

STUDI PER PERBANDINGAN INVESTIGASI MODULUS ELASTISITAS ANTARA METODE UJI TARIK DENGAN METODE INDENTASI PADA MATERIAL STYRENE BUTADIENE RUBBER 25 (SBR-25)

*Desano Indera Sakti¹, Budi Setyana², M. Tauvqirrahman²

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: desanoinderasakti@students.undip.ac.id

Abstrak

Setiap material memiliki sifat dan karakteristiknya masing-masing. Semisal ketika suatu material menerima beban dari luar berupa tekanan, regangan maupun gaya, hasilnya pun dapat menunjukkan respon yang berbeda antara satu material dengan material lainnya. Salah satu respon sebuah material terhadap beban luar adalah hyperelastic yang umumnya dimiliki oleh material karet. Karet banyak digunakan dalam produksi barang maupun industri seperti mesin-mesin penggerak. Salah satu sifat karet yaitu elastis. Elastisitas suatu material harus diketahui khususnya pada karet yang dalam penggunaannya akan mengalami deformasi akibat dari perlakuan terhadap material tersebut, seperti penarikan dan penekanan. Tujuan dari penelitian ini adalah membandingkan nilai output modulus young antara Uji Tarik dan Simulasi Indentasi menggunakan software abaqus dengan metode Shore A Hardness. Dalam simulasi Abaqus, output yang didapat berupa gaya reaksi (reaction force) dari material untuk yang selanjutnya dihitung agar mendapat nilai modulus young. Pemodelan ini menggunakan program komputasi software Abaqus 6.14-5. Pemodelan kontak tekan antara material karet (elastomer) jenis Styrene Butadiene Rubber (SBR-25) dengan indenter dapat dilakukan dengan membuat parameter-parameter pemodelan berupa dimensi ketebalan elastomer. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa semakin besar ketebalan material, maka gaya reaksi yang dihasilkan semakin kecil. Selain itu modulus elastisitas yang dihasilkan oleh simulasi indentasi menggunakan Abaqus dengan metode Shore A Hardness memiliki rata-rata yang mendekati dengan uji Tarik.

Kata kunci : abaqus; hiperelastis; modulus elastisitas; shore a hardness; styrene butadiene rubber 25; yeoh

Abstract

Each material has its own properties and characteristics. For example, when a material receives a load from the outside in the form of pressure, strain or force, the results can show a different response from one material to another. One of the responses of a material to external loads is hyperelasticity which is generally owned by rubber materials. Rubber is widely used in the production of goods and industries such as propulsion machines. One of the properties of rubber is elasticity. The elasticity of a material must be known, especially in rubber which in its use will experience deformation due to the treatment of the material, such as tension and compression. The purpose of this research is to compare the output value of Young's modulus between Tensile Test and Indentation Simulation using abaqus software with Shore A Hardness method. In the Abaqus simulation, the output obtained is in the form of a reaction force from the material which is then calculated to get the value of Young's modulus. This modeling uses the Abaqus 2017 software computing program. Compressive contact modeling between Styrene Butadiene Rubber 25 (SBR-25) type of rubber (elastomer) and indenter can be done by making modeling parameters in the form of elastomeric thickness dimensions. The results of this study indicate that the greater the thickness of the material, the smaller the reaction force produced. In addition, the modulus of elasticity generated by the indentation simulation using Abaqus with the Shore A Hardness method has an average that is close to the Tensile test.

Keywords: *abaqus; hyperelastic, modulus of elasticity; shore a hardness method; styrene butadiene rubber 25; yeoh*

1. Pendahuluan

Sekarang ini pengaplikasian material karet atau istilah dalam dunia teknik dikenal sebagai *rubber* telah meluas dalam berbagai bidang industri, antara lain digunakan pada pegas suspensi, ban roda kendaraan, sabuk konveyor, sol sepatu, penyekat, bantalan karet dan lain-lain. Karet atau rubber ini tidak hanya sebatas merujuk pada karet alam sebagaimana kita ketahui secara umum namun juga material-material lain yang memiliki karakteristik yang mirip maupun mendekati sifat karet. Banyak karakteristik yang bisa kita liat dari karet, sebagai contohnya yakni sifat-sifat mekaniknya yang meliputi sifat *elastic*, *elastic-plastic*, *plastic*, *hyperelastic*, *viscoelastic* dan *viscoplastic*. Sifat-sifat tersebut diperoleh melalui pengujian material seperti pengujian impak, pengujian tekan, pengujian tarik, pengujian gesek dan sebagainya, Sebagai contoh pengujian tarik yang dilakukan guna mengetahui kekuatan tarik material dan pengujian kekerasan yang dapat digunakan untuk mengetahui modulus elastisitas material.

Penelitian ini akan berfokus pada analisis kontak permukaan antara material *elastomers Styrene Butadiene Rubber* (SBR-25) dengan *indenter* pada pengujian kekerasan (tekan) material. Penelitian menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan software ABAQUS CAE 2017. Elastomers pada kondisi *smooth surface*, yaitu kondisi dimana permukaan *elastomers* masih halus belum terabrasi dan indenter pada kondisi *perfect rigid*, yaitu kondisi dimana gaya-gaya luar yang bekerja pada indenter hanya menyebabkan timbulnya percepatan translasi atau percepatan sudut namun tidak mengalami deformasi bentuk. Konstanta-konstanta material *hyperelastic* ditentukan berdasarkan hasil pengujian kekerasan sebelumnya dan metode pemodelan menggunakan model *Yeoh* untuk SBR-25 Penelitian dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui bagaimana perbandingan antara nilai modulus elastisitas dari uji indentasi terhadap modulus elastisitas yang didapat dari uji tarik pada material elastomer SBR-25 dengan memvariasikan ketebalan spesimen terhadap indenter.

2. Dasar Teori

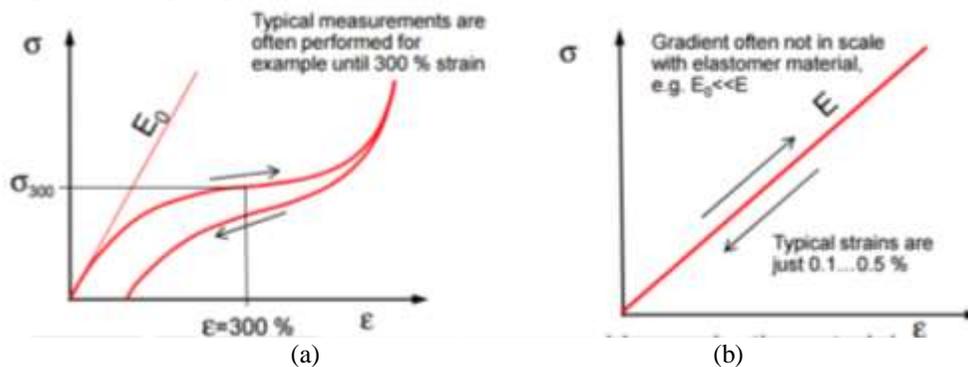
2.1 Elastomer

Sekarang ini banyak rekayasa material dilakukan guna mendapatkan material yang memiliki karakteristik unggul dibanding material lain, salah satunya Elastomers. *Elastomers* merupakan material yang mempunyai daya elastisitas, yakni kemampuan suatu material untuk kembali ke bentuk semula setelah mengalami deformasi akibat pembebanan. Istilah *Elastomers* merupakan gabungan dari dua istilah khusus yaitu *elasto* yang berarti kemampuan material untuk kembali ke bentuk asalnya dan *mer* yang berasal dari polimer, yakni zat dengan massa molekul besar yang terdiri dari unit struktural berulang atau monomer, dihubungkan oleh ikatan kovalen kimia.

Karakteristik dominan dari elastomers yakni material akan kembali elastis meski telah mengalami deformasi beberapa kali dalam kompresi dan regangan. Selain itu, elastomers memiliki karakteristik dengan ketangguhan yang besar di bawah tekanan statis atau dinamis, ketahanan abrasi yang lebih baik daripada baja, kedap udara dan air serta dalam banyak kasus pada resistensi tinggi terhadap pembengkakan dalam pelarut dan serangan oleh bahan kimia. Elastomer juga memiliki sifat viskoelastik, yang saat ini dapat disesuaikan untuk berbagai aplikasi khusus, misalnya ban, getaran dan isolasi serta peredam kejut.

2.2 Material Hyperelastic

Material elastic merupakan material yang dapat kembali ke bentuk semula ketika beban yang diberikan dilepas. Material engineering seperti logam diklasifikasikan sebagai *linear elastic solid*, sedangkan material *rubber* diklasifikasikan sebagai *non linier elastic solid* (Garcia dkk., 2005). Perbedaan material *linear elastic solid* dan material *non linier elastic solid* adalah perilaku *stress-strain* mereka yang berasal dari fungsi densitas energi regangan. Material *hyperelastic* dapat menahan deformasi yang besar dan dapat meregang hingga 700%, oleh karena itu material *hyperelastic* memiliki sifat non linear, hal tersebut dapat dilihat seperti pada gambar 1 berikut.



Gambar 1 (a) kurva tegangan regangan material non-linier elastic solid (Jakel, 2010)
 (b) kurva tegangan regangan material elastic solid (Jakel, 2010)

Material *hyperelastic* merupakan kasus khusus untuk material berbasis Cauchy dimana tegangan hanya bergantung pada deformasi saat ini. Teori kinetik Meyer menjelaskan bagaimana bahan-bahan ini terdiri dari rantai fleksibel seperti struktur yang berputar dan lurus ketika berubah bentuk. Hal ini menyebabkan teori bahwa fungsi kerapatan energi regangan dapat ditulis sebagai fungsi deformasi. Kerapatan energi regangan kemudian dapat dibedakan untuk mendapatkan perilaku tegangan dan regangan material. Bahan hiperelastis yang paling umum adalah elastomer atau karet. Beberapa sifat elastomer antara lain adalah sebagai berikut :

- Bahan hampir idealnya elastis dan deformasi dapat dibalik dengan tegangan menjadi fungsi hanya dari regangan saat ini dan independen dari history atau laju pembebanan, jika terdeformasi pada suhu konstan atau adiabatik.
- Bahannya tidak dapat dimampatkan dan sangat tahan terhadap perubahan volume.
- komponen hidrostatis sebanding dengan material.
- Material ini sangat lemah dalam tegangan geser dengan modulus geser 10 hingga 5 kali lebih kecil dibandingkan logam.
- Bahannya isotropik, respons tegangan-regangannya tidak tergantung pada orientasi bahan.

2.3 Teori Model Yeoh

Model Yeoh pertama kali diperkenalkan pada tahun 1990. Teori ini merupakan bentuk khusus dari model polinomial tereduksi dengan ekspansi tiga suku ($n = 3$ dan $m = 0$) dan hanya ketergantungan dengan I_1 atau Invarian I (O.H. Yeoh, 1990). Model Yeoh ini dapat diterapkan pada berbagai deformasi yang menghasilkan hasil yang wajar di bawah peregangannya uniaxial besar dan deformasi geser sederhana. Namun, ketika diterapkan pada deformasi yang lebih kompleks dan mengandung berbagai jenis regangan, model Yeoh ini mungkin menunjukkan ketidakakuratan. Formula perhitungan Yeoh dapat dijabarkan pada persamaan 1 berikut ini.

$$W = C_{10}(I_1 - 3) + C_{20}(I_1 - 3)^2 + C_{30}(I_1 - 3)^3 \quad (1)$$

Keterangan :

- W = Strain Energy Function
- C_{10}, C_{20}, C_{30} = Koefisien SEF Yeoh
- I_1, I_2, I_3 = Regangan invarian

2.4 Uji Tarik

Uji tarik merupakan suatu metode yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu bahan/material dengan cara memberikan beban gaya yang seimbang. Pengujian ini digunakan untuk mengetahui sifat-sifat mekanis material antara lain kekuatan tarik, kuat luluh, keuletan, modulus lastisitas, kelentingan dan ketangguhan. Hasil yang didapatkan dari pengujian ini dapat diterapkan dalam rekayasa teknik dan menghasilkan desain produk yang memiliki sifat-sifat mekanis yang unggul. Uji tarik banyak dilakukan untuk melengkapi informasi rancangan dasar kekuatan suatu bahan dan sebagai data pendukung bagi spesifikasi bahan. Nilai kekuatan dan elastisitas dari material uji dapat dilihat dari kurva tegangan regangan yang didapat dari uji tarik (Fauzi Imam, 2016).

Alat yang digunakan untuk melakukan uji tarik adalah *Tensile Testing Machine*. Prinsip pengujian tarik adalah spesimen ditarik dengan laju pembebanan yang lambat, hingga spesimen itu putus. Mesin uji tarik akan mencatat besarnya beban tarik yang diberikan terhadap spesimen setiap saat beserta besarnya perpanjangan (*elongation*) yang terjadi pada spesimen setelah dilakukan uji tarik. Alat pencatat beban tarik adalah load cell. Sedangkan alat pencatat perpanjangan yang terjadi pada spesimen adalah ekstensometer.

Grafik yang dihasilkan dari mesin uji tarik adalah grafik antara gaya atau beban tarik terhadap perpanjangan yang terjadi. Grafik tersebut harus dikonversikan menjadi grafik tegangan sebenarnya (*true-stress*) terhadap regangan sebenarnya (*true-strain*), tujuannya untuk mencari nilai kekakuan atau Modulus Elastisitas suatu material yang dapat digunakan dalam analisis kegagalan material. Berikut persamaan-persamaan yang digunakan dalam mencari Modulus Elastisitas :

$$\lambda = \frac{l_i}{l_0} \Rightarrow \varepsilon = \lambda - 1 = \frac{\Delta l}{l_0} \Rightarrow \sigma_e = \frac{F}{A_0}$$

$$\sigma_t = \sigma_e \times \lambda \Rightarrow E = \frac{\sigma_t}{\varepsilon}$$

Gambar 2. Persamaan dalam mencari modulus elastisitas pada uji tarik

Keterangan :

- λ = rasio panjang akhir dibanding panjang awal
- l_0 = panjang awal
- l_i = panjang akhir
- ε = regangan

σ_e = engineering stress (N/m²)
 σ_t = true stress (N/m²)
 E = Modulus Elastisitas (N/m²)

2.5 Menentukan Modulus Elastisitas Tekan dengan metode Shore A Hardness

Nilai modulus young dalam penekanan elastomer yang memiliki nilai kekerasan Shore A antara 30 dan 95 dapat ditentukan dengan mengubah nilai Shore A ini. Rumus yang diturunkan untuk tujuan ini membangun hubungan antara prinsip-prinsip teoritis yang terlibat dan aspek teknis dari uji kekerasan Shore A.

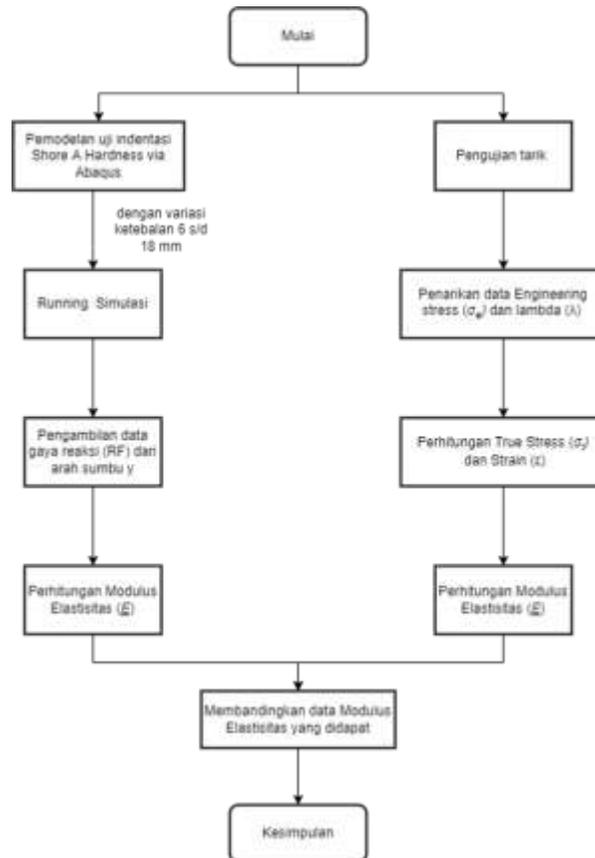
Perilaku deformasi elastomer sering ditandai dengan menentukan kekerasan Shore A, dan jarang melalui modulus elastisitas. Alasan ini muncul dikarenakan mengukur modulus elastisitas elastomer melalui formula biasa tidak terlalu sederhana. Fakta ini harus dilihat berdasarkan minat praktis untuk mengetahui modulus elastisitas setidaknya dalam hal urutan kegunaannya. Modulus elastisitas adalah hal yang potensial dalam menghitung desain komponen, baik melalui persamaan analitis atau melalui Finite Element Methode (FEM).

Titik awal untuk pertimbangan adalah elastomer berbeda dengan bahan polimer dan logam lainnya dimana kekakuan berhubungan dengan kekerasan untuk menentukan modulus elastisitas sebagai ukuran kekerasan melalui prosedur uji Shore A yang dimodifikasi. Modifikasi utama ini adalah menggunakan indenter berujung silinder sebagai pengganti indenter berujung kerucut terpotong standar saat mengukur nilai Shore A. Percobaan ini membutuhkan alat ukur yang memungkinkan penggantian jenis indenter yang pada umumnya tidak sederhana. Kelemahan lebih lanjut adalah bahwa nilai Shore A yang terkandung dalam data tidak dapat diubah menjadi nilai modulus elastisitas. Ini adalah alasan utama untuk menyelidiki kemungkinan perubahan modulus elastisitas melalui kekerasan Shore A yang biasa tanpa memodifikasi indenter (Hanzer, 2006).

3. Metodologi Penelitian

3.1 Flow Chart Penelitian

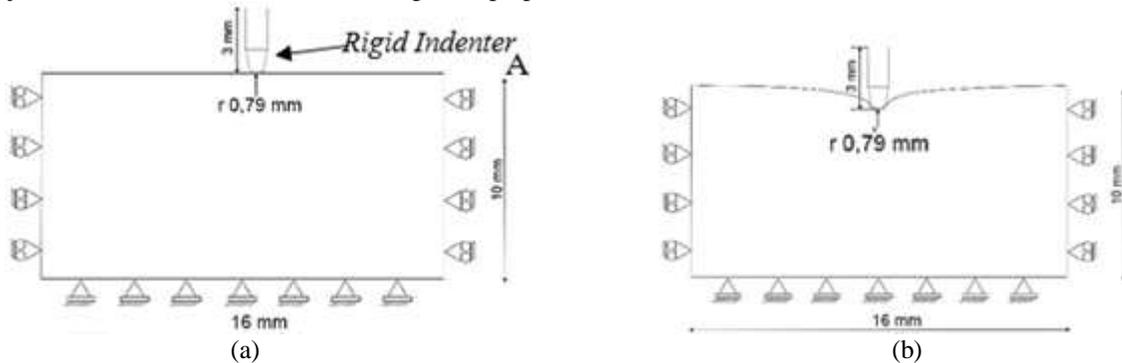
Berikut ini diagram alir penelitian untuk Mencari Modulus Elastisitas dengan metode Indentasi pada material hyperelastic *Styrene Butadiene Rubber 25* (SBR-25):



Gambar 2 Diagram alir penelitian.

3.2 Pemodelan

Simulasi dilakukan untuk pemodelan kontak tekan antara indenter dengan material elastomers, dimulai dengan melakukan indentasi atau perpindahan arah vertikal pada indenter. Fokus hasil yang dianalisis adalah perubahan Gaya Reaksi yang terjadi di setiap variasi ketebalan elastomers yaitu 6 mm, 8 mm, 10 mm, 12 mm, 14 mm, 16 mm, dan 18 mm. Gambaran kasus dari penelitian ini dimodelkan dalam bentuk 3 dimensi dengan geometri yang dijelaskan pada Gambar 3. Regangan pada arah tegak lurus bidang diabaikan. Sisi kanan dan kiri elastomers ditumpu pada arah horizontal, sedangkan bagian bawah elastomers ditumpu mati. Penyelesaian kasus ini dilakukan menggunakan metode elemen hingga (finite element) dengan bantuan software Abaqus CAE 2017. Indentasi atau perpindahan arah vertikal pada indenter. Hasil yang didapat berupa gaya reaksi (RF2). Gambar 3 (a) menjelaskan kondisi awal pada simulasi pemodelan, kemudian Gambar 3 (b) menjelaskan kondisi dimana indenter mengalami perpindahan vertikal.



Gambar 3 (a) Skema kondisi awal pemodelan kontak tekan pada material *hyperelastic* dengan ketebalan 10 mm
 (b) Kondisi setelah step tekan / indenting.

Langkah-langkah pemodelan dengan metode elemen hingga menggunakan software Abaqus CAE 2017 meliputi:

a. Pre-processing

Meliputi: pembuatan part (sketch), pemberian properti material pada komponen (jenis material, Massa Jenis, Kondisi batas *Hyperelastic* Yeoh C1,C2,C3), assembly komponen, pemilihan step, pemilihan interaksi (kontak), pembebanan dan pemberian kondisi batas (*boundary condition*), meshing dengan memperhatikan jumlah elemen.

b. Pemecahan masalah (*Problem solving*)

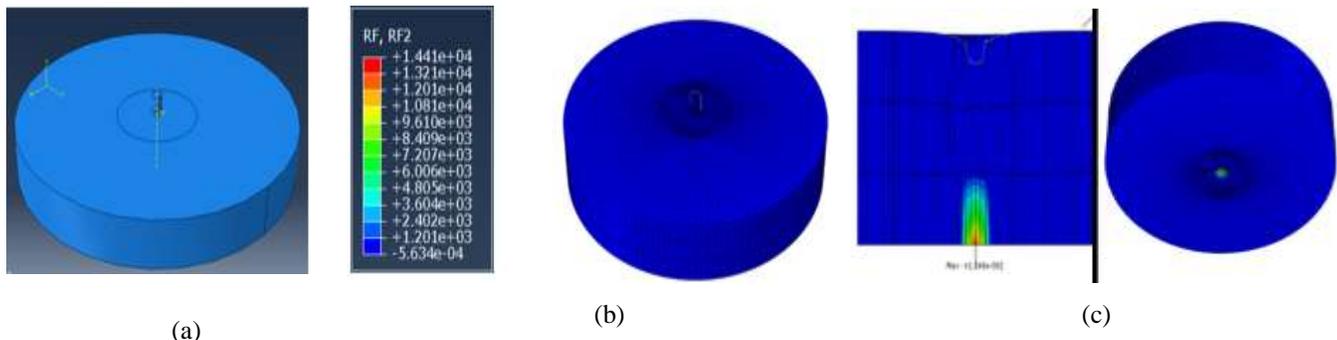
c. Post processing

Sebuah model FEA (*Finite Element Analysis*) terdiri dari beberapa komponen yang secara bersamaan menjelaskan masalah fisik yang akan dianalisis dan hasil yang akan diperoleh. Minimal model harus berisi informasi berikut: geometri, sifat unsur, sifat material, beban dan kondisi batas, jenis analisis dan format file output. Informasi ini terdapat

4. Hasil dan Simulasi

4.1 Bentuk Umum Pemodelan dan Hasil Simulasi

Pemodelan kontak *hyperelastic* menggunakan metode elemen hingga (Finite Element Methode) dengan dengan software Abaqus telah dilakukan dan ditunjukkan pada Gambar 4.1, dimana indenter berbentuk kerucut dan material *hyperelastic* menggunakan material *Styrene Butadiene Rubber 25* jenis SBR-25. Koefisien Strain Energy Function (SEF) menggunakan hasil uji tarik yang telah dilakukan oleh Hidayaturrahman, dkk dengan model SEF Yeoh, dimana koefisien SEF tersebut dianggap mewakili sifat *hyperelastic* dari material *Styrene Butadiene Rubber 25* SBR-25. Pemodelan simulasi menggunakan metode 3D Simulation seperti pada gambar 3. dengan detail assembly indenter dan karet pada gambar 3 (a), detail pemodelan dalam bentuk Mesh 3D pada gambar 3 (b), dan persebaran gaya reaksi dalam bentuk potongan axial dan tampak bawah pada gambar 3 (c).



Gambar 3 (a) Detail *Assembly* Indenter dan SBR-25 (b) Detail Pemodelan dalam Bentuk Mesh 3D (c) Persebaran Gaya Reaksi dalam Bentuk Potongan Axial dan Tampak Bawah.

4.2 Bentuk Umum Pemodelan dan Hasil Simulasi

Ketebalan Spesimen SBR-25 memiliki pengaruh terhadap Modulus Young material yang telah disimulasikan. Hasil perhitungan menggunakan sample pada ketebalan specimen 6 mm. Untuk mencari nilai Modulus Young dapat dimulai dengan mencari nilai Gaya Reaksi (Reaction Force) berdasarkan persamaan 2, yaitu :

$$\begin{aligned}
 Sh_A &= \frac{RF - C_1}{C_2} & (2) \\
 &= \frac{01.2788 - 0.5490}{0.0752} \\
 &= \mathbf{60.7528}
 \end{aligned}$$

Setelah didapatkan hasil perhitungan Sh_A , langkah selanjutnya adalah mencari *Depth of Penetration* berdasarkan persamaan 3, yaitu :

$$\begin{aligned}
 w &= C3 \times (100 - Sh_A) & (3) \\
 &= 0.0250 \times (100 - 60.7528) \\
 &= \mathbf{0.9812 \text{ mm}}
 \end{aligned}$$

Setelah didapatkan hasil perhitungan *Depth of Penetration*, langkah terakhir adalah mencari Modulus of Elasticity berdasarkan persamaan 4 yaitu :

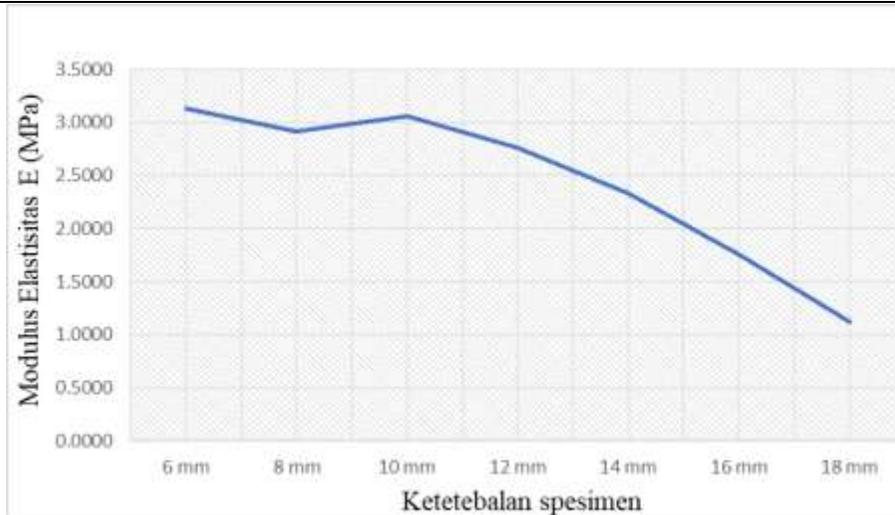
$$\begin{aligned}
 E &= \frac{1 - \mu^2}{2 \times R \times C3} \times \frac{c1 + c2 \times Sh_A}{100 - Sh_A} & (4) \\
 &= \frac{1 - 0.5^2}{2 \times 0.6250 \times 0.0250} \times \frac{0.5490 + 0.0752 \times 40.8892}{100 - 60.7582} \\
 &= \mathbf{3.1280 \text{ N/mm}^2}
 \end{aligned}$$

Untuk rekap data simulasi indentasi metode Shore A Hardness dengan 7 variasi ketebalan dapat dilihat pada gambar 4 berikut.

Tabel 1 Rekap data hasil simulasi metode Shore A Hardness

Variasi Ketebalan (mm)	6	8	10	12	14	16	18
Modulus Elastisitas (MPa)	3.1280	2.9161	3.0598	2.7657	2.3264	1.7596	1.1168

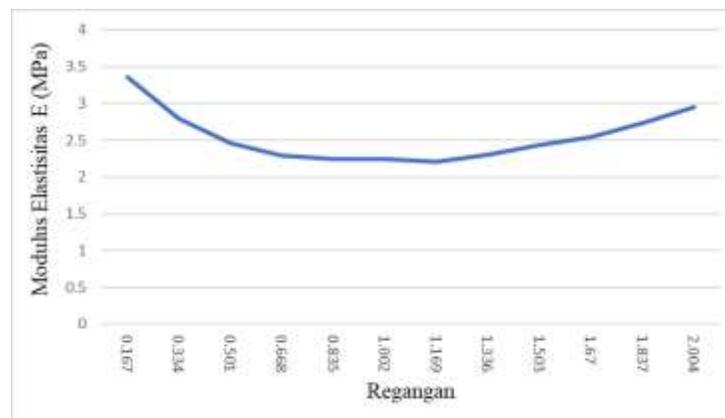
Tabel 1 adalah hasil perbandingan perhitungan Modulus Elastisitas (E) Elastomer SBR-25 melalui simulasi FEM menggunakan Abaqus CAE 2017. Simulasi FEM menggunakan 7 variasi ketebalan elastomer. Terlihat pada grafik tersebut bahwa nilai modulus elastisitas pada variasi ketebalan elastomer 6 mm hingga 18 mm mengalami penurunan pada setiap penambahan ketebalan elastomernya. Walaupun terlihat konsisten menurun, selisih penurunannya tidak sama di setiap variasi ketebalannya atau dalam kata lain tidak linier.



Gambar 4 Grafik Modulus Elastisitas (E) Simulasi FEM di setiap variasi ketebalan

4.3 Hasil Pengujian Uji Tarik

Investigasi mekanisme abrasi elastomer *Styrene Butadiene Rubber 25* (SBR-25) telah diteliti oleh Hidayaturrehman dkk. melalui pengujian uji tarik pada tahun 2020. Dari penelitian tersebut telah ditemukan hubungan regangan (ϵ) terhadap modulus elastisitas (E). Grafik yang menunjukkan hubungan tersebut digambarkan dalam Gambar 5 berikut.



Gambar 5 Grafik Hubungan Regangan terhadap Modulus Elastisitas (E)

Gambar 6 menunjukkan grafik hubungan Regangan (ϵ) dengan Modulus Elastisitas (E), dimana Regangan (ϵ) adalah nilai yang didapat dari perbandingan Pertambahan Panjang (ΔL) dan Panjang awal persamaan (L_0) yang dapat dihitung dengan persamaan $\epsilon = \Delta L / L_0$. Modulus Elastisitas merupakan perbandingan Tegangan (σ) dan Regangan (ϵ) yang dapat dihitung dengan persamaan $E = \sigma / \epsilon$. Namun, pada saat proses uji tarik seiring meningkatnya beban tarik area penampangnya berubah sehingga perlu dilakukan konversi nilai engineering stress menjadi true stress. Nilai Engineering stress dalam penelitian Liang dapat dikonversi menjadi nilai true stress seperti yang dilakukan oleh Mc Carthy dalam penelitiannya dengan persamaan sebagai berikut.

$$\sigma_{True} = \lambda \sigma_{Engineering} \quad (5)$$

True Stress diperoleh dari persamaan $\sigma = F/A$ tetapi area spesimen tidak konstan karena seiring dengan proses uji tarik akan terjadi necking yang menyebabkan luas penampang (A) berubah. Persamaan 5 adalah hubungan lambda terhadap true stress dari konversi nilai engineering stress yang diperoleh dari pengujian uji tarik. Lambda adalah rasio perpanjangan (extension ratio) dari elastomer. Lambda diperoleh dari hukum hooke seperti yang dijabarkan dalam persamaan berikut ini.

$$\sigma_{True} = E \epsilon \quad (6)$$

Persamaan diatas adalah persamaan hukum hooke, dimana σ adalah tegangan, E adalah modulus elastisitas (Young's Modulus), dan ϵ adalah regangan (Callister, 2007). Lalu persamaan regangan dijabarkan dalam persamaan berikut ini.

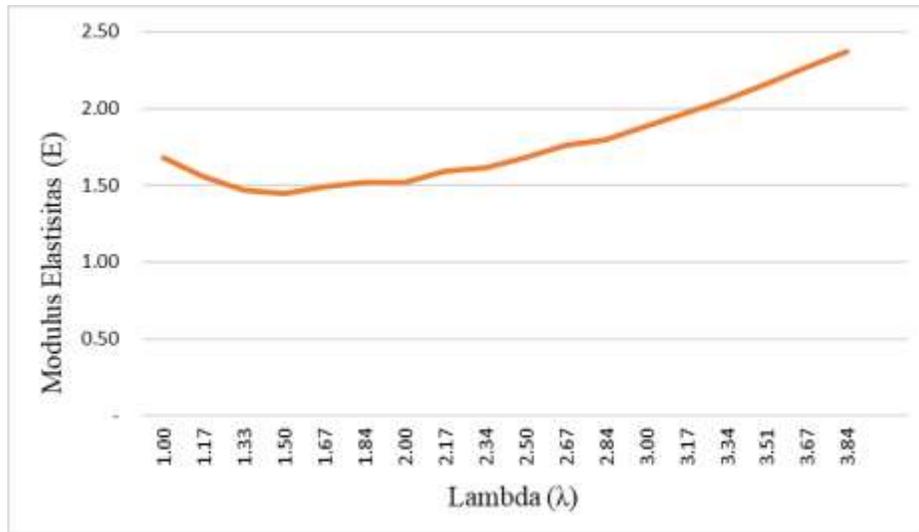
$$\varepsilon = \frac{L - L_0}{L_0} = \frac{L}{L_0} - 1 \quad (7)$$

Dimana $\frac{L}{L_0} = \lambda$, Maka $\varepsilon = \lambda - 1$

Dari persamaan diatas, kita dapat menentukan nilai modulus elastisitas (E), sehingga persamaan modulus elastisitas adalah sebagai berikut.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{\sigma}{\lambda - 1} \quad (8)$$

Persamaan diatas digunakan untuk menentukan hubungan modulus elastisitas terhadap lambda. Hubungan antara modulus elastisitas terhadap lambda dari uji tarik tersebut disajikan dalam Gambar 7 berikut.



Gambar 6 Grafik Hubungan Modulus Elastisitas terhadap Lambda

Gambar 6 menunjukkan hubungan elastisitas terhadap lambda, dari sini kita dapat mengkomparasi nilai modulus elastisitas dari uji tarik yang telah dilakukan Hidayaturrahman dkk dengan nilai modulus young pemodelan ini. Untuk menentukan nilai modulus young pada material hiperelastis atau non linear dipilih berdasarkan nilai regangan yang relatif kecil karena sifat material hiperelastis memiliki nilai modulus elastisitas berbeda.

4.4 Pembahasan Hasil kedua Pengujian

Setelah melakukan kedua analisis baik Uji indentasi dengan Metode Shore A Hardness dan Metode Uji Tarik, didapatkan perbandingan hasil modulus elastisitas dan plot grafik dari kedua metode tersebut. Berdasarkan hasil tersebut rata-rata hasil modulus elastisitas dari kedua metode tersebut menunjukkan nilai yang mendekati. Plot grafik kedua metode menunjukkan perbedaan dimana metode uji Tarik lebih stabil sementara dari uji simulasi indentasi Shore A Hardness menunjukkan fluktuasi nilai dimana pada ketebalan 6 mm ke 8 mm dan 12 mm ke 18 mm mengalami penurunan nilai E, sedangkan pada ketebalan 8 mm ke 10 mm mengalami kenaikan nilai modulus elastisitas (E). Hal ini terjadi karena semakin meningkatnya ketebalan material berakibat pada semakin jauhnya indenter dengan dasar specimen. Hal ini berimbas pada semakin kecilnya gaya reaksi yang dihasilkan pada specimen yang semakin tebal. Dengan hal ini, modulus elastisitas yang dihasilkan juga berbanding lurus dengan pernyataan tersebut.

Tabel 2 Tabel Modulus Elastisitas dari Pengujian Tarik

No	λ	$\sigma_{engineering}$	ε	σ_{true}	E
1	1.167	0.48	0.167	0.5601	3.3542
2	1.334	0.7	0.334	0.9338	2.7958
3	1.501	0.82	0.501	1.2308	2.4567
4	1.668	0.92	0.668	1.5345	2.2972

5	1.835	1.02	0.835	1.8717	2.2415
6	2.002	1.12	1.002	2.2422	2.2377
7	2.169	1.19	1.169	2.5811	2.2079
8	2.336	1.32	1.336	3.0835	2.3080
9	2.503	1.46	1.503	3.6543	2.4313
10	2.67	1.59	1.67	4.2453	2.5420
11	2.837	1.77	1.837	5.0214	2.7335
12	3.004	1.97	2.004	5.9178	2.9530
Rata-rata					2.5466

Tabel 3 Tabel Modulus Elastisitas dari Pengujian Indentansi Menggunakan Metode FEM Aplikasi Abaqus

NO	Ketebalan Spesimen (mm)	E Simulasi FEM
1	6	3.1280
2	8	2.9161
3	10	3.0598
4	12	2.7657
5	14	2.3264
6	16	1.7596
7	18	1.1168
Rata2		2.4389

Walaupun memiliki trend modulus elastisitas yang berbeda di setiap ketebalan pada kedua pengujian tersebut, rata-rata dari kedua simulasi tersebut memiliki rata-rata nilai modulus elastisitas (E) yang mendekati yaitu 2.4389 N/mm dan 2.5466 N/mm.

5 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi variasi ketebalan spesimen SBR-25 dengan model hyperelastic menunjukkan kontur dan distribusi tegangan von-Mises, tegangan maksimum, gaya reaksi vertikal. Serangkaian hasil simulasi tersebut didapatkan kesimpulan bahwa terdapat perbedaan nilai modulus elastisitas pada kedua pengujian dimana hasil pemodelan indentasi dengan metode shore A Hardness sebesar 2,4389 MPa sementara hasil dari uji tarik sebesar 2,5466 MPa. Selain itu, nilai gaya reaksi pada simulasi indentasi Shore A Hardness pada variasi ketebalan elastomer 6 mm hingga 18 mm mengalami penurunan pada setiap penambahan ketebalan elastomernya. Walaupun terlihat konsisten menurun, selisih penurunannya tidak sama di setiap variasi ketebalannya atau dalam kata lain tidak linier.. Hal ini terjadi karena keterbatasan software.

Daftar Pustaka

- [1] Arizky, Meri. (2021). Pengaruh Jenis Karet Pada Kompon Karet Tahan Garam Pada Suhu Tinggi Untuk Aplikasi Rubber Lining. Fakultas Sains dan Ilmu Komputer Universitas Pertamina.
- [2] Hanhi, K., Poikelispää, M., Tirilä, H.M. (2007). Tampere University Of Technology The Laboratory Of Plastics And Elastomers Technology
- [3] Indrajati et al. (2019). Characteristics of natural rubber/latex compound waste (NR/LCW) blends in the perspective of shoe soles application. *Majalah Kulit, Karet, dan Plastik*, 35(1), 17-24, 2019.
- [4] Kunz, J., Studer, M. (2006). Determining the Modulus of Elasticity in Compression via the Shore A Hardness. *Kunststoffe International Journal*. Department of Mechanical Engineering, Carl Hanser Verlag, Munich, Germany.
- [5] Liang, Hancheng. (2007). Investigating the Mechanism of Elastomer Abrasion. School of Engineering and Material Science, Queen Mary, University of London : United Kingdom.
- [6] Nasruddin. (2018). Mechanical Properties Of Rubber Waves From Composite Of Natural Rubber And Synthetic Rubber Using Multi Filler. Balai Riset dan Standardisasi Industri Palembang.
- [7] Setiyana, Budi. (2019). Fenomena Kontak Gesek Permukaan Karet SBR-25 yang Terabrasi dengan Rigid Blade Indenter. *ROTASI*, Vol. 21 No.4.
- [8] Setiyana, Budi. (2019). Identifikasi Sifat Tribologi Dari Karet Vulkanisir Dengan Menggunakan Metode Uji Pin On Disc. Prosiding SNST ke-10
- [9] Setiyana, dkk. (2019). "Identifikasi Tegangan pada Permukaan Karet SBR-25 saat mengalami Kontak Abrasi". *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, Vol. 14 No. 2.
- [10] Zhang, S.W., (2004). *Tribology of elastomers* (Vol. 47). Elsevier