

ANALISA PENGARUH TEKANAN DAN SUHU TERHADAP PENGUJIAN HASIL PEMBUATAN INSOL SEPATU DARI MATERIAL KOMPOSIT SILICONE RUBBER DAN TALC MENGGUNAKAN CETAKAN ALUMINIUM DENGAN PROSES *INJECTION MOLDING*

*Gilbert Fedrick Purba¹, Yusuf Umardani², Agus Suprihanto²

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: gilbertfedrickpurba@gmail.com

Abstrak

Pembuatan insol sepatu pada penelitian ini menggunakan proses *injection molding*. Insol sepatu dibuat dengan menggunakan material *silicone rubber*. Alasan digunakannya material *silicone rubber* atau karet silikon adalah bahannya yang elastis, tingkat kekerasan yang rendah, tahan air, dan tahan lama terhadap aus ketika penggunaan yang sangat lama. Proses injeksi molding adalah metode pembentukan material termoplastik dengan cara penginjeksian material yang meleleh karena pemanasan oleh *heater* ke dalam bentuk cetakan yang sudah dirancang. Jenis cetakan yang digunakan dalam penelitian ini adalah aluminium. Dilihat dari proses yang dilakukan, hasil dari pembuatan insol sepatu dipengaruhi oleh suhu dan tekanan yang diberikan. Suhu yang terlalu panas mengakibatkan adanya porositas sehingga suhu paling optimal untuk pembuatan insol sepatu dengan metode *injection molding* adalah 75°C. Adapun tekanan yang terlalu kecil dapat membuat material tidak mengeras secara merata disebabkan oleh lamanya material *silicone rubber* menyebar ke permukaan secara menyeluruh. Oleh sebab itu, tekanan yang optimal atau dianjurkan dalam pembuatan insol sepatu berbahan dasar *silicone rubber* RTV 497 adalah 150 bar. Pada penelitian ini sudah dilakukan beberapa pengujian dan dapat diketahui bahwa rata-rata kekerasan insol sepatu setelah melakukan 36 kali pengujian adalah 14.9. Dari pengujian ini dapat dilihat bahwa semakin besar tekanan dan suhu yang diberikan, maka semakin besar juga nilai kekerasan yang didapat. Densitas rata-rata insol sepatu dari 4 kali pengujian yang sudah dilakukan adalah 1,25 gram/cm³ *Tear strength* rata-rata insol sepatu adalah 0,575 N/mm dan regangan rata-rata dari insol sepatu tersebut adalah 1,43. Dapat diketahui bahwa semakin tinggi nilai regangan suatu material, maka semakin tinggi juga nilai *tear strength* dari material tersebut. Selain itu, semakin besar gaya yang dibutuhkan untuk membuat material putus, maka semakin besar juga nilai regangan yang didapat. Secara menyeluruh, waktu yang digunakan untuk membuat insol sepatu berbahan dasar *silicone rubber* dengan metode *injection molding* adalah ±50 menit.

Kata kunci : *injection molding; shoe insoles; silicone rubber; talc*

Abstract

Making shoe insoles in this study used an injection molding process. Shoe insoles are made by using silicone rubber material. The reason for using silicone rubber is that the material is elastic, has a low hardness level, is water resistant, and is durable against wear and tear when used for a very long time. The injection molding process is a method of forming thermoplastic materials by injecting molten material due to heating by a heater into a mold that has been designed. The type of mold used in this study is aluminum metal. Judging from the process carried out, the results of making shoe insoles are affected by the temperature and pressure applied. Temperatures that are too hot result in porosity so that the most optimal temperature for making shoe insoles using the injection molding method is 75°C. The pressure that is too small can make the material not harden evenly due to the length of time the silicone rubber material spreads over the surface as a whole. Therefore, the optimal or recommended pressure in making shoe insoles made from RTV 497 silicone rubber is 150 bar. In this study several tests have been carried out and it can be seen that the average hardness of shoe insoles after 36 tests is 14.9. From this test it can be seen that the greater the pressure and temperature given, the greater the hardness value obtained. The average density of shoe insoles from the 4 tests that have been carried out is 1.25 gram/cm³ The average tear strength of shoe insoles is 0.575 N/mm and the average strain of these shoe insoles is 1.43. It can be seen that the higher the strain value of a material, the higher the tear strength value of the material. In addition, the greater the force needed to break the material, the greater the strain value obtained. Overall, the time used to make shoe insoles which are made by silicone rubber using the injection molding method is ±50 minutes.

Keywords: *injection molding; shoe insole; silicone rubber; talc*

1. Pendahuluan

Semakin berkembangnya zaman, sepatu telah bergeser menjadi suatu kebutuhan primer di kalangan masyarakat. Sepatu digunakan untuk melakukan kegiatan sehari-hari, seperti berjalan, berlari, dan melompat. Sepatu dirancang sebegas mungkin agar memberikan kenyamanan bagi pemakainya. Penggunaan sepatu sebagai alas kaki berfungsi untuk melindungi kaki dari pengaruh luar, seperti benda berbahaya, zat-zat yang menyebabkan kaki tergores dan kotor. Pada perancangan sepatu terdapat tiga jenis sol, yaitu sol luar (*outsole*), *middlesole*, dan sol dalam (*insole*) [1].

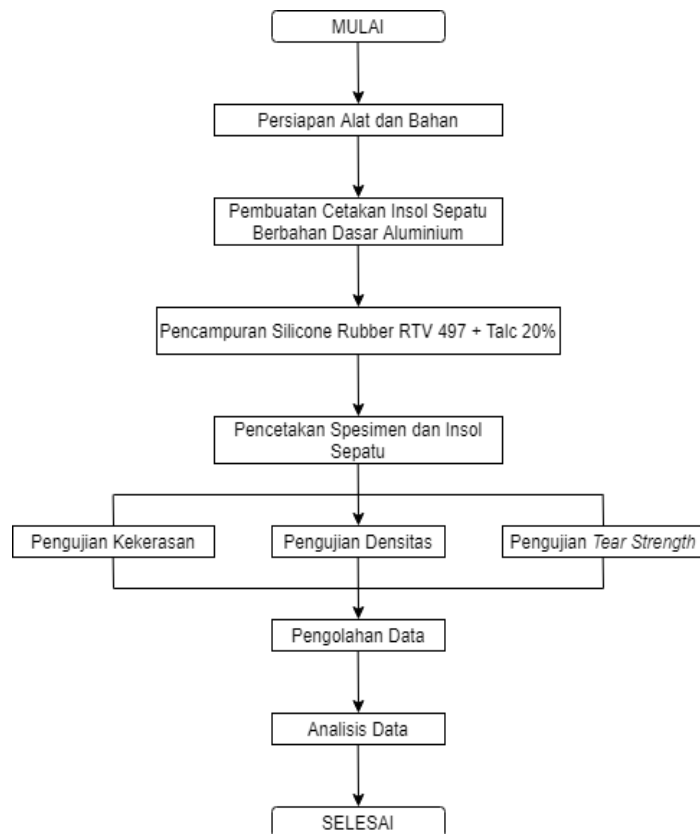
Sebelum membuat produk sepatu, perancangan desain insol sepatu merupakan hal yang sangat diperhatikan guna menunjang kenyamanan bagi pemakainya. Aspek penting dalam pembuatan insol sepatu yaitu diperlukan suatu cetakan dengan spesifikasi yang baik. Pembuatan insol sepatu ini menggunakan proses *injection molding*. Insol sepatu dibuat dengan menggunakan material *silicone rubber*.

Alasan digunakannya material *silicone rubber* atau karet silikon adalah bahannya yang elastis, tingkat kekerasan yang rendah, tahan air, dan tahan lama terhadap aus ketika penggunaan yang sangat lama. Untuk membuat produk insol sepatu berbahan *silicon rubber* tersebut, diperlukan cetakan yang tahan terhadap panas ketika proses pengubahan bahan dasar plastik yang tadinya berbentuk butiran menjadi cairan yang homogenik [2]. Pada penelitian kali ini digunakan cetakan berbahan logam aluminium. Adapun kelebihan dari pembuatan cetakan berbahan aluminium adalah bahan yang sangat ringan, ketahanan korosi yang baik, konduktivitas termal yang baik, dan proses mekanik yang kuat.

Proses injeksi molding adalah metode pembentukan material termoplastik dengan cara penginjeksian material yang meleleh karena pemanasan oleh *plunger* ke dalam bentuk cetakan yang sudah dirancang. Penggunaan jenis cetakan yang tepat dapat meningkatkan hasil produksi baik dari segi kualitas maupun kuantitas. Jenis cetakan yang sering digunakan dalam industri antara lain cetakan pasir dan cetakan aluminium [3].

2. Dasar Teori dan Metodologi

Pada penelitian ini, metode yang digunakan adalah eksperimen laboratorium yang meliputi tiga tahap. Adapun tahap pertama dilakukan proses pembuatan cetakan aluminium untuk spesimen pengujian dan insol sepatu, tahap kedua percobaan pembuatan spesimen dengan *silicone rubber* yang dicampur *talca*, dan tahap ketiga dilakukan percobaan pencetakan spesimen komposit dari bahan baku *silicone rubber* dengan penambahan komposisi *talca*. Ketiga tahap yang sudah dilakukan ini kemudian dilakukan beberapa pengujian, yaitu uji tarik, uji kekerasan, dan uji densitas. Tahapan proses yang akan dilakukan dalam penelitian ini digambarkan dalam diagram alir pada Gambar 1.



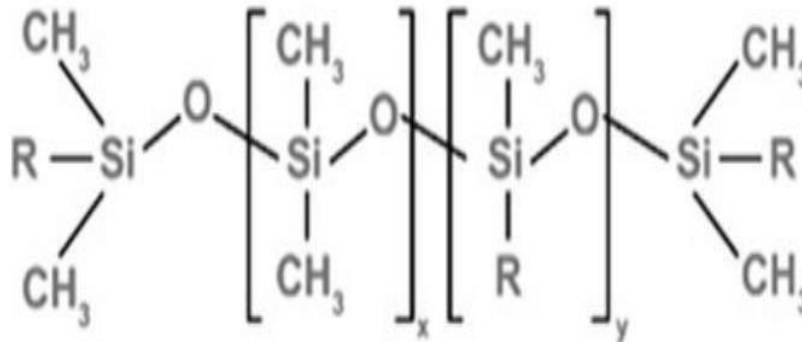
Gambar 1. Diagram Alir Metode Penelitian

2.1 Komposit

Komposit adalah material yang dibentuk dari campuran dua atau lebih material baku dengan tujuan agar mendapatkan sifat mekanis yang lebih bagus dan lebih bernilai. Komposit terdiri atas dua bagian, yaitu *filler* yang berfungsi sebagai pengisi komposit dan matriks yang berfungsi sebagai pengikat atau pelindung komposit [4].

2.2 Silicone Rubber

Silicone rubber atau karet silikon adalah elastomer (bahan mirip karet) yang terdiri dari silikon itu sendiri dan merupakan polimer yang mengandung silikon bersama dengan karbon, hidrogen, dan oksigen [5]. Karet silikon seringkali merupakan polimer satu atau dua bagian, dan mungkin mengandung pengisi untuk meningkatkan sifat atau mengurangi biaya. Beberapa alasan penggunaan karet silikon adalah fleksibilitas dan temperatur yang lebih luas, ketahanan yang baik terhadap kompresi, berbagai pilihan durometer, dan senyawa inert dan stabil. Rangkaian atom *silicone rubber* dapat dilihat pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2 Rangkaian atom *silicone rubber* [6].

Dimana R ialah metil, fenil, vinil atau trifluoroprop. *Silicone rubber* adalah jenis polidimetilsiloksan yang mempunyai karakteristik yang unik, yaitu elastisitas dan stabilitas termal yang tinggi. Tipe elastomer ini termasuk gugus paduan semiorganik dengan rantai utama silikon dan oksigen. *Silicone rubber* banyak diaplikasikan sebagai lapisan pelindung (*coating*) dan sebagai bahan adesif (perekat). Adapun sifat fisis dan kimia *silicone rubber* adalah keuletan yang tinggi, tidak beracun, tahan terhadap sinar UV, *biocompatible*, fleksibilitas tinggi, konduktivitas listrik tinggi, biaya rendah dan kemudahan fabrikasi [6].

2.3 Talc

Talc merupakan silikat magnesium hidrat yang lembut $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$, *talc* biasa digunakan dalam berbagai industri termasuk pembuatan keramik, cat, dan kertas. *Talc* juga ditemukan sebagai mineral diagenesa pada batuan sedimen yang dapat terbentuk dari transformasi prekursor magnesium-tanah liat terhidrasi metastabil seperti kerolit, sepiolit, atau stevensit yang dapat mengendap dari air laut dan danau pada kondisi tertentu. Penggunaan akhir untuk *talc* ditentukan oleh variabel seperti kimia dan mineralogi komposisi, ukuran dan bentuk partikel, berat jenis, kekerasan, dan warna [7].

Berikut ini adalah sifat fisik dan sifat kimia dari *talc* yang dapat dilihat pada Tabel 1 [8].

Tabel 1. Sifat Fisik dan Sifat Kimia *Talc* [14].

Massa Jenis (g/cm^3)	2.7 - 2.85
Oil Absorption (penyerapan minyak)	30 - 55
Kelarutan dalam H ₂ O	Tidak larut
Penampilan	Bubuk Putih, Abu-abu, Hijau dll
pH	8.4 - 9.4
Kekerasan skala Mohs	1.0-1.5
Bau	Tidak berbau
Hegman Grind	3 - 6
Kristalografi	Pipih

Keterangan:

1. Hegman kehalusan grind : Perangkat yang mengukur kehalusan dispersi pigmen. Pengukur hegman adalah alat untuk menentukan seberapa halus mineral dan partikel pigmen (atau padat lainnya) yang terdispersi dalam sampel cat atau cairan lainnya.
2. Skala kekerasan mineral Mohs mencirikan ketahanan goresan berbagai mineral melalui kemampuan yang lebih keras bahan untuk menggores bahan yang lebih lembut. Itu dibuat pada tahun 1812 oleh mineralogi Jerman Friedrich Mohs. Yang paling sulit diketahui zat alami ketika skala dirancang, berlian berada di atas skala.
3. pH adalah ukuran keasaman atau basa dari suatu larutan. Air murni dikatakan netral, dengan pH mendekati 7,0 pada 25°C (77°F). Solusi dengan pH kurang dari 7 dikatakan asam dan pH lebih dari 7 dikatakan basa atau alkalin.

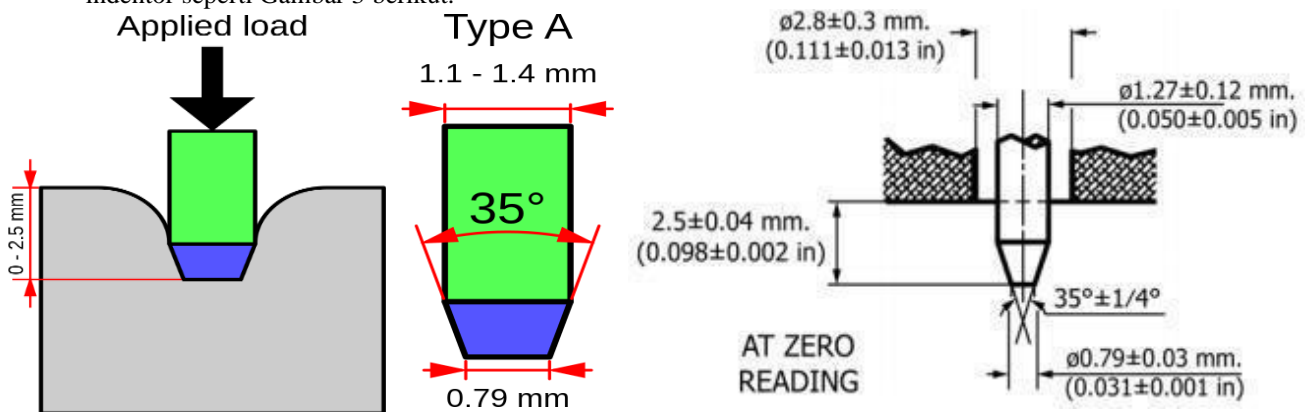
2.4 Pengujian Material

Analisis Kekerasan

Secara umum, kekerasan adalah salah satu sifat mekanik dari suatu material selain sifat fisik dan teknologik yang dimilikinya. Kekerasan merupakan ukuran parameter ketahanan material terhadap deformasi plastis atau deformasi permanen dan pergesekan. Kekerasan menyatakan ketahanan terhadap deformasi [9]. Terdapat tiga jenis ukuran kekerasan, berdasarkan cara melakukan pengujian, yaitu kekerasan pantulan (*rebound*), kekerasan goresan (*scratch hardness*), dan kekerasan lekukan (*indentation hardness*) [10].

Untuk material yang berbahan dasar logam dapat dilakukan pengujian kekerasan lekukan dengan metode *Brinell Hardness Test*, *Rockwell Hardness Test*, *Vickers Hardness Test*, dan *Micro Hardness Test*. Namun, apabila material yang digunakan lebih lunak, seperti *rubber*, elastomer, dan polimer, dapat menggunakan *Shore Durometer* dengan tipe tertentu (Tipe A, B, C, D, DO, E, M, O, OO, OOO, OOO-S, dan R) sesuai dengan material yang diuji mengikuti standar ASTM D2240-15 dan katalog dari alat tersebut. Angka yang lebih tinggi pada skala menunjukkan ketahanan yang lebih besar terhadap lekukan dan dengan demikian merupakan bahan yang lebih keras. Angka yang lebih rendah menunjukkan resistensi yang lebih rendah dan bahan yang lebih lembut.

Metode pengujian ini didasarkan pada penetrasi jenis indenter tertentu saat dipaksa masuk ke dalam material dalam kondisi tertentu. Pada material berbahan dasar *silicon rubber*, menggunakan metode *indentation hardness*. Pengujian kekerasan pada material polimer mengacu pada standar ASTM D2240-15 mengenai *Rubber Property-Durometer Hardness*. Alat uji yang digunakan adalah *Shore A Durometer* dengan dengan konfigurasi indenter seperti Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Indenter Durometer Tipe A

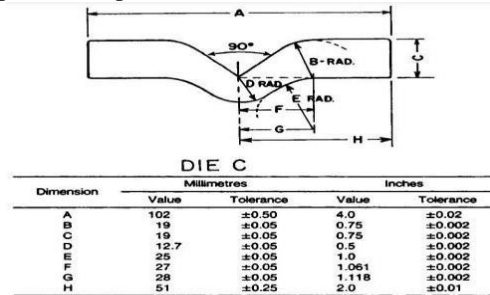
Kekerasan Shore diuji dengan instrumen yang disebut Durometer. Durometer menggunakan indenter yang dimuat oleh pegas yang dikalibrasi. Kekerasan yang diukur ditentukan oleh kedalaman penetrasi indenter di bawah beban. Bentuk indenter terlihat pada gambar diatas dan beban pegas yang digunakan untuk skala Shore A. Nilai kekerasan Shore dapat bervariasi dalam rentang dari 0 sampai 100. Kekuatan pemuatan dari shoreA adalah 1,812 lb (822 gram). Penetrasi maksimum untuk setiap skala adalah 0,097-0,1 inci (2,5-2,54 mm). Nilai ini sesuai dengan kekerasan Shore minimum : 0. Nilai kekerasan maksimum 100 sesuai dengan penetrasi nol [11].

Analisis Uji Tear Strength

Uji *tear strength* merupakan gaya persatuan ketebalan yang dibutuhkan untuk menyebabkan *tear* pada karet ketika ditarik dengan arah yang tegak lurus terhadap bidang potong. Uji *tear strength* mewakili tingkat ketahanan terhadap perambatan retak pada karet. Uji *tear strength* dapat dilakukan dengan menggunakan mesin uji tarik. Ada berbagai jenis bentuk potongan uji yang digunakan untuk melakukan uji *tear strength* [12].

Dikarenakan kekuatan *tear* rentan terhadap terjadinya pemotongan, pengujian yang dilakukan menggunakan potongan uji dengan sudut yang tepat akan memberikan reproduktifitas hasil tes yang lebih baik. Sifat mekanis lainnya yang kadang berpengaruh pada kesesuaian sebuah polimer untuk beberapa aplikasi tertentu termasuk ketahanan *tear* [13].

Pada material berbahan dasar *silicone rubber*, digunakan metode yang mengacu pada standar ASTM D624 mengenai *Conventional Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers*. Alat uji yang digunakan adalah uji tarik dengan bentuk spesimen seperti Gambar 4 berikut [14] :



Gambar 4. Spesimen Uji Tear Strength DIE C [14]

Adapun formula yang digunakan dalam perhitungan uji *tear strength* dapat dilihat pada Tabel 2 berikut [15].

Tabel 2. Formula perhitungan *tear strength* [15]

<i>Tear strength</i> (T_s)	$\frac{f}{d}$
Rata-rata <i>tear strength</i> (\bar{T}_s)	$\frac{T_s(\%1) + T_s(\%2) + T_s(\%3)}{3}$
Regangan <i>tear strength</i> (ϵ)	$\frac{\Delta L}{L_0}$
Rata-rata regangan <i>tear strength</i> ($\bar{\epsilon}$)	$\frac{cc(\%1) + cc(\%2) + cc(\%3)}{3}$
Standar Deviasi (SD)	$\frac{\sqrt{\sum xi - xn^2}}{n}$
<i>Standard Error of Median</i> (SEM)	$\frac{SD}{\sqrt{n}}$

Keterangan :

T_s = *Tear strength* (N/mm)

f = Gaya (N)

d = Tebal spesimen (mm)

\bar{T}_s (%Rata-rata) = *Tear strength* rata-rata pengujian (N/mm)

ϵ = Regangan *tear strength*

$\bar{\epsilon}$ (%Rata-rata) = Rata-rata regangan dari hasil pengujian

ΔL = Selisih antara panjang akhir dengan panjang awal

L_0 = Panjang awal (mm)

SD = Standar deviasi

SEM = *Standard Err*

Analisis Uji Massa Jenis

Massa jenis atau densitas dari sebuah polimer dapat berubah disebabkan oleh campuran dua polimer dengan sifat yang berbeda karena kristalinitas, porositas, dan komposisi dari dua polimer tersebut. Maka dari itu, massa jenis dari suatu material sangat diperlukan untuk mengidentifikasi material, menganalisa perubahan fisik, mengetahui keseragaman dari sampel campuran material, dan mengetahui massa jenis rata rata dari material yang besar [16].

Pada penelitian ini menggunakan acuan standar ASTM D792-08 tentang *Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastic by Displacement*. Pada ASTM D792-08 membahas standar melakukan pengujian densitas dengan berbagai macam *liquid*. Pengujian ini menggunakan *densitymeter*.

Alat *densitymeter* adalah sebuah peralatan ukur yang digunakan agar didapatkan massa jenis dari suatu material. *Densitymeter* mengukur massa dan volume dari benda padat, kemudian dapat dihitung secara otomatis untuk mendapatkan massa jenis dari benda yang diukur [16]. Prinsip dasar dari alat *densitymeter* adalah perhitungan dengan rumus:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Keterangan:

ρ = Massa jenis (gr/cm³)

m = Massa spesimen (gr)

V = Volume spesimen (cm³)

Densitas Teori

Hal yang perlu dilakukan ialah perhitungan secara teori. Perhitungan ini dilakukan dengan tujuan membandingkan hasil pengujian dengan hasil perhitungan teoritis untuk mengetahui porositas.

Perhitungan densitas teoritis dapat dicari dengan menggunakan rumus [17]:

$$m_c = m_{SR} + m_T$$

$$\rho_c V_c = (\rho_{SR} \times \%V_{SR}) + (\rho_T \times \%V_T)$$

$$\rho_c = \frac{(\rho_{SR} \times \%V_{SR}) + (\rho_T \times \%V_T)}{V_c}$$

Keterangan:

m_c = massa komposit (gram)

m_{SR} = massa *silicone rubber* (gram)

m_T = massa *talc* (gram)

ρ_c = massa jenis komposit (gr/cm³)

ρ_{SR} = massa jenis *silicone rubber* (gr/cm³)

ρ_T = massa jenis *talc* (gr/cm³)

V_c = volume komposit (cm³)

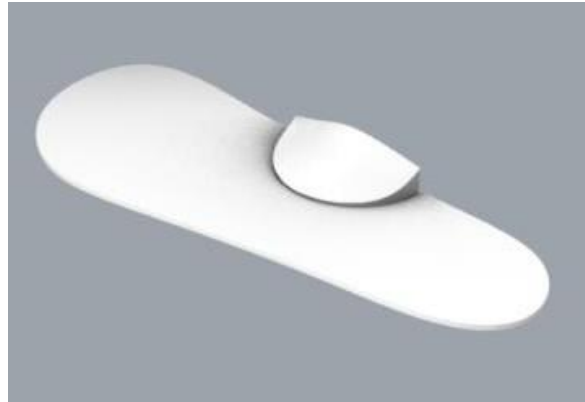
$\%V_{SR}$ = persentase volume *silicone rubber* (cm³)

$\%V_T$ = persentase massa *talc* (cm³)

3. Analisis dan Pembahasan

3.1 Perancangan Desain

Desain insol sepatu berupa gambar bentuk 3D yang diambil dari penelitian Nofa Karsa Mustadzanah, dengan judul Rancang Bangun Sol Sepatu Orthotic Untuk Penderita *Flat Foot* [18]. Berikut merupakan gambar bentuk 3D insol sepatu yang dapat dilihat pada Gambar 5 berikut.



Gambar 5. Model 3D Insole Sepatu

3.2 Hasil Cetakan Insol Sepatu

Hasil cetakan insol sepatu yang telah dilakukan didapat dari proses CAD menggunakan software Solidworks, proses CAM menggunakan Rhinoceros 6, dan Proses permesinan. Adapun hasil cetakan insol sepatu yang baik dan maksimal itu dapat dilihat pada Gambar 6 berikut.



Gambar 6. Hasil Cetakan Insol Sepatu

3.3 Perbandingan Fraksi Massa

Perbandingan fraksi massa dapat dilihat pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Perbandingan Komposisi Talc dan Silicone Rubber

<i>Silicone Rubber</i>	<i>Talc</i>
80%	20%

Pada Tabel 3 ditunjukkan perbandingan fraksi massa dari material talc. Komposit dibuat menggunakan variasi komposisi sebanyak 1 jenis variasi. Dari kedua variasi ini selanjutnya akan diproses menjadi insol sepatu dan spesimen untuk dilakukan karakterisasi dengan menggunakan uji kekerasan, uji densitas, dan uji *tear strength*.

3.4 Pembuatan Komposit

Proses pembuatan material komposit dilakukan dengan pencampuran antara 80% silicone rubber RTV 497 dengan komposisi 20% serbuk talc. Komposit yang dibuat bermatriks silicone rubber RTV 497 dengan aditif yang digunakan yaitu serbuk *talc*. Pembuatan dengan cara menambahkan aditif serbuk talc dengan variasi komposisi yaitu 20%. *Talc* dicampur dengan *silicone rubber* kemudian diaduk selama 3 menit. Setelah campuran antara *silicone rubber* dan *talc* sudah terbentuk, ditambahkan hardener sesuai dengan produk yang direkomendasikan adalah 3,5 % dan diaduk selama 2 menit. *Hardener* pada campuran berfungsi sebagai pereaksi dari silicone rubber yang semula berbentuk cair kemudian berubah menjadi padat.

Tahap selanjutnya adalah pengadukan kembali selama 2 menit, *hardener* pada campuran berfungsi sebagai pereaksi dari *silicone rubber* yang semula berbentuk cair kemudian berubah menjadi padat. Material komposit setelah ditambahkan *hardener* dan telah diaduk kemudian dituangkan ke dalam injection unit lalu didorong ke dalam cetakan menggunakan *plunger* dengan bantuan *hydraulic cylinder*. Proses pemanasan cetakan dilakukan guna mempercepat proses pengerasan dari material *silicone rubber*. Pemanasan yang dilakukan ini dikontrol menggunakan *PID Rex Controller* dan dilakukan dengan elemen panas serta dibantu dengan heat gun agar mempercepat proses pemanasan, dimulai dari material *silicone rubber* masuk dengan kondisi cetakan berada pada suhu ruangan lalu dipanaskan hingga sesuai dengan variasi yang digunakan dengan lama waktu pemanasan adalah 15 menit. Proses pelepasan hasil cetakan dilakukan dengan cara menunggu cetakan yang sudah dipanaskan hingga dingin dengan waktu ± 30 menit.

Setelah itu, dilakukan pelepasan cetakan dari mesin injection molding untuk dapat diambil hasil jadi dari insol sole sepatu yang berada di cetakan tersebut. Begitulah terjadinya proses injection molding. Setelah diberikan tekanan oleh *plunger*, campuran *silicone rubber* tadi masuk ke dalam cetakan aluminium insol sepatu yang sudah dirancang kemudian ditunggu selama beberapa menit. Berikut adalah hasil dari pembuatan spesimen insol sepatu dengan variasi suhu 75°C dan 100°C serta tekanan 100 bar dan 150 bar.



Gambar 7. Hasil cetakan insol sepatu dengan suhu 75°C dan tekanan 100 bar dengan menggunakan RTV 497 talc 20%



Gambar 8. Hasil cetakan insol sepatu dengan suhu 75°C dan tekanan 150 bar dengan menggunakan RTV 497 talc 20%



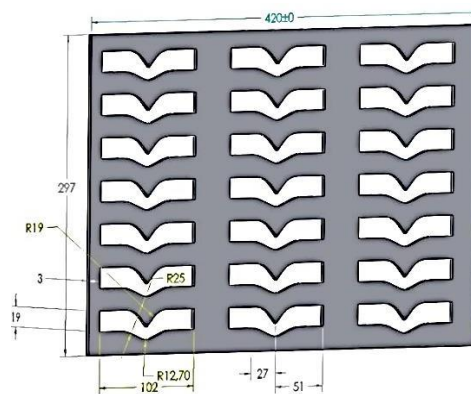
Gambar 9. Hasil cetakan insol sepatu dengan suhu 100°C dan tekanan 100 bar dengan menggunakan RTV 497 talc 20%



Gambar 10. Hasil cetakan insol sepatu dengan suhu 100°C dan tekanan 150 bar dengan menggunakan RTV 497 talc 20%

Dapat dilihat bahwa pada Gambar 10 terdapat porositas pada insol sepatu. Ini disebabkan oleh panasnya suhu proses pengerasan sehingga hasil yang didapatkan berongga dan kurang maksimal. Adapun tekanan yang diberikan terlalu rendah membuat material lama menyebar di dalam cetakan ketika dipanaskan sehingga pengerasan tidak terjadi secara merata, sehingga ada beberapa bagian yang lebih keras dari bagian lainnya pada insol sepatu tersebut. Dari hasil yang sudah didapat ini, disimpulkan bahwa hasil pembuatan insol sepatu yang baik berada pada suhu 75°C dan tekanan 150 bar.

Setelah hasil dari spesimen insol sepatu terbentuk, maka spesimen insol sepatu tadi dipotong sehingga membentuk pola cetakan yang akan digunakan untuk pengujian *tear strength*. Cetakan spesimen untuk pengujian *tear strength* ini dibentuk sesuai dengan standar ASTM D624 tipe DIE C. Adapun cetakan spesimen untuk pengujian *tear strength* ini menggunakan software *Solidwork 2018* yang ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11 Cetakan pengujian *tear strength*

Berikut adalah hasil pembuatan spesimen uji *tear strength* pada tekanan 100 bar dengan 75°C dan suhu 100°C dengan menggunakan cetakan akrilik dapat ditunjukkan pada Gambar 12 dan Gambar 13 berikut.



Gambar 12. Hasil spesimen uji *tear strength* tekanan 100 bar suhu 75°



Gambar 13. Hasil spesimen uji *tear strength* tekanan 100 bar suhu 100°

Adapun hasil spesimen uji *tear strength* pada tekanan 150 bar suhu 75°C dan suhu 100°C dapat dilihat pada Gambar 14 dan 15 berikut.



Gambar 14. Hasil spesimen uji *tear strength* tekanan 150 bar suhu 75°



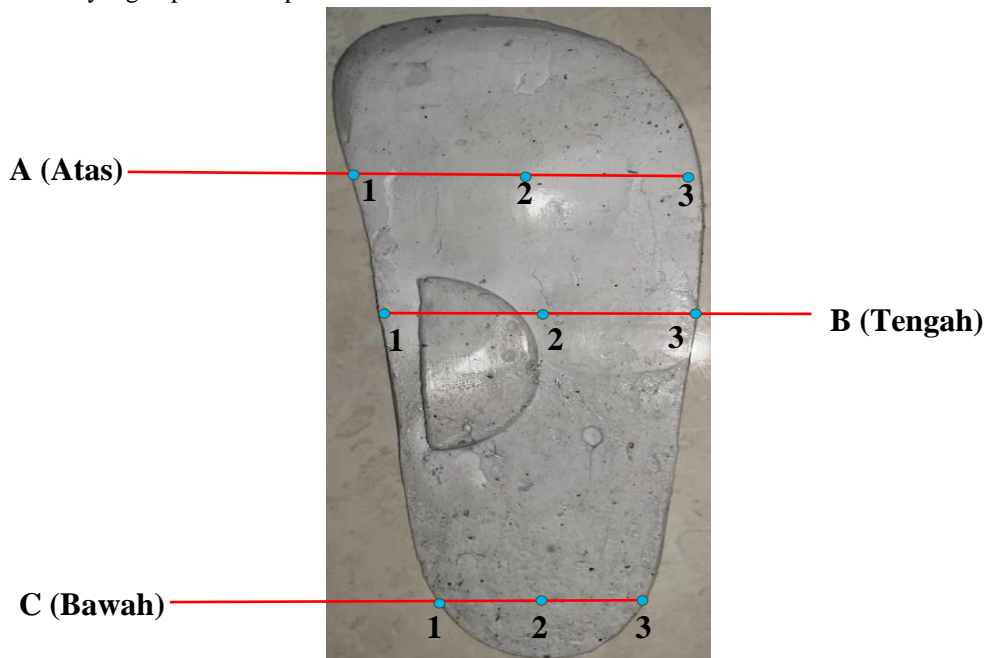
Gambar 15. Hasil spesimen uji *tear strength* tekanan 150 bar suhu 100°

3.5 Karakterisasi Komposit

Setelah spesimen komposit selesai dibuat, maka dilakukanlah beberapa pengujian untuk karakteristik dari material *silicone rubber*. Pengujian yang dilakukan yaitu uji kekerasan untuk menunjukkan nilai kekerasan, uji densitas untuk mengetahui massa jenis specimen, dan uji tarik untuk mengetahui *tear strength* maksimal.

Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan pada permukaan spesimen menggunakan alat *Shore A Durometer*. Pengujian ini dilakukan dengan mengambil 36 kali pengujian pada setiap spesimen dengan variasi suhu 75°C dan 100°C serta tekanan 100 bar dan 150 bar. Setelah dilakukan uji kekerasan menggunakan alat uji kekerasan *Shore A, Durometer*, didapatkanlah nilai kekerasan spesimen komposit pada RTV 497 80% dengan campuran komposisi *talc* 20% pada variasi suhu 75°C dan 100°C serta tekanan 100 bar dan 150 bar. Adapun pengujian pada tiap spesimen dilakukan pada 3 titik yang dapat dilihat pada Gambar 16 berikut.



Gambar 16. Pengujian kekerasan spesimen pada titik

Pada pengujian kekerasan insol sepatu, terdapat 3 bagian yang akan diuji yaitu bagian A (atas), B (tengah), dan C (bawah). Pada setiap bagian akan diberikan masing-masing 3 titik, yaitu titik 1, titik 2, dan titik 3. Bagian A (atas) merupakan lubang tempat masuknya insol sepatu menuju cetakan, sedangkan bagian C (bawah) merupakan tempat pengontrol panas *PID Rex Controller*. Pengujian kekerasan pada masing-masing 3 titik ini bertujuan untuk mengetahui apakah nilai kekerasan yang dimiliki setiap bagian terdistribusi secara merata atau tidak.

Setelah dilakukan pengujian kekerasan spesimen pada 3 titik tersebut, didapatkanlah 36 nilai pengujian kekerasan yang dibuat dan ditunjukkan pada Tabel 4 berikut.

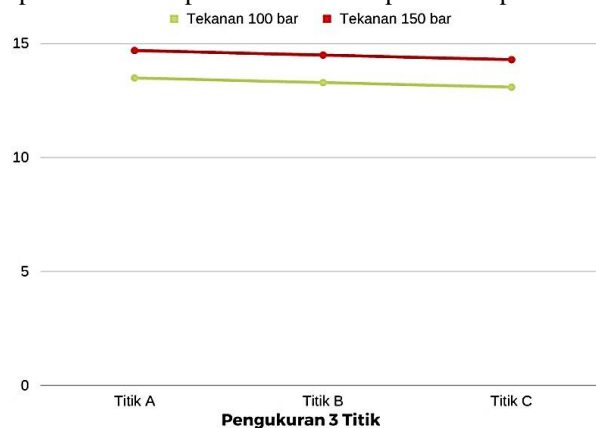
Tabel 4 Kekerasan Komposit RTV 497 80% dan Talc 20%

Silicone Rubber 80% + Talc 20%							
Suhu (°C)	Tekanan (bar)	Titik			Pengujian Rata-rata Setiap Bagian	Pengujian Rata-rata	Rata-rata Kekerasan Insol Sepatu
75	100	A1 : 13,5	A2 : 13,7	A3 : 13,3	A : 13,5	13,3	14,9
		B1 : 13,1	B2 : 13,5	B3 : 13,3	B : 13,3		
		C1 : 12,9	C2 : 13,3	C3 : 13,1	C : 13,1		

150	A1 : 14,7	A2 : 14,9	A3 : 14,5	A : 14,7	14,5
	B1 : 14,3	B2 : 14,7	B3 : 14,5	B : 14,5	
	C1 : 14,1	C2 : 14,5	C3 : 14,3	C : 14,3	
100	A1 : 15,5	A2 : 15,9	A3 : 15,7	A : 15,7	15,6
	B1 : 15,5	B2 : 15,7	B3 : 15,6	B : 15,6	
	C1 : 15,5	C2 : 15,3	C3 : 15,7	C : 15,5	
100	A1 : 16,3	A2 : 16,7	A3 : 16,5	A : 16,5	16,2
	B1 : 16,0	B2 : 16,4	B3 : 16,2	B : 16,2	
	C1 : 16,1	C2 : 15,7	C3 : 15,9	C : 15,9	

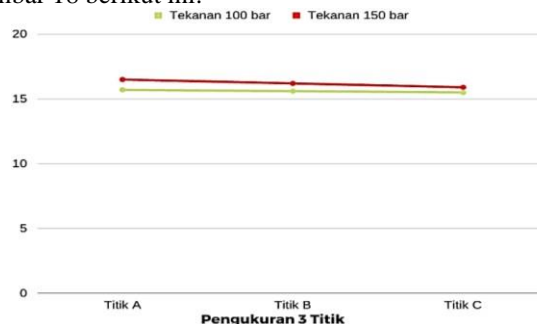
Dapat dilihat bahwa pada Tabel 4, bahwa pengujian yang dilakukan menunjukkan nilai kekerasan memiliki trend naik, dimana semakin tinggi suhu dan tekanan yang diberikan, maka semakin besar juga nilai kekerasan yang didapat.

Berdasarkan hasil pengujian diatas, maka dapat dibuat grafik hasil pengujian kekerasan. Grafik perbandingan hasil pengujian kekerasan komposit RTV 497 pada suhu 75°C dapat dilihat pada Gambar 17 berikut ini.



Gambar 17. Grafik perbandingan pengujian kekerasan pada suhu 75°C

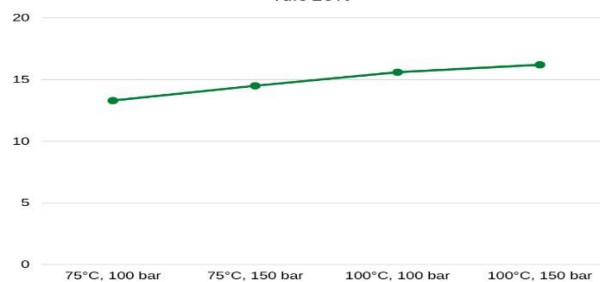
Adapun grafik perbandingan hasil pengujian kekerasan komposit RTV 497 pada suhu 100°C dapat dilihat pada Gambar 18 berikut ini.



Gambar 18. Grafik perbandingan pengujian kekerasan pada suhu 100°C

Setelah dibuat grafik perbandingan antara pengukuran 3 bagian pengujian kekerasan suhu 75°C dan 100°C serta tekanan 100 bar dan 150 bar, dibuat lagi perbandingan rata-rata antara pengujian kekerasan spesimen suhu 75°C dan 100°C serta tekanan 100 bar dan 150 bar yang dapat dilihat pada Gambar 19 berikut.

Grafik Hasil Pengujian Kekerasan Silicone Rubber RTV 497 80% dan Talc 20%



Gambar 19. Grafik Hasil Uji Kekerasan Komposit RTV 497 80% dan Talc 20%

Pada gambar di atas dapat dijelaskan bahwa hasil pengujian kekerasan komposit RTV 497 memiliki trend naik. Dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi suhu dan tekanan yang diberikan, maka semakin tinggi pula nilai kekerasannya. Berdasarkan hasil pada gambar diatas, maka dapat disimpulkan bahwa nilai kekerasan tertinggi pada produk RTV 497 dengan komposisi talc 20% berada pada pengujian keempat, yaitu sebesar 16,2.

Pengujian Densitas

Pengujian yang selanjutnya dilakukan terhadap spesimen komposit yaitu uji densitas, dimana pengujian ini dilakukan dengan mengambil 1 kali pengujian pada setiap spesimen dengan variasi suhu 75°C dan 100°C serta tekanan 100 bar dan 150 bar. Setelah mendapatkan hasil dari pengujian, maka tahap selanjutnya adalah dilakukan perbandingan dengan perhitungan teoritis densitas spesimen, tujuannya untuk membuktikan apakah spesimen komposit tersebut terdapat poros atau tidak.

Berikut ini merupakan hasil uji densitas spesimen komposit menggunakan alat *densitymeter*. Hasil uji densitas *silicone rubber* RTV 497 dapat dilihat pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Data Pengujian Densitas

Silicone Rubber RTV 497				
Talc (%)	Massa (gram)	Volume (cm ³)	Densitas (gram/cm ³)	Densitas Rata-rata (gram/cm ³)
20	10,84	8,71	1,24	1,25
20	11,46	9,10	1,26	
20	9,93	7,91	1,25	
20	10,40	8,23	1,26	

Setelah didapatkan hasil densitas dari pengujian menggunakan alat *densitymeter*, kemudian dilakukan perhitungan densitas menggunakan teori densitas guna membandingkan hasil pengujian densitas menggunakan alat *densitymeter* dengan hasil perhitungan teoritis.

Perhitungan densitas teoritis dapat dicari menggunakan rumus :

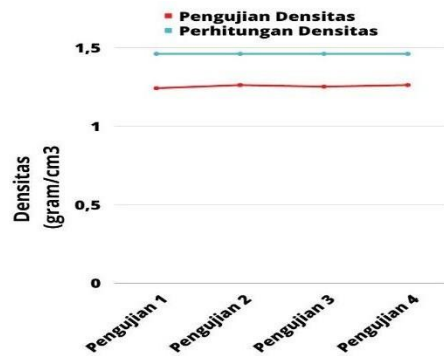
$$\begin{aligned} \rho_{SR} &= 1,14 \text{ gram/cm}^3 \\ \rho_T &= 2,76 \text{ gram/cm}^3 \\ \%V_{SR(20\%1)} &= 0,8 \times 8,71 \text{ cm}^3 = 6,97 \text{ cm}^3 \\ \%V_{T(20\%1)} &= 0,2 \times 8,71 \text{ cm}^3 = 1,74 \text{ cm}^3 \\ \rho_{C(20\%1)} &= \frac{(\rho_{SR} \times \%V_{SR}) + (\rho_T \times \%V_T)}{V_{C(20\%1)}} \\ &= \frac{(1,14 \times 6,97) + (2,76 \times 1,74)}{8,71} \\ &= \frac{(7,95) + (4,80)}{8,71} \\ \rho_{C(20\%1)} &= 1,46 \end{aligned}$$

Perhitungan densitas teori pada penambahan komposisi variasi talc 20% dapat dihitung dengan menggunakan rumus yang sama. Adapun hasil perhitungan densitas teori komposit RTV 497 tertera pada Tabel 6 berikut.

Tabel 6. Perhitungan Densitas Teori

Pengujian ke-n	$V_{C(20\%n)}$	$\%V_{SR(20\%n)}$ ($0,8 \times V_{C(20\%n)}$)	$\%V_{T(20\%n)}$ ($0,2 \times V_{C(20\%n)}$)	$\rho_{C(20\%n)}$	Densitas Rata-rata (gram/cm ³)
n = 1	8,71	6,97	1,74	1,46	1,46
n = 2	9,10	7,28	1,82	1,46	
n = 3	7,91	6,33	1,58	1,46	
n = 4	8,23	6,58	1,65	1,46	

Berdasarkan hasil perhitungan secara teori diatas, maka dapat ditentukan grafik perbandingan hasil pengujian densitas *silicone rubber* dengan perhitungan teori. Grafik perbandingan hasil pengujian dan perhitungan teoritis densitas komposit dapat dilihat pada Gambar 20 berikut.



Gambar 20. Grafik perbandingan hasil uji densitas dan perhitungan densitas teori komposit RTV 497

Pengujian Tear Strength

Uji *tear strength* dilakukan menggunakan alat Universal Testing Machine HT-2402 yang berada di laboratorium material Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Semarang (UNIMUS). Uji *tear strength* dilakukan agar mengetahui nilai *tear strength* dan regangan pada material komposit, dimana hasilnya akan menentukan spesimen komposit dalam pemilihan merek dan jumlah variasi suhu 75°C dan 100°C serta tekanan 100 bar dan 150 bar untuk material insol atau produk lainnya. Pada pengujian *tear strength*, cetakan yang dibuat menggunakan akrilik yang dibentuk sesuai dengan ASTM D 624. Berikut ini merupakan hasil pengujian *tear strength* dari spesimen komposit.

Hasil Pengujian *Tear Strength* RTV 497

Berikut ini merupakan data hasil pengujian dengan komposisi campuran penambahan *talca* 20% pada spesimen komposit. Pengujian *tear strength* dilakukan sebanyak 4 kali.

Data hasil pengujian *tear strength* pertama pada komposisi *talca* 20%

$$F_1 = 1,3 \text{ N}$$

$$d_1 = 3 \text{ mm}$$

$$T_s = \frac{F}{d}$$

$$T_{s(20\%1)} = \frac{1,3 \text{ N}}{3 \text{ mm}}$$

$$T_{s(20\%1)} = 0,43 \text{ N/mm}$$

Perhitungan nilai *tear strength* pada pengujian lainnya menggunakan rumus yang sama dan hasil perhitungan nilai pengujian *tear strength* tertera pada Tabel 4.5 berikut.

Nilai *tear strength* rata-rata RTV 497 dengan komposisi *talca* 20% dapat dicari menggunakan rumus sebagai berikut.

$$T_{s(20\%2)} = 0,57 \text{ N/mm}$$

$$T_{s(20\%3)} = 0,60 \text{ N/mm}$$

$$T_{s(20\%4)} = 0,70 \text{ N/mm}$$

$$T_{s(20\%rata-rata)} = 0,575 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Sedangkan nilai regangan rata-rata hasil pengujian *tear strength* dapat dicari menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\epsilon_{C(20\%1)} = \frac{71 \text{ mm}}{54 \text{ mm}} = 1,31$$

$$\epsilon_{C(20\%2)} = \frac{71,28 \text{ mm}}{54 \text{ mm}} = 1,32$$

$$\epsilon_{C(20\%3)} = \frac{79,38 \text{ mm}}{54 \text{ mm}} = 1,47$$

$$\epsilon_{C(20\%4)} = \frac{86,94 \text{ mm}}{54 \text{ mm}} = 1,61$$

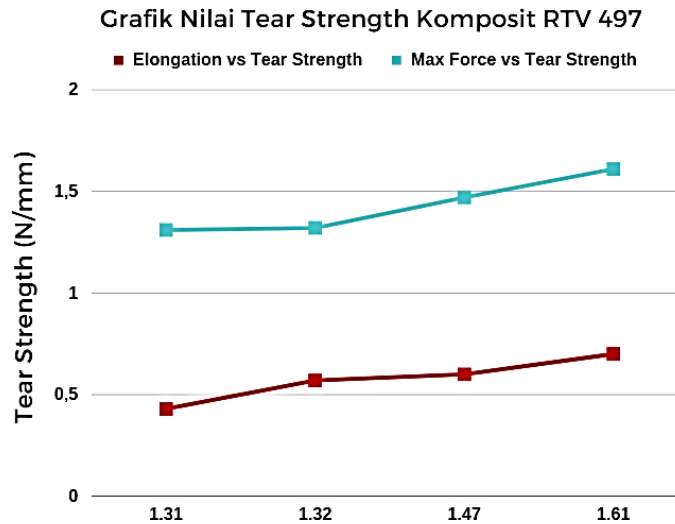
$$\epsilon_{C(20\%rata-rata)} = 1,43$$

Adapun adalah hasil pengujian dan perhitungan *tear strength* pada silicone rubber RTV 497 ditunjukkan pada Tabel 7 berikut.

Tabel 7. Hasil pengujian *tear strength*

Talc (%)	Lf-Lo (mm)	F (N)	d (mm)	Regangan (mm/mm)	T _s (N/mm)	T _s Rata-rata (N/mm)	Regangan Rata-rata (mm/mm)
20	71,00	1,3	3,00	1,31	0,43	0,575	1,43
20	71,28	1,7	3,00	1,32	0,57		
20	79,38	1,8	3,00	1,47	0,60		
20	86,94	2,1	3,00	1,61	0,70		

Setelah melakukan pengujian *tear strength* dan dibuat dalam Tabel 7, kemudian dapat ditentukan grafik tegangan-regangan dari hasil pengujian 80% silicone rubber RTV 497 dengan 20% talc. Grafik perbandingan hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 21 berikut.



Gambar 21. Grafik nilai *tear strength* komposit RTV 497

Dapat dilihat pada Gambar 21 yang menunjukkan perbandingan nilai *tear strength* dan regangan, dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi nilai regangan suatu material, maka semakin tinggi juga nilai *tear strength* dari material tersebut. Selain itu, semakin besar gaya yang dibutuhkan untuk membuat material putus, maka semakin besar juga nilai regangan yang didapat.

4. Kesimpulan

Proses perancangan cetakan menggunakan software Solidwork 2018, yang dilanjutkan dengan proses pembuatan G-code dengan menggunakan software Rhinoceros 6. Dilihat dari proses yang dilakukan, hasil dari pembuatan insol sepatu dipengaruhi oleh suhu dan tekanan yang diberikan. Suhu yang terlalu panas mengakibatkan adanya porositas sehingga suhu paling optimal untuk pembuatan insol sepatu dengan metode *injection molding* adalah 75°C. Adapun tekanan yang terlalu kecil dapat membuat material tidak mengeras secara merata disebabkan oleh lamanya material silicone rubber menyebar ke permukaan secara menyeluruh. Oleh sebab itu, tekanan yang optimal atau dianjurkan dalam pembuatan insol sepatu berbahan dasar *silicone rubber* RTV 497 adalah 150 bar. Secara menyeluruh, waktu yang digunakan untuk membuat insol sepatu berbahan dasar *silicone rubber* adalah ±50 menit.

5. Daftar Pustaka

- [1] Metrika, Arnanda. (2018). "*Rancang Bangun Cetakan Sole Sepatu Rotary Injection Molding*". Kota Surabaya : Fakultas Vokasi Jurusan Teknik Mesin Industri Institut Teknologi Sepuluh November.
- [2] Arrahman, Habib. dkk., (2018). "*Pembuatan Outsole Sepatu Menggunakan Metode Injection Molding*". Kota Surabaya : Fakultas Teknologi dan Informatika Institut Bisnis dan Informatika Stikom.
- [3] Porwanta, A. dkk., (2013). "*Perbandingan Porositas Produk Hasil Injeksi Molding dan Pres Molding Pada Proses Pembuatan Hendel Pintu Mobil*". Kota Surakarta : Universitas Muhammadiyah.
- [4] Nopriantina, N., Astuti. (2013). "*Pengaruh Ketebalan Serat Pelapah Pisang Kepok (Musa Paradisiaca) Terhadap Sifat Mekanik Material Komposit Poliester-Serat Alam*" dalam *Jurnal Fisika Universitas Andalas*. Kota Padang.
- [5] Subhas & Shah, Pathik. (2013). "*A Review on Silicone Rubber*" on *National Academy Science Letters*, 36(4), 355-365. Chennai : Central Institute of Plastics Engineering and Technology.

- [6] Shang, S., Gan, L., Yuen, M. C. W., Jiang, S. X., & Luo, N. M. (2014). “*Carbon Nanotubes Based High Temperature Vulcanized Silicone rubber Nanocomposite With Excellent Elasticity And Electrical Properties*” on *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 66, 135-141.
- [7] Nuraeni, C., Yunilawati, R., & Rahmi, D. (2016). “Sintesis Talk Dari Batuan Dolomit dan Kuarsa Lokal Serta Prospeknya Untuk Industri Kimia dan Farmas”. Kota Jakarta Timur : Balai Besar Kimia dan Kemasan. Kementerian Perindustrian.
Composite”. Kota Surabaya : Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [8] Dieter, G. E., & D. J. Bacon. (1987). *Mechanical metallurgy*. London: McGraw-Hill.
- [9] Maulana, N. B. (2018). “*Pengaruh Variasi Beban Indentor Vickers Hardness Tester Terhadap Hasil Uji Kekerasan Material Aluminium dan Besi Cor*” dalam *Jurnal Mer-C Volume 1 Nomor 10*. Kota Magelang : Universitas Tidar.
- [10] Broitman, Esteban. (2016). “*Indentation Hardness Measurements at Macro-, Micro-, and Nanoscale: A Critical Overview*”. Argentina : University of Buenos Aires.
- [11] Yiu-Wing Mai & Zhong-Zhen Yu. (2006). “*Polymer Nanocomposites (pg.578-594)*”
- [12] Suliknyo, S. (2017). “*Pengembangan Formula Compound Rubber dalam Pembuatan Sol Sepatu*” dalam *Jurnal Teknik Mesin Mercuri Buana Volume 6 Nomor 1* (hlm.1-5).
- [13] Shakir, D. A. (2018). “*Effect of Nano Titanium Oxide Addition on Some Mechanical Properties of Silicone Elastomers for Maxillofacial Prostheses*”. Iraq : University of Baghdad
- [14] Eltahan, E. (2017). “*Structural Parameters Affecting Tear Strength of The Fabrics Tents*”. Egypt : Alexandria University
- [15] Prakasita, E. (2019). “*Uji Densitas dan Kekerasan Pada Kolimator Nikel Untuk Aplikasi BNCT*”. Kota Yogyakarta : Jurusan Teknik Mesin Fakultas Sains dan Teknologi Universtas Sanata Dharma
- [16] Megantoro, P., dkk. (2020). “*The Design of Digital Liquid Density Meter Based on Arduino*”. Kota Yogyakarta : Universitas Gajah Mada
- [17] Pratama, R. D. (2017). “*Karakterisasi Komposit Silicone Rubber Berpenguat Nanoselulosa Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit dan Barium Heksaferrit Untuk Aplikasi Penyerap Suara dan Penyerap Radar*”. Kota Surabaya : Fakultas Teknik Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [18] Karsa, Nofa. (2022). Rancang Bangun Sol Sepatu Orthotic Untuk Penderita *Flat Foot*