

PEMBUATAN MESIN *INJECTION MOLDING* UNTUK MEMBUAT *INSOLE* SEPATU DARI MATERIAL KOMPOSIT *SILICON RUBBER*

*Satriyo Adhi Nugroho¹, 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: satrioadhi22@gmail.com

Abstrak

Mesin *injection molding* adalah salah satu metode pembentukan paling signifikan dan rasional yang ada untuk memproses bahan plastik. Mesin *injection molding* memiliki tiga komponen dasar. Unit injeksi, cetakan dan sistem penjepit. Unit injeksi juga disebut plasticator, menyiapkan lelehan plastik yang tepat dan melalui unit injeksi mentransfer lelehan ke komponen berikutnya yaitu cetakan. Sistem penjepit menutup dan membuka cetakan. Mesin *injection molding* biasa digunakan untuk pembuatan produk berbahan dasar plastik, tetapi pada penelitian kali ini bahan dasar diganti menjadi komposit *silicone rubber* dan *talc*. Dikarenakan perbedaan sifat mekanik yang ada antara plastik dan *silicone rubber*, beberapa bagian mesin *injection molding* perlu diubah dan diperhatikan parameter yang memengaruhi alat ini. Parameter yang perlu diperhatikan adalah dimensi dari setiap bagian alat, suhu, tekanan, dan waktu. Komposit yang digunakan juga dilakukan pengujian yaitu pengujian densitas dan kekerasan, agar diketahui sifat mekanik yang cocok untuk pembuatan *insole* sepatu.

Kata kunci: *insole; injection molding; silicone rubber; talc*

Abstract

The *injection molding machine* is one of the most significant and rational forming methods available for processing plastic materials. An *injection molding machine* has three basic components. *Injection unit, mold, and clamping system*. The *injected unit*, also called a *plasticator*, prepares a precise melt of the plastic and through the *injected unit* transfers the melt to the next component which is the *mold*. The *clamping system* closes and opens the *mold*. *Injection molding machines* are commonly used for the manufacture of plastic-based products, but in this study, the basic materials were changed to *silicone rubber* and *talc* composites. Due to the different mechanical properties that exist between plastic and *silicone rubber*, some parts of the *injection molding machine* need to be changed and the parameters that affect this tool must be considered. Parameters that need to be considered are the dimensions of each part of the tool, temperature, pressure, and time. The composites used were also tested, namely density and hardness tests, in order to know the mechanical properties suitable for the manufacture of shoe *insoles*.

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

1. Pendahuluan

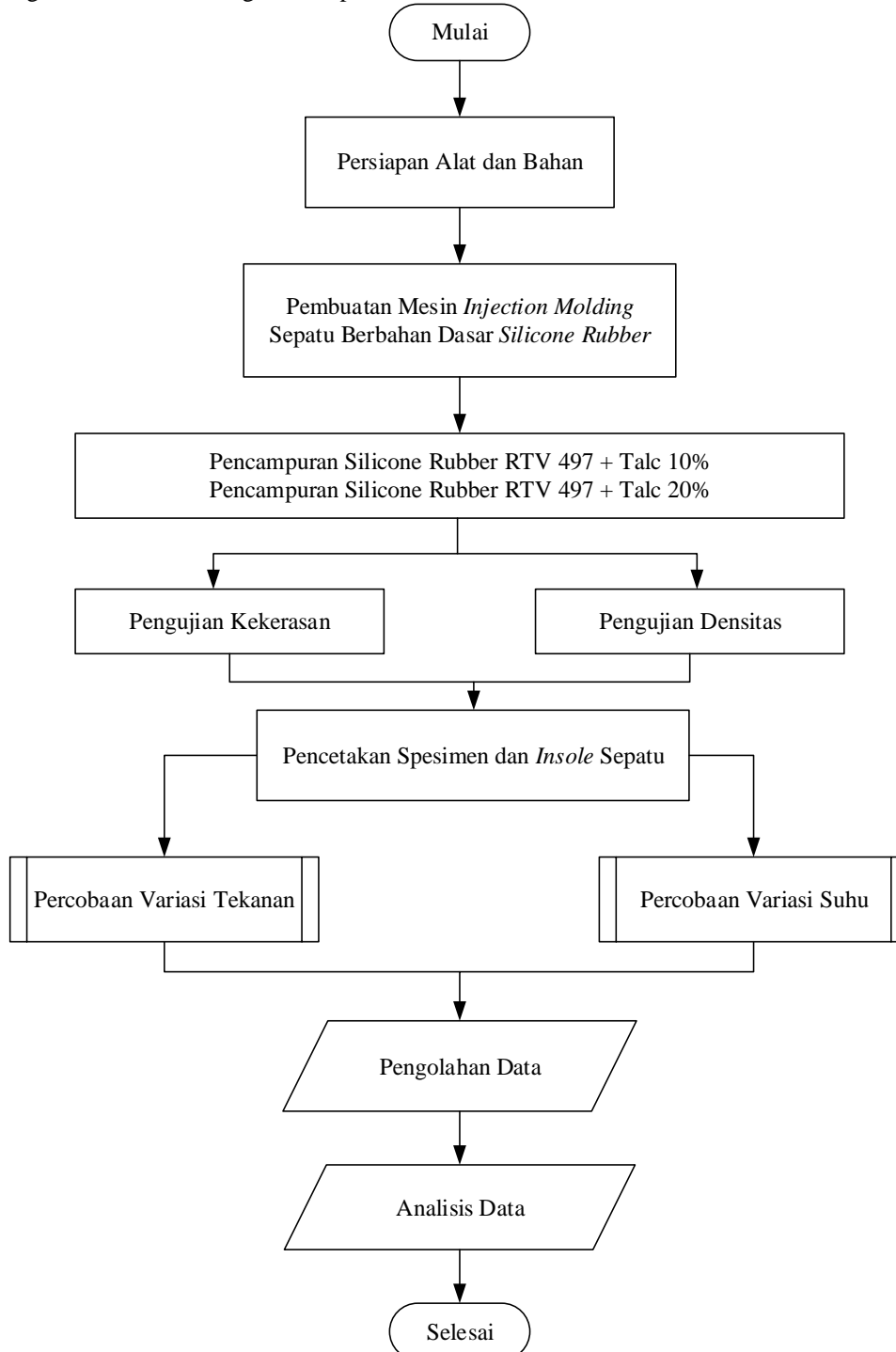
Karet banyak digunakan untuk pembuatan industri, baik sebagai bahan jadi atau bahan mentah. Karet terbagi menjadi dua, yaitu karet alam dan karet sintesis, salah satu contoh karet sintesis adalah *silicone rubber*. *Silicone rubber* adalah elastomer termoset yang menunjukkan perpanjangan yang relatif tinggi, kinerja suhu tinggi yang konsisten, sensitivitas rendah terhadap ultraviolet (UV) radiasi, dan biokompatibilitas yang menguntungkan, dan tersedia dalam berbagai kekerasan, karena bio-kompatibilitasnya yang baik, *silicone rubber* semakin banyak digunakan dalam aplikasi bio-medis [1].

Mesin *injection molding* (IMM) adalah mesin yang menggunakan sistem injeksi untuk menginjeksikan material ke dalam cetakan atau *molding unit*. Pada dasarnya, Mesin *injection molding* adalah mesin yang menggunakan material termoplastik, sejauh ini perkembangan mesin ini terkait peningkatan efisiensi tenaga, kecepatan pengerjaan, dan daya tahan. Mesin ini melakukan fungsi penting tertentu: (1) *plasticizing*: pemanasan dan pelelehan plastik dalam plasticator, (2) *injection*: injeksi dari plasticator di bawah tekanan tembakan volume terkontrol dari lelehan ke dalam cetakan tertutup, dengan pemadatan plastik dimulai pada dinding rongga cetakan, (3) *afterfilling*: mempertahankan bahan yang disuntikkan di bawah tekanan selama waktu tertentu untuk mencegah aliran balik lelehan dan untuk mengkompensasi penurunan volume lelehan selama pemadatan, (4) pendinginan: mendinginkan termoplastik (TP) bagian cetakan dalam cetakan sampai cukup kaku untuk dikeluarkan, atau pemanasan: pemanasan bagian cetakan termoset (TS) dalam cetakan sampai

cukup kaku untuk dikeluarkan, dan (5) pelepasan bagian cetakan: pembukaan cetakan, mengeluarkan bagian, dan menutup cetakan sehingga siap untuk memulai siklus berikutnya dengan tembakan meleleh [2].

2. Dasar Teori dan Metodologi

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimen laboratorium yang meliputi beberapa tahap. Tahap pertama dilakukan proses pembuatan mesin *injection molding* untuk spesimen pengujian. 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 dilakukan kemudian dilakukan beberapa pengujian, yaitu solidifikasi dan percobaan alat. Tahapan proses yang akan dilakukan dalam penelitian ini digambarkan dalam diagram alir pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Metode Penelitian

Perhitungan yang diperlukan untuk melakukan desain perancangan *injection molding* adalah menentukan nilai tekanan injeksi dan kapasitas material yang dapat ditampung. Nilai tekanan injeksi adalah kekuatan tekan yang terjadi secara aktual pada proses injeksi, umumnya tekanan yang digunakan pada *silicone rubber* adalah 1 – 10 Mpa [3]. Kapasitas yang dapat di injeksikan kedalam cetakan dipengaruhi oleh besarnya *plunger* atau pendorong serta kekuatan dari *hydraulic cylinder* yang digunakan. Perhitungan yang digunakan pada penelitian ini menggunakan rumus sebagai berikut.

a. Nilai tekanan injeksi.

$$P_{spesifik} = P_{hydraulic} \times \frac{A_{piston}}{A_{plunger}} \quad (2.1)$$

b. Kapasitas material

$$V_{injeksi} = \pi \times r^2 \times \text{maximum stroke hydraulic} \quad (2.2)$$

Komposit (*Composite*), berasal dari kata kerja “*tocompose*” yang berarti menyusun atau menggabung. Jadi secara sederhana komposit adalah penggabungan dari dua atau lebih material yang berbeda sebagai suatu kombinasi yang menyatu [4]. Komposit adalah hasil material kombinasi dari dua atau lebih komponen yang berbeda dengan tujuan untuk mendapatkan sifat-sifat fisik dan mekanik tertentu yang lebih baik dari pada sifat masing-masing komponen penyusunnya [5].

Komposit dan *alloy*/paduan memiliki perbedaan dari cara penggabungannya yaitu apabila komposit digabung secara makroskopis sehingga tidak kelihatan lagi. Jadi dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa komposit terdiri dari 2 bagian utama yaitu matriks dan pengisi (*filler*) [6]. Matriks berfungsi untuk perekat atau pengikat dan pelindung *filler* (pengisi) dari kerusakan eksternal. Matriks yang umum digunakan yaitu polimer. Matriks merupakan bahan dalam komposit yang mempunyai bagian atau fraksi volume terbesar (dominan). Matriks biasanya bersifat lebih ulet, kurang keras, dan berkarakter kontinyu. Matriks sebagai pengikat serat dan menyalurkan beban pada serat. Serat ditambahkan ke matriks dalam bentuk tertentu. Serat biasanya memiliki sifat lebih kuat daripada matriks (7). Pengisi (*filler*) berfungsi sebagai penguat dari matriks. *Filler* yang umum digunakan adalah serat karbon atau serat alam. *Filler* adalah bahan pengisi yang digunakan dalam pembuatan komposit, biasanya berupa serat atau serbuk. *Filler* ini berfungsi sebagai penanggung beban utama pada komposit

Serat secara umum terdiri dari dua jenis yaitu serat alam dan serat sintesis. Serat alam adalah serat yang dapat diperoleh dari alam. Biasanya berupa serat seperti dari tumbuh-tumbuhan dan binatang. Serat alam berupa serat batang posang dan serat lainnya telah banyak digunakan oleh manusia diantaranya adalah kapas, wol, sutera, nanas, sabut kelapa, ijuk, bambu, dan knaf atau goni (8). Matriks yang digunakan pada penelitian ini adalah *silicone rubber* dengan *filler* berupa *talca*.

Silicone rubber adalah elastomer (bahan seperti karet) yang terdiri dari silikon itu sendiri yang merupakan polimer yang mengandung silikon bersama dengan karbon, hidrogen, dan oksigen. Sifat dasar *silicone rubber* adalah memiliki energi ikatan tinggi, gaya antarmolekul dan pembentukan kumparan, dengan ikatan siloksan *silicone rubber* membawa 106,0 kkal/mol. Hal ini menunjukkan bahwa ikatan siloksan memiliki kapasitas dan stabilitas yang besar. Resistensi terhadap suhu yang dimiliki *silicone rubber* dapat digunakan pada suhu 150 °C dan tidak mengalami perubahan sifat, bahkan masih bisa bertahan di suhu 200 °C sampai 300 °C. Titik getas ada pada -20 °C hingga -30 °C [9].

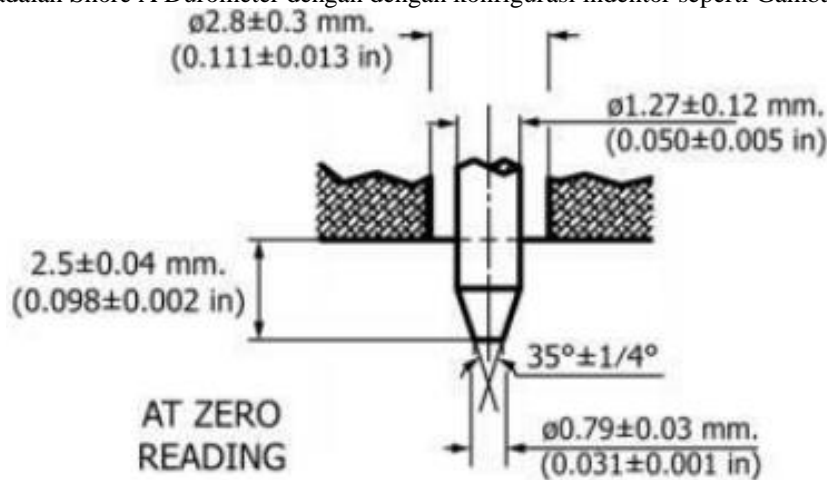
Talc adalah magnesium hidro silikat yang memiliki komposisi kimia $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$ atau $H_2Mg_3(SiO_3)_4$ [10]. *Talc* menunjukkan fungsionalitas tinggi dari beberapa eksipien karena telah digunakan sebagai pengisi, pelumas dan glidant dalam formulasi farmasi serta dalam formulasi kosmetik sebagai agen *anticaking*, abrasif, penyerap, agen *opacifying*, agen *bulking*, pelindung kulit, dan pengubah slip [11]. Sifat fisik *talc* dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Sifat fisik *talc*

No.	Sifat	Penjelasan
1	Distribusi ukuran partikel	Dua nilai tipikal >99% melalui 74 µm (200#) atau >99% melalui 44 µm (325#)
2	Kelarutan	Secara praktis tidak larut dalam air, asam encer, alkali dan pelarut organik
3	Densitas	<i>Bulk</i> densitas 0,5 g/cm ³ ; <i>Tapped</i> densitas 0,8g/cm ³
4	Index bias	1,54-1,59
5	Grafitasi spesifik	2,7-2,8
6	Kekerasan	1,0-1,5
7	Higroskopisitas	<i>Talc</i> menyerap jumlah signifikan dari kelembapan pada 25C dan kelembapan relatif lebih dari 90%

Pengujian material yang dilakukan pada penelitian kali ini adalah analisis kekerasan dan analisis densitas. Analisis kekerasan Pada umumnya, kekerasan menyatakan ketahanan terhadap deformasi dan merupakan ukuran ketahanan material terhadap deformasi plastis atau deformasi permanen [12]. Terdapat tiga jenis ukuran kekerasan, tergantung pada cara melakukan pengujian, yaitu: kekerasan goresan (*scratch hardness*), kekerasan lekukan (*indentation hardness*) dan Kekerasan pantulan (*rebound*).

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 2 berikut.



Gambar 2. Indentor durometer tipe A

Analisis uji massa jenis adalah sifat atau properties yang penting pada material padat. 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.

Prinsip dasar dari alat densimeter adalah perhitungan dengan massa dibagi oleh volume. Densitas teori adalah hal yang perlu dilakukan perhitungan secara teori, dengan tujuan ialah membandingkan hasil pengujian dengan hasil perhitungan teoritis untuk mengetahui porositas. Perhitungan densitas teoritis dapat dicari dengan menggunakan rumus berikut.

a. Perhitungan densimeter

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (2.3)$$

b. Perhitungan teoritis

$$\begin{aligned} mc &= msr + mt \\ \rho_c V_c &= (\rho_{sr} \times \%V_{sr}) + (\rho_t \times \%V_t) \\ \rho_c &= \frac{(\rho_{sr} \times \%V_{sr}) + (\rho_t \times \%V_t)}{V_c} \end{aligned} \quad (2.4)$$

3. Analisis dan Pembahasan

Pada penelitian ini telah dilakukan perancangan dan pembuatan mesin *injection molding* dan pencetakan *insole* sepatu dengan menggunakan komposit berbahan dasar *silicone rubber* dan *talc* yang merupakan material sebagai alternatif pembuatan *insole* sepatu. Variabel yang diteliti dalam penelitian ini adalah pengaruh suhu dan tekanan terhadap hasil dari *insole* sepatu dengan proses pencetakan menggunakan mesin *injection molding*.

3.1 Perancangan Mesin *Injection Molding*

Perhitungan dimensi yang diperlukan dalam *injection unit* adalah dengan memastikan beberapa hal yang sudah diketahui seperti, *hydraulic cylinder* yang dimana mempunyai diameter piston 30 mm, lalu untuk tekanan yang paling baik diberikan pada *hydraulic cylinder* dan motor listrik adalah 100-150 bar. Tekanan yang diperlukan untuk injeksi *silicone rubber* adalah 1–10 Mpa atau 10-100 bar. Desain *plunger* yang akan dibuat adalah dengan diameter sebesar 50 mm untuk itu, perhitungan aktual tekanan spesifik pada proses injeksi adalah sebagai berikut.

$$A_{piston} = \frac{\pi \times d^2}{4}$$

$$A_{piston} = \frac{\pi \times 30^2}{4}$$

$$A_{piston} = 706,5 \text{ mm}^2 = 7,065 \text{ cm}^2$$

$$A_{plunger} = \frac{\pi \times d^2}{4}$$

$$A_{plunger} = \frac{\pi \times 50^2}{4}$$

$$A_{plunger} = 1962,5 \text{ mm}^2 = 19,625 \text{ cm}^2$$

$$P_{spesific} = P_{hydraulic} \times \frac{A_{piston}}{A_{plunger}}$$

$$P_{spesific} = 150 \text{ bar} \times \frac{7,065}{19,625} = 54 \text{ bar}$$

Dengan perhitungan di atas didapatkan bahwa dengan diameter *plunger* adalah 50 mm didapatkan tekanan aktual saat injeksi adalah sebagai berikut.

Tabel 2. Tekanan aktual saat injeksi

Tekanan Hydraulic (bar)	Tekanan aktual injeksi dengan diameter plunger 50 mm (bar)
100	36
150	54

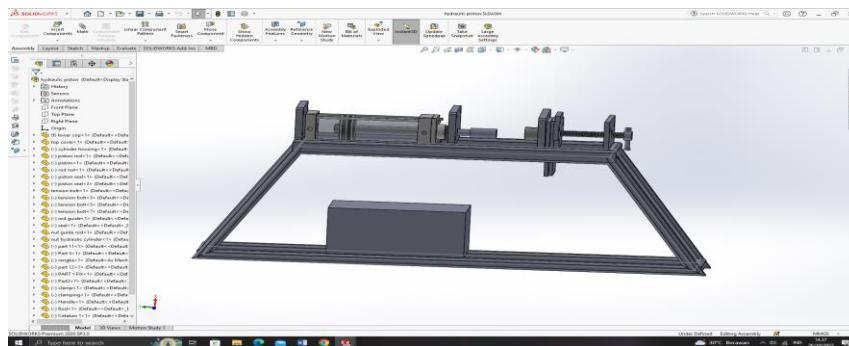
Kebutuhan material pada penelitian ini dibutuhkan kurang lebih 120 gram, makan hal tersebut perlu diperhitungkan kapasitas injeksi material, hal tersebut bisa didapatkan dengan diameter *plunger* dan panjang langkah maksimal *hydraulic cylinder* yang digunakan adalah 70 mm, berikut merupakan perhitungan kapasitas injeksi material.

$$V = \pi \times r^2 \times \text{maximum stroke hydraulic}$$

$$V = \pi \times 25^2 \text{ mm} \times 70 \text{ mm}$$

$$V = 137.444 \text{ mm}^3 = 137,444 \text{ cm}^3$$

Setelah dilakukannya perhitungan, tahap selanjutnya adalah dengan melakukan proses pendesainan menggunakan *software solidworks 2020*. Proses ini dilakukan untuk mendapatkan hasil desain 3d sebagai acuan, desain 2d atau gambar mesin agar dapat digunakan proses permesinan yaitu bubut dan *frais*, serta hasil G-code untuk dapat di transfer kedalam mesin CNC (*Computer Numerical Control*). Hasil desain 3d yang telah dibuat dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil desain mesin *injection molding*

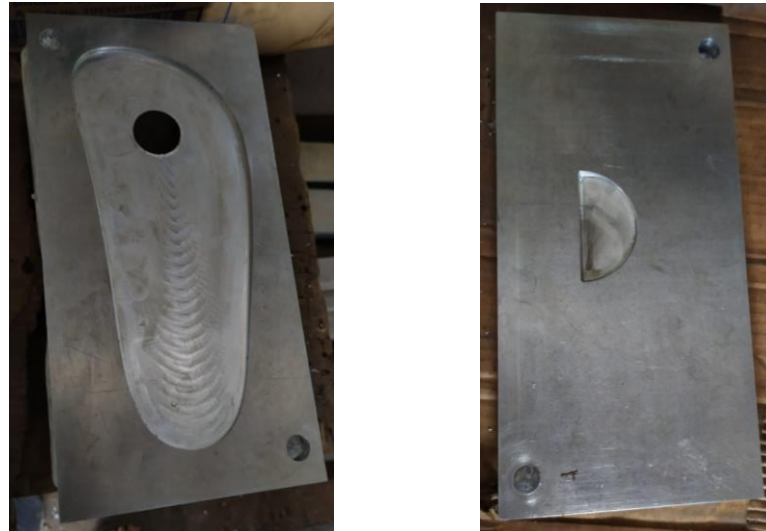
Setelah mendapatkan hasil desain secara keseluruhan dari mesin *injection molding*, dilakukan proses permesinan menggunakan mesin bubut dan mesin *frais* untuk pengerjaan yang tidak terlalu kompleks dan menggunakan acuan gambar 2d. Lalu proses permesinan yang membutuhkan kompleksitas tinggi menggunakan mesin CNC dengan acuan G-code yang telah dibuat.

3.2 Hasil Mesin *Injection Molding*

Hasil produk yang telah dilakukan dengan proses permesinan berupa mesin *injection molding* yang merupakan perolehan pengerjaan atau penelitian yang dilakukan dengan percobaan berulang-ulang diperoleh kualitas yang baik maka didapat hasil yang baik dan maksimal. Hasil pembuatan mesin *injection molding* dapat dilihat pada Gambar di bawah ini



Gambar 4. Hasil *injection unit*



Gambar 5. Hasil *molding unit*

3.3 Pembuatan komposit

Proses pembuatan material komposit dilakukan dengan pencampuran *silicone rubber* RTV 497 dengan 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 10% dan 20%. *Talc* dicampur dengan *silicone rubber* kemudian diaduk selama 2 menit dan ditambahkan *hardener* sesuai dengan produk yang direkomendasikan adalah 3-4%, dengan total jumlah yang diperlukan untuk membuat satu *insole* sepatu adalah 120 gram. Tahap selanjutnya dari menimbang masing-masing material adalah proses pencampuran setiap bahan yang akan digunakan, diawali dengan proses pencampuran *silicone rubber* dan *talc* dengan cara diaduk menggunakan bor listrik selama 2 menit. Tahap selanjutnya adalah pencampuran dengan *hardener* selama 2 menit, *hardener* pada campuran berfungsi sebagai pereaksi dari *silicone rubber* yang semula berbentuk cair kemudian berubah menjadi padat.

Proses selanjutnya dari pembuatan *insole* sepatu menggunakan mesin *injection molding* adalah percobaan alat yang telah dibuat sebelumnya. Pada penelitian ini menggunakan 3 variasi untuk melakukan percobaan pada mesin *injection molding* yaitu variasi suhu, komposisi dan tekanan, untuk variasi suhu pada penelitian ini menggunakan 2 variasi suhu yaitu 75°C dan 100°C, variasi suhu ini dilakukan karena untuk mempercepat proses pengerasan material atau *hardening silicone rubber* adalah dengan menaikkan suhu saat proses pengerasan didalam cetakan. Variasi tekanan yang digunakan pada penelitian ini adalah 150 bar dan 100 bar, variasi tekanan dilakukan untuk memastikan seberapa besar tekanan yang diperlukan untuk melakukan injeksi dengan material *silicone rubber*. Variasi komposisi yang dilakukan adalah 10% dan 20%, untuk mengetahui karakterisasi material yang baik.

Proses yang dilakukan untuk mempersiapkan mesin adalah dengan memastikan semua sudah terpasang, lalu memberikan *silicone spray* didalam cetakan, dan *injection unit* supaya mempermudah dalam proses pelepasan hasil jadi dari percobaan ini, selanjutnya adalah memasang cetakan dengan *clamping unit* agar saat proses injeksi tidak terjadi terdorong dan melepas cetakan, setelah itu adalah memastikan semua mesin sudah menyala, seperti motor listrik dan pemanas yang digunakan. Proses ini dilakukan guna memasukan material kedalam cetakan, hal yang perlu dilakukan adalah mengatur tekanan agar disesuaikan dengan variasi yang akan dilakukan, setelah itu melakukan pengaturan pada pemanas yang digunakan agar sesuai dengan variasi suhu yang akan digunakan. Proses selanjutnya adalah dengan menuangkan material kedalam *injection unit* lalu didorong kedalam cetakan menggunakan *hydraulic cylinder*

Proses pemanasan cetakan dilakukan guna mempercepat proses pengerasan dari material *silicone rubber*, pemanasan ini dikontrol menggunakan PID Rex Controller dan dilakukan dengan elemen panas serta dibantu dengan *heat gun* untuk mempercepat proses pemanasan, dimulai dari material masuk dengan kondisi cetakan dengan 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 hingga dingin dengan waktu ± 30 menit, setelah itu melepas cetakan dari mesin *injection molding* untuk dapat diambil hasil jadi dari *insole* sepatu yang berada di cetakan tersebut.

3.4 Hasil *insole* sepatu

Hasil dari percobaan tersebut didapatkan 4 sampel dari variasi suhu, tekanan dan komposisi yang digunakan yaitu variasi dengan suhu 75°C dan tekanan 150 bar, suhu 100°C dan tekanan 150 bar, suhu 75°C dan tekanan 100 bar. Didapatkan bahwa setiap variabel mempengaruhi hasil dari *insole* sepatu yang dicetak, berikut hasil dari masing-masing variasi yang digunakan.



Gambar 6. Variasi suhu 100°C dengan tekanan 150 bar dan komposisi *talca* 20%



Gambar 7. Variasi suhu 75°C dengan tekanan 100 bar dan komposisi *talca* 20%



Gambar 8. Variasi suhu 75°C dengan tekanan 150 bar dan komposisi *talca* 20%



Gambar 9. Variasi suhu 75°C dengan tekanan 150 bar dan komposisi *talc* 10%

Hasil yang didapatkan bahwa suhu yang terlalu tinggi akan mengakibatkan porositas yang disebabkan oleh panasnya suhu proses pengerasan sehingga hasil yang didapatkan kurang maksimal dan berongga, lalu dengan tekanan yang terlalu rendah mengakibatkan lama material menyebar dalam cetakan ketika dipanaskan mengakibatkan pengerasan yang kurang menyeluruh sehingga ada bagian yang kurang keras dari bagian yang lain, dari hal tersebut dapat disimpulkan bahwa hasil yang paling baik adalah dengan suhu 75°C dan tekanan sebesar 150 bar.

3.5 Karakterisasi Komposit

Setelah spesimen komposit selesai dibuat, maka dilakukanlah beberapa pengujian untuk karakteristik dari material tersebut. Pengujian yang dilakukan yaitu uji tarik untuk mengetahui tear strength maksimal dan regangan tear dan uji kekerasan untuk menunjukkan nilai kekerasan.

Pengujian yang pertama kali dilakukan terhadap spesimen komposit yaitu uji densitas, dimana pengujian dilakukan sebanyak 3 kali untuk tiap spesimen. 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. Hasil pengujian densitas dapat dilihat pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Data pengujian densitas

<i>Silicone Rubber RTV 497</i>				
<i>Talc</i> (%)	Massa (gr)	Volume (cm ³)	Densitas (gr/cm ³)	Densitas Rata-Rata (gr/cm ³)
10	10.73	9,09	1,18	1,18
10	11.40	9,57	1,19	
10	10.29	8,72	1,18	
20	10.87	8.69	1.25	1,256
20	11.48	9,11	1,26	
20	9.95	7,89	1,26	

Perhitungan Teori Densitas Setelah didapatkan hasil densitas dari pengujian menggunakan alat *densitometer*, hal yang perlu dilakukan selanjutnya adalah membandingkan hasil pengujian dengan hasil perhitungan teoritis. Perhitungan densitas teoritis dapat dicari dengan menggunakan rumus.

$$\rho_{sr} = 1,14 \frac{gr}{cm^3}$$

$$\rho_t = 2,76 \frac{gr}{cm^3}$$

$$\%V_{c(20\%1)} = 8,69 \text{ cm}^3$$

$$\%V_{c(20\%1)} = 0,8 \times 8,69 \text{ cm}^3 = 6,95 \text{ cm}^3$$

$$\%V_{c(20\%1)} = 0,2 \times 8,69 \text{ cm}^3 = 1,738 \text{ cm}^3$$

$$\rho_{c(20\%1)} = \frac{(\rho_{sr} \times \%v_{sr}) + (\rho_t \times \%V_t)}{V_{c(20\%1)}}$$

$$= \frac{(1,14 \times 6,95) + (2,76 \times 1,738)}{8,69}$$

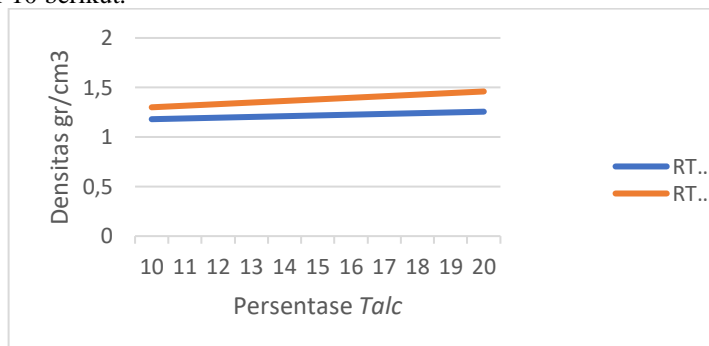
$$\rho_{c(20\%1)} = 1,46 \text{ gr/cm}^3$$

Perhitungan densitas teori pada penambahan komposisi variasi *talc* 10% dapat dihitung dengan menggunakan rumus yang sama. Berikut hasil perhitungan densitas teori komposit RTV 497 tertera pada Tabel 4.2.

Tabel 4. Perhitungan densitas teori

Silicone Rubber RTV 497	
Talc (%)	Densitas (gr/cm ³)
10	1,30
20	1,46

Berdasarkan hasil perhitungan secara teori diatas, maka dapat ditentukan grafik perbandingan densitas hasil pengujian komposit dengan perhitungan teori. Grafik perbandingan hasil uji dan perhitungan teoritis densitas komposit dapat dilihat pada Gambar 10 berikut.



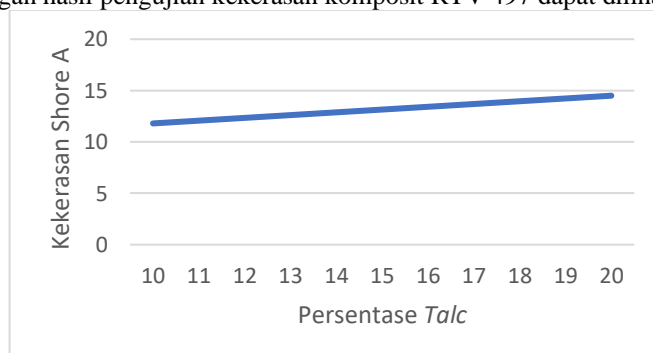
Gambar 10. Grafik perbandingan hasil uji densitas dan perhitungan densitas teori komposit RTV 497

Setelah dilakukan uji densitas terhadap spesimen komposit, tahap selanjutnya dilakukan uji keras pada permukaan spesimen menggunakan alat *Shore A Durometer*. Pengujian ini dilakukan dengan mengambil 3 kali pengujian setiap spesimen. Hasil dari pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Kekerasan komposit RTV 497

Silicone Rubber RTV 497				
Talc (%)	Pengujian			Rata-Rata
	1	2	3	
10	11,2	13,6	10,6	11,8
20	13,4	14,4	15,8	14,5

Tabel 5 menunjukkan bahwa nilai kekerasan memiliki trend naik, dimana semakin tinggi komposisi *talc* maka semakin besar nilai kekerasannya. Berdasarkan hasil pengujian diatas, maka dapat dibuat grafik hasil pengujian kekerasan. Grafik perbandingan hasil pengujian kekerasan komposit RTV 497 dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Grafik hasil uji kekerasan komposit RTV 497

Gambar 4.24 menjelaskan bahwa hasil pengujian kekerasan komposit RTV 497 dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa semakin tinggi komposisi *talc* maka semakin tinggi nilai kekerasannya. Berdasarkan hasil pada gambar diatas, maka dapat disimpulkan bahwa nilai kekerasa tertinggi pada produk RTV 497 dengan komposisi *talc* 20%.

4. Kesimpulan

Pada penelitian ini telah dilakukan percobaan mesin *injection molding* dengan material komposit berbahan *silicone rubber* dan *talc*. Kesimpulan yang didapat adalah proses perancangan cetakan menggunakan *software Solidworks 2020* yang digunakan untuk membuat 3D desain, gambar mesin dan G-code. Proses permesinan yang digunakan dalam pembuatan mesin *injection molding* adalah non-konvensional permesinan yaitu dengan mesin CNC (*Computerized Numerical Control*) dan konvensional yaitu mesin bubut dan mesin frais. Proses permesinan yang dilakukan adalah proses

milling, drilling, bor dan tapping untuk pembuatan keseluruhan mesin *injection molding* berbahan dasar aluminium. Hasil percobaan mesin *injection molding* dengan material komposit *silicone rubber* dan *talca*

Secara proses, suhu dan tekanan memengaruhi hasil dari material yang dibuat, suhu yang terlalu panas mengakibatkan porositas sehingga suhu paling optimal adalah 75°C, dan tekanan yang terlalu kecil mengakibatkan material tidak mengeras secara menyeluruh dikarenakan lama material menyebar diseluruh cetakan, untuk itu tekanan paling optimal adalah 150 bar. Secara waktu, mesin *injection molding* telah berhasil mempersingkat waktu pembuatan *insole* sepatu dengan lama waktu pembuatan kurang lebih 49 menit.

5. Daftar Pustaka

- [1] Meunier, L. *et al.* (2008) 'Mechanical experimental characterisation and numerical modelling of an unfilled silicone rubber', *Polymer Testing*, 27(6), pp. 765–777. doi: 10.1016/j.polymeresting.2008.05.011
- [2] *Injection Molding Handbook* (2000) *Injection Molding Handbook*. doi: 10.1007/978-1-4615-4597-2.
- [3] Bont M, Barry C, Johnston S. (2021). A review of liquid silicone rubber injection molding: Process variables and process modeling. *Polymer Engineering & Science*. 61. 10.1002/pen.25618.
- [4] Nurmaulita, 2010. "Pengaruh Orientasi Serat Sabut Kelapa Dengan Resin Polyester Terhadap Karakteristik Papan Lembaran". Universitas sumatra utara.
- [5] Suhdi, dkk; 2016, Analisa Kekuatan Mekanik Komposit Seratsabut Kelapa (Cocos Nucifera) Untuk Pembuatanpanel Panjat Tebing Sesuai Standar BSAPI ISSN : 2502-2040.
- [6] Jones, M. R., 1975, *Mechanics of Composite Material*, Mc Graww Hill Kogakusha, Ltd.
- [7] Surdia, T.; Saito, S., 1999, *Pengetahuan Bahan Teknik*, Cetakan ke-4, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- [8] Schwartz, M.M., 1984, *Composite Materials Handbook*, Mc Graw-Hill Book Co., New York
- [9] Shit, S. C. and Shah, P. (2013) 'A review on silicone rubber', *National Academy Science Letters*, 36(4), pp. 355–365. doi: 10.1007/s40009-013-0150-2.
- [10] Jadhav, N. R. *et al.* (2013) 'Talc : a versatile pharmaceutical excipient.', *World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 2(6), pp. 4639–4660, 22 pp. Available at: http://www.wjpps.com/get_file.php?type=article&file=1386002938.pdf.
- [11] Nikitakis, Joanne, Beth Lange, Ph.D. , Shaw, Katrika, Carol Eisenmann, P. D. (2006) *International Cosmetic Ingredient Dictionary and Handbook, Volume 4*.
- [12] Dieter, George Ellwood, and D. J. Bacon. (1987). *Mechanical metallurgy*. London: McGraw-Hill.