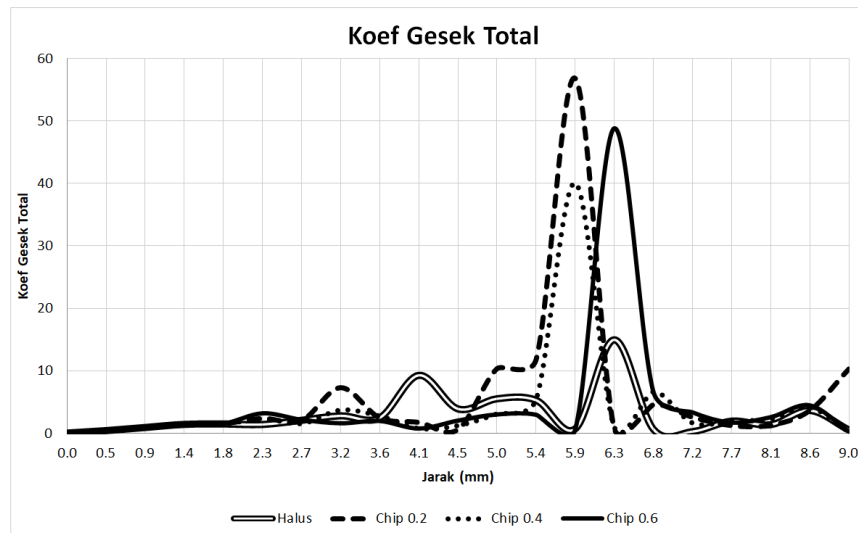
Gambar 11. Grafik Gaya reaksi vertikal terhadap perpindahan *indenter* pada material karet permukaan halus dan terabrasi dengan variasi ukuran *chip* yang menggunakan besar kedalaman 0,5 mm dan kecepatan 15 mm/s

Pada Gambar 11 menunjukkan hasil plotting gaya reaksi vertikal terhadap perpindahan *indenter* pada arah horizontal pada pemodelan dengan material permukaan halus dan material permukaan terabrasi dengan ukuran *chip* 0,2 mm, 0,4 mm dan, 0,6 mm. Penelitian pada grafik diatas menggunakan besar kecepatan 15 mm/s dan, kedalaman 0,5 mm. Terlihat pada grafik saat jarak 0 sampai 1,8 mm grafik menunjukkan nilai yang sama, setelah itu grafik mengalami fluktuasi dan pada jarak sekitar 8 mm sampai 9 mm grafik mengalami penurunan kembali. Secara garis besar gaya reaksi vertikal pada material permukaan terabrasi nilainya lebih tinggi daripada material permukaan halus, urutannya dari yang terbesar ke terkecil yaitu material terabrasi dengan ukuran chip 0,6 mm, 0,2 mm, 0,4 mm, dan yang terakhir ada pada material permukaan halus, yang nilainya yaitu 2,107 N, 1,976 N, 1,737 N, 0,977 N. Uniknya disini yaitu material permukaan terabrasi dengan ukuran chip 0,2 nilai gaya reaksi maksimumnya lebih tinggi daripada ukuran 0,4 mm.

3.5 Hasil Plot Koefisien Gesek Total dengan Perpindahan *Indenter* Arah Horizontal

Berikut adalah plot koefisien gesek total dengan perpindahan *indenter* arah horizontal dengan variasi material, variasi kedalaman, dan variasi kecepatan.

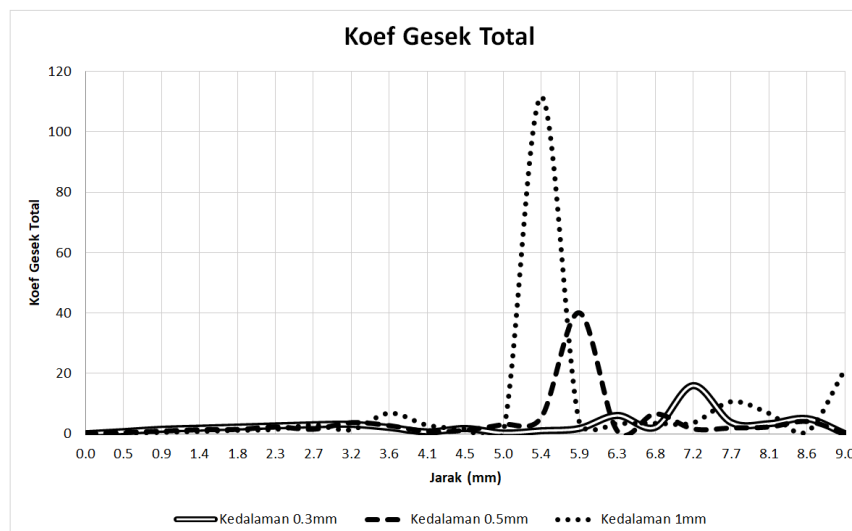
3.5.1 Hasil Plot Koefisien Gesek Total dengan Perpindahan *Indenter* Arah *Horizontal* Variasi Material dan Ukuran *Chip*



Gambar 12. Grafik nilai koefisien gesek total terhadap perpindahan *indenter* pada material karet permukaan halus dan terabrasi dengan variasi ukuran *chip* yang menggunakan besar kedalaman 0,5 mm dan kecepatan 15 mm/s

Pada Gambar 12 menunjukkan hasil plotting koefisien gesek total terhadap perpindahan *indenter* pada arah horizontal pada pemodelan dengan material permukaan halus dan material permukaan terabrasi dengan ukuran *chip* 0,2 mm, 0,4 mm dan, 0,6 mm. Penelitian pada grafik diatas menggunakan besar kecepatan 15 mm/s dan, kedalaman 0,5 mm. Terlihat pada grafik saat jarak 0 sampai 1,8 mm grafik menunjukkan nilai yang sama, setelah itu grafik mengalami fluktuasi. Secara garis besar koefisien gesek total pada material permukaan terabrasi nilainya lebih tinggi daripada material permukaan halus, urutannya dari yang terbesar ke terkecil yaitu material terabrasi dengan ukuran *chip* 0,2 mm, 0,6 mm, 0,4 mm, dan yang terakhir ada pada material permukaan halus. Unikny disini yaitu material permukaan terabrasi dengan ukuran *chip* 0,2 nilai koefisien gesek totalnya lebih tinggi daripada semuanya.

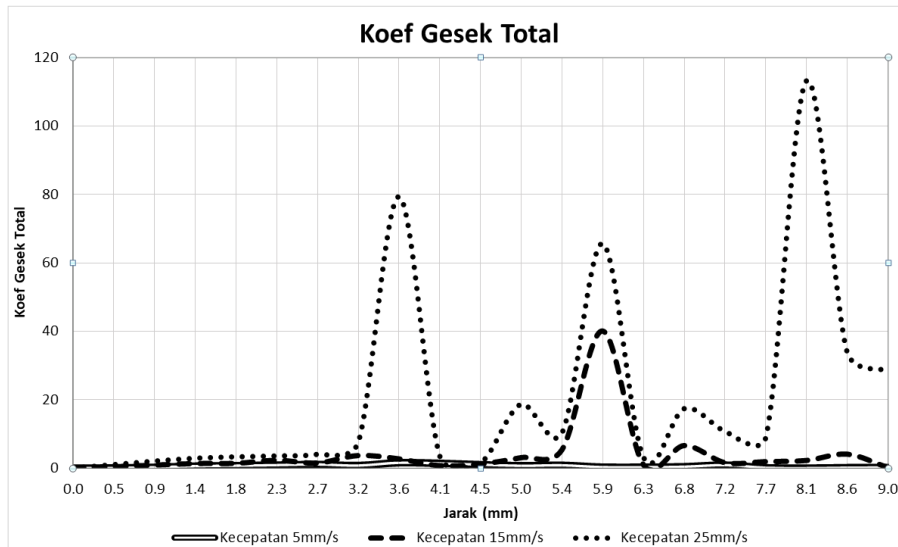
3.5.2 Hasil Plot Koefisien Gesek Total dengan Perpindahan *Indenter* Arah *Horizontal* Variasi Kedalaman



Gambar 13. Grafik nilai koefisien gesek total terhadap perpindahan *indenter* pada material karet permukaan terabrasi dengan variasi kedalaman yang menggunakan besar kecepatan 15 mm/s dan ukuran *chip* 0,4 mm

Pada Gambar 13 menunjukkan hasil plotting koefisien gesek total terhadap perpindahan *indenter* pada arah horizontal pada pemodelan dengan variasi kedalaman indentasi yang berbeda, yaitu sebesar 0,3 mm, 0,5 mm, 1 mm. Penelitian pada grafik diatas menggunakan material permukaan terabrasi dengan ukuran *chip* 0,4 mm dan, kecepatan 15 mm/s. Terlihat pada grafik saat jarak 0 sampai 3,2 mm grafik menunjukkan nilai yang sama, setelah itu grafik mengalami fluktuasi. Urutan nilai koefisien gesek total dari yang terbesar ke terkecil yaitu pada kedalaman 1 mm, 0,5 mm, 0,3 mm. Ini juga menyimpulkan semakin dalam kedalaman indentasi maka nilai koefisien gesek yang dihasilkan cenderung semakin besar.

3.5.3 Hasil Plot Koefisien Gesek Total dengan Perpindahan *Indenter* Arah *Horizontal* Variasi Kecepatan



Gambar 14. Grafik nilai koefisien gesek total terhadap perpindahan *indenter* pada material karet permukaan terabrasi dengan variasi kecepatan yang menggunakan besar kedalaman 0,5 mm dan ukuran *chip* 0,4

Pada Gambar 14 menunjukkan hasil plotting koefisien gesek total terhadap perpindahan *indenter* pada arah horizontal pada pemodelan dengan variasi kecepatan geser indentasi yang berbeda, yaitu sebesar 5 mm/s, 15 mm/s, 25 mm/s. Penelitian pada grafik diatas menggunakan material permukaan terabrasi dengan ukuran *chip* 0,4 mm dan, kedalaman indentasi 0,5 mm. Terlihat pada grafik saat jarak 0 sampai 3,2 mm grafik menunjukkan nilai yang sama, setelah itu grafik mengalami fluktuasi kecuali pada kecepatan 5 mm/s yang menunjukkan grafik yang stabil, dan terlihat saat jarak akhir pada kecepatan 25 mm/s fluktuasi grafik masih terjadi dan nilai koefisien gesek totalnya masih belum turun. Urutan nilai koefisien gesek total dari yang terbesar ke terkecil yaitu pada kecepatan 25 mm/s, 15 mm/s, 5 mm/s. Ini juga menyimpulkan semakin cepat kecepatan geser indentasi maka nilai koefisien gesek yang dihasilkan cenderung semakin besar

4. Kesimpulan

Hasil simulasi pada model *elastomer* permukaan halus dan terabrasi yang menggunakan variasi kedalaman indentasi, kecepatan geser, dan ukuran *chip* menunjukkan kontur dan distribusi tegangan von-Mises, tegangan maksimum, gaya reaksi vertikal dan horisontal, dan koefisien gesek total. Serangkaian hasil simulasi tersebut didapatkan beberapa kesimpulan:

1. Kontak antara indenter dengan elastomer dengan model *elastomer* permukaan halus dan terabrasi, menggunakan material SBR-25 dengan variasi kedalaman, variasi kecepatan, dan variasi ukuran chip telah dapat dimodelkan dengan software Abaqus 6.14-5.
2. Nilai tegangan maksimum dari *elastomer* permukaan terabrasi jauh lebih tinggi dari *elastomer* permukaan halus, dan semakin besar ukuran *chip* maka tegangan maksimal yang dihasilkan cenderung lebih besar dan nilainya fluktuatif.
3. Nilai koefisien gesek total dari *elastomer* permukaan terabrasi jauh lebih tinggi dari elastomer permukaan halus, dan nilai koefisien gesek total dengan variasi ukuran *chip* tidak menentu, tetapi secara garis besar semakin besar ukuran *chip* maka koefisien gesek total yang dihasilkan cenderung lebih besar dan nilainya fluktuatif.
4. Semakin besar kedalaman indentasi yang diberikan pada material *elastomer* permukaan terabrasi maka tegangan maksimal yang dihasilkan cenderung lebih besar, dan semakin besar kecepatan geser yang diberikan pada material *elastomer* permukaan terabrasi maka tegangan maksimal yang dihasilkan cenderung lebih besar, dan baik dari variasi kedalaman ataupun kecepatan mempunyai nilai yang fluktuatif.
5. Semakin besar kedalaman indentasi yang diberikan pada material *elastomer* permukaan terabrasi maka koefisien gesek total yang dihasilkan cenderung lebih besar, dan semakin besar kecepatan geser yang diberikan pada material *elastomer* permukaan terabrasi maka koefisien gesek total yang dihasilkan cenderung lebih besar, dan baik dari variasi kedalaman ataupun kecepatan mempunyai nilai yang fluktuatif.
6. Pada saat kondisi awal mempunyai kontur permukaan yang terstruktur, pada saat kondisi kritis mempunyai kontur permukaan yang cuma terpusat pada suatu titik yang hampir tidak terlihat, dan pada kondisi akhir mempunyai kontur yang tidak beraturan dan hampir merata pada *elastomer*.

5. Daftar Pustaka

- [1] McKeen, L. W. (2012). *Film Properties Of Plastics And Elastomers*. 3rd ed.
- [2] Liang, H., 2007. Investigating the mechanism of elastomer abrasion (Doctoral dissertation, University of London).
- [3] Arayaprane, W. (2012). *Abrasion Resistance of Materials*. Croatia: InTech
- [4] Fukahori Y., Yamazaki H., 1994, "Mechanism of rubber abrasion," *Wear* 178(1) 109-116.
- [5] Setiyana B, Ismail R, Jamari J, Schipper DJ (2018) Analytical study of the wear pattern of an abraded rubber surface: interaction model. *Tribol Mater Surf Interfaces*, 23-29
- [6] Schallamach, A. (1958). Friction and abrasion of rubber. 384-417.
- [7] B. Setiyana, R. Ismail, J. Jamari and D.J. Schipper. 2016. "Stick-Slip Behaviour of a Viscoelastic Flat Sliding along a Rigid Indenter." *Tribology Online*, 11(4).512-518.
- [8] C. T. Mc. Carthy, A.N Annaidh, M. D. Gilchrist. 2010, "On the sharpness of straight edge blades in cutting soft solids: Part II – analysis of blade geometry." *Engineering Fracture Mechanics*, Vol. 77, 437-451.
- [9] B. Setiyana, R. Ismail, J. Jamari and D. J. Schipper. 2017, "A Numerical Investigation of Mechanical Behavior of Unfilled Styrene Butadiene Rubber by Static Straight Blade Indentation." *Journal of Mechanical Engineering*, SI 1 (1), 45-5.
- [10] Dassault. 2012. ABAQUS User's Manual, ABAQUS/CAE User's Manual.