

## Analisis Sifat Mekanis RTV *Silicone Rubber* dengan Variasi *Silicone Oil* untuk Pengembangan *Injection Training Arm*

Saeful Rofi Romadhon<sup>a,b</sup>, Rifky Ismail<sup>a,b</sup>, Yuriz Bachtiar<sup>c</sup>, Hartanto Prawibowo<sup>b,d</sup>

<sup>a</sup>Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Soedarto, SH., Tembalang-Semarang 50275

<sup>b</sup>Center for Biomechanics, Biomaterials, Biomechatronics and Biosignal Processing, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Soedarto, SH., Tembalang-Semarang 50275

<sup>c</sup>Departemen Bedah Saraf, Fakultas Kedokteran, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Mr. Sunario, Kampus Universitas Diponegoro, Tembalang, Semarang 50275

<sup>d</sup>Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang  
Jl. Prof. Soedarto, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah, 50275

\*E-mail: roframadhann99@gmail.com

### Abstract

*RTV silicone rubber is widely used in medical simulation devices because of its properties that resemble human soft tissue, especially in injection training arms that require elasticity, tensile strength, tear resistance, and adequate hardness to withstand repeated needle penetration. This study aims to evaluate the effect of adding silicone oil on the mechanical properties of type 00A RTV silicone rubber through tensile testing (ISO 37:2024), tear testing (ISO 34-1:2022), and hardness testing (ASTM D2240). Three formulations were tested, namely pure RTV, RTV + 5 phr silicone oil, and RTV + 15 phr silicone oil. The results showed that the addition of 5 phr silicone oil produced the most significant improvement in mechanical properties, with a tensile strength of 0.57 N/mm<sup>2</sup>, elongation of 365.22%, tear resistance of 0.42 N/mm, and hardness of 9.3 Shore A, compared to pure RTV which only reached 0.42 N/mm<sup>2</sup>, 199.27%, 0.33 N/mm, and 7.2 Shore A. Conversely, the addition of 15 phr silicone oil reduced performance due to excessive plasticization, although the hardness value still increased to 9.9 Shore A. Thus, the 5 phr silicone oil formulation is recommended as the optimal composition for realistic and economical injection training arm applications.*

**Keywords:** *RTV silicone rubber, silicone oil, injection training arm, medical simulation*

### Abstrak

*RTV silicone rubber banyak digunakan pada perangkat simulasi medis karena sifatnya menyerupai jaringan lunak manusia, terutama pada injection training arm yang menuntut elastisitas, kekuatan tarik, ketahanan sobek, dan kekerasan yang memadai untuk menahan penetrasi jarum berulang. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh penambahan silicone oil terhadap sifat mekanis RTV silicone rubber tipe 00A melalui uji tarik (ISO 37:2024), uji sobek (ISO 34-1:2022), dan uji kekerasan (ASTM D2240). Tiga formulasi diuji, yaitu RTV murni, RTV + 5 phr silicone oil, dan RTV + 15 phr silicone oil. Hasil menunjukkan bahwa penambahan 5 phr silicone oil menghasilkan peningkatan sifat mekanis yang paling signifikan, dengan kekuatan tarik 0,57 N/mm<sup>2</sup>, elongasi 365,22%, ketahanan sobek 0,42 N/mm, dan kekerasan 9,3 Shore A, dibandingkan RTV murni yang hanya mencapai 0,42 N/mm<sup>2</sup>, 199,27%, 0,33 N/mm, dan 7,2 Shore A. Sebaliknya, penambahan 15 phr silicone oil menurunkan performa akibat plastisasi berlebih meskipun nilai kekerasan masih meningkat hingga 9,9 Shore A. Dengan demikian, formulasi 5 phr silicone oil direkomendasikan sebagai komposisi optimal untuk aplikasi injection training arm yang realistis dan ekonomis.*

**Kata kunci:** *RTV silicone rubber, silicone oil, injection training arm, simulasi medis*

### 1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi kesehatan mendorong inovasi berkelanjutan dalam pendidikan medis untuk meningkatkan kualitas pembelajaran dan keselamatan pasien [1]. Salah satu pendekatan yang semakin banyak digunakan adalah simulasi, karena menyediakan lingkungan belajar yang aman, memungkinkan mahasiswa mengasah keterampilan klinis invasif tanpa risiko langsung terhadap pasien [2]. Simulasi tidak hanya memfasilitasi penguasaan keterampilan teknis, tetapi juga terbukti meningkatkan kepercayaan diri serta kesiapan mahasiswa dalam melakukan prosedur klinis secara mandiri [3]. Di antara berbagai keterampilan klinis, pemasangan jarum intravena merupakan kompetensi fundamental dalam kedokteran, keperawatan, dan profesi kesehatan lainnya. Prosedur ini menuntut presisi tinggi dalam menentukan lokasi vena, sudut penetrasi, serta kecepatan tusukan, di mana kesalahan kecil saja dapat

menyebabkan komplikasi serius bagi pasien [4-7]. Dengan demikian, keterlibatan pasien dalam tahap awal pembelajaran berpotensi meningkatkan risiko kesalahan medis yang membahayakan keselamatan [8]. Dalam konteks ini, penggunaan alat peraga medis seperti *injection training arm* menjadi solusi strategis, karena memungkinkan mahasiswa berlatih secara berulang hingga mencapai tingkat kompetensi dan kepercayaan diri yang memadai sebelum diterapkan pada pasien nyata [9].

Agar efektif, *injection training arm* memerlukan material yang mampu meniru karakteristik jaringan lunak manusia, terutama dalam hal elastisitas, ketahanan sobek, dan kemampuan menahan penetrasi jarum berulang. Kombinasi durabilitas dan elastisitas tinggi menjadi faktor kunci, karena tidak hanya memperpanjang umur pakai perangkat, tetapi juga memberikan pengalaman simulasi yang realistis serta meningkatkan kenyamanan dan keamanan pengguna. Tanpa karakteristik tersebut, alat peraga rentan mengalami kerusakan dini dan kurang optimal dalam mendukung proses pembelajaran klinis [10,11]. Salah satu kandidat material yang menjanjikan adalah *Room Temperature Vulcanized (RTV) silicone rubber*, yang telah digunakan luas dalam berbagai aplikasi biomedis, simulasi prostetik, hingga produk industri, berkat fleksibilitas tinggi, ketahanan kimia, kestabilan termal, serta kemudahan proses fabrikasi [12-15]. Polydimethylsiloxane (PDMS), sebagai komponen utama RTV *silicone rubber*, berperan penting dalam memberikan elastisitas dan fleksibilitas material [16,17]. Sifat ini memungkinkan RTV mempertahankan bentuk serta pulih setelah deformasi berulang, menjadikannya sangat potensial untuk aplikasi *injection training arm*. Selain itu, ketahanan terhadap robekan dan sobekan merupakan parameter krusial yang menentukan keandalan dan umur pakai perangkat, sehingga perlu menjadi fokus utama dalam formulasi material [18,19].

Sifat mekanik karet silikon diketahui dapat ditingkatkan secara signifikan melalui penambahan berbagai pengisi anorganik maupun aditif cair yang berfungsi sebagai agen modifikasi matriks polimer [20-22]. sebagaimana dilaporkan dalam beberapa penelitian mengenai pengaruh variasi katalis pada RTV *silicone rubber* untuk suturing pad, optimasi komposit silikon yang diperkuat partikel talc untuk meningkatkan kekuatan dan gaya gesek pada aplikasi kaki prostetik, serta peningkatan performa tribologis dan ketahanan aus melalui pelapisan TESPT-coated talc powder yang memperkuat ikatan antar fase antara filler dan matriks silikon [23-25]. Penambahan *silicone oil* pada komposit SBR dilaporkan mampu meningkatkan modulus elastisitas pada konsentrasi 10 phr melalui penguatan interaksi antar rantai polimer dan pembatasan pergerakan molekuler. Namun, pada konsentrasi lebih tinggi (15 phr), sifat tersebut menurun akibat dominasi efek plastisasi yang melemahkan ikatan silang dalam matriks polimer [26].

Hingga saat ini, kajian mengenai modifikasi RTV *silicone rubber*, khususnya menggunakan RTV tipe 00A, masih terbatas. Padahal, aplikasi medis seperti *injection training arm* membutuhkan material dengan sifat mekanis yang seimbang: cukup kuat untuk menahan sobekan, namun tetap elastis agar mampu mengalami deformasi reversibel setelah penetrasi jarum berulang. Penelitian ini dirancang untuk mengevaluasi formulasi RTV 00A dengan penambahan *silicone oil* pada konsentrasi 5 phr dan 15 phr, dengan RTV murni digunakan sebagai kontrol. Karakterisasi sifat mekanis dilakukan melalui uji tarik dan perpanjangan putus sesuai ISO 37:2024, serta uji sobek mengacu pada ISO 34-1:2022, yang dipilih karena relevan dalam merepresentasikan performa material pada kondisi penggunaan nyata.

Kebaruan penelitian ini terletak pada eksplorasi peran *silicone oil* dalam modifikasi RTV 00A untuk aplikasi medis, suatu topik yang hingga kini masih jarang dilaporkan. Selain aspek ilmiah, penelitian ini juga menekankan dimensi praktis berupa identifikasi formulasi material yang lebih ekonomis namun tetap memenuhi tuntutan sifat mekanis. Dengan demikian, studi ini berpotensi memberikan kontribusi ganda: memperkaya literatur ilmiah mengenai modifikasi RTV serta mendukung pengembangan *injection training arm* lokal yang realistis, terjangkau, dan mampu meningkatkan kualitas pendidikan kesehatan.

## 2. Material dan metode penelitian

### 2.1 Material

RTV *silicone rubber* tipe 00A digunakan sebagai matriks utama dalam penelitian ini karena memiliki kelunakan, elastisitas tinggi, dan kestabilan dimensi yang menyerupai jaringan lunak manusia, sehingga sesuai untuk aplikasi alat peraga medis seperti *injection training arm*. Material ini juga menawarkan keunggulan berupa kemudahan pemrosesan, kestabilan termal, ketahanan kimia, serta kemampuan mempertahankan sifat mekaniknya setelah mengalami deformasi berulang. Kombinasi sifat tersebut menjadikan RTV tipe 00A kandidat material potensial untuk menghasilkan simulasi yang realistis dalam pelatihan klinis. Spesifikasi teknis dari RTV *silicone rubber* tipe 00A yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Spesifikasi *silicone rubber* RTV 00A

<i>Appearance</i>	<i>Translucent</i>
<i>Mixing proportion of curing agent (%)</i>	3-4
<i>Operating time (mins 25<sup>0</sup>C)</i>	10 - 15
<i>Curing time (hours 25<sup>0</sup>C)</i>	1 – 1,5
<i>Density (g/cm<sup>3</sup>)</i>	1,07-1,09
<i>Viscosity (mPas -25<sup>0</sup>C)</i>	20000

Untuk meningkatkan sifat mekanik, khususnya elastisitas dan fleksibilitas, penelitian ini menggunakan *silicone oil* dengan viskositas 350 cSt sebagai aditif. *Silicone oil* berfungsi sebagai agen plastisasi yang memodifikasi interaksi antar rantai polimer dalam matriks RTV, sehingga material akhir menjadi lebih lentur dan mampu mendekati sifat mekanik jaringan lunak manusia. Variasi konsentrasi *silicone oil* diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai formulasi optimal yang menyeimbangkan kelenturan, kekuatan tarik, dan ketahanan sobek. Formulasi variasi campuran yang diuji pada penelitian ini terdiri atas RTV 00 murni dengan komposisi katalis 3% dan penambahan *silicone oil* 5 phr dan 15 phr. Spesifikasi teknis *silicone oil* yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 2.

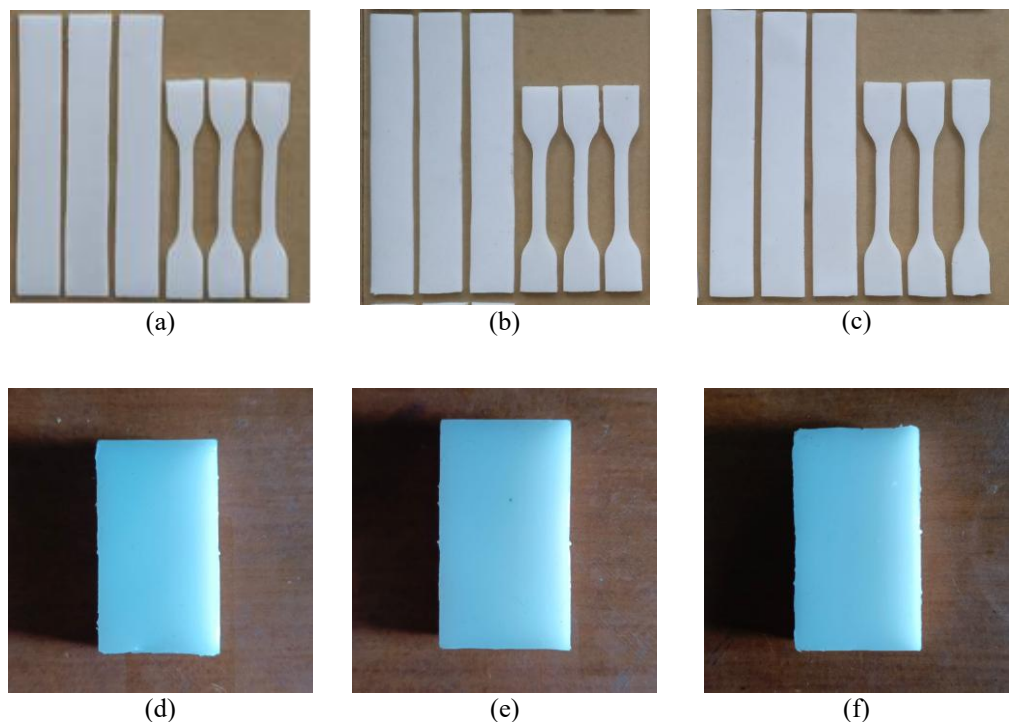
**Tabel 2.** Sifat kimia dan fisika *silicone oil* yang digunakan dalam penelitian.

Property	Specification
Product type (taxonomy term)	Dimethyl Silicone Fluids
Kind	Dimethyl Silicone Fluid
Visco(cs)	350
P point	-50 max.
Specific Gravity @ 25°C	0,970
RI	1,403
Surface Tension 25°C (mN/m)	21,1
Volume Resistivity (TΩ·m)	1 min.

## 2.2 Persiapan Spesimen

Cetakan uji dirancang menggunakan perangkat lunak SolidWorks dan diproduksi melalui teknologi 3D printing dengan metode *Fused Deposition Modeling* (FDM) menggunakan material PLA. Desain cetakan dibuat dengan mengacu pada standar ISO 34-1:2022 untuk uji ketahanan sobek, ISO 37:2024 untuk uji tarik serta ASTM D2240 untuk uji kekerasan sehingga spesimen yang dihasilkan memenuhi persyaratan dimensi internasional.

Proses pembuatan spesimen diawali dengan penimbangan RTV *silicone rubber* tipe 00A sebagai matriks utama, kemudian dilakukan pencampuran dengan filler berupa *silicone oil* sesuai variasi formulasi yang ditetapkan. Pencampuran dilakukan secara manual menggunakan spatula hingga diperoleh campuran homogen. Selanjutnya, katalis ditambahkan sebesar 3% dari berat matriks sesuai rekomendasi pabrikan, lalu diaduk kembali secara merata dalam waktu singkat untuk mencegah terjadinya pengerasan dini. Campuran homogen kemudian dituangkan ke dalam cetakan dengan hati-hati untuk meminimalkan terbentuknya rongga udara atau gelembung yang berpotensi memengaruhi hasil pengujian. Proses curing dilakukan pada suhu ruang ( $25 \pm 2$  °C) selama 24 jam hingga material mengeras sempurna. Setelah proses curing selesai, spesimen dilepaskan secara hati-hati dari cetakan untuk mencegah kerusakan pada permukaan maupun bentuk sampel. Hasil spesimen yang telah dicetak ditunjukkan pada Gambar 1.



**Gambar 1.** (a) spesimen uji tarik dan sobek dengan komposisi *silicone oil* 0 phr, (b) spesimen uji tarik dan sobek dengan komposisi *silicone oil* 5 phr, (c) spesimen uji tarik dan sobek dengan komposisi *silicone oil* 15 phr, (d)(e)(f) spesimen uji kekerasan 0, 5, 15 phr

### 2.3 Pengujian Mekanik

Uji tarik dilakukan berdasarkan ISO 37:2024 menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM) pada spesimen berbentuk dumbbell tipe 2. Spesimen uji tarik ditampilkan pada Gambar 2, sementara dimensi standar untuk spesimen dumbbell tipe 1–4 tercantum pada Tabel 3. Pengujian dilakukan pada kecepatan penarikan 200 mm/min dengan parameter yang dicatat berupa *tensile strength* (MPa) dan *elongation at break* (%).

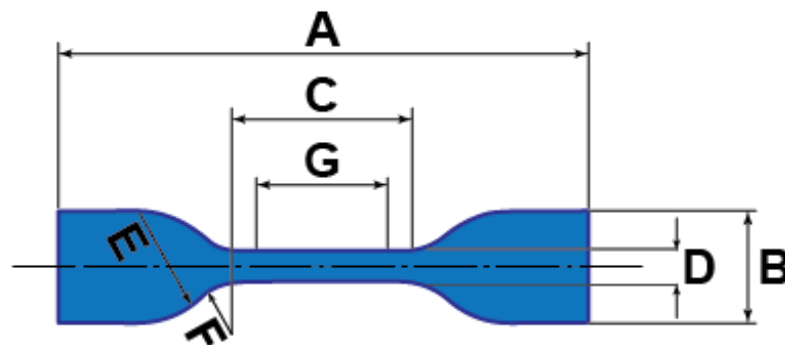
Selanjutnya, uji sobek dilaksanakan mengacu pada ISO 34-1:2022 dengan metode *trouser test*, menggunakan spesimen berbentuk sesuai standar seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Pengujian dilakukan menggunakan UTM dengan kecepatan 100 mm/min, dan hasil dicatat sebagai *tear strength* (N/mm).

Selain itu, uji kekerasan dilakukan mengacu pada ASTM D2240-15 menggunakan durometer tipe Shore A, sesuai dengan sifat elastomer uji. Spesimen uji memiliki ketebalan minimal 6 mm atau disusun berlapis hingga memenuhi ketebalan standar. Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan metode *freehand*, dengan cara meletakkan durometer secara tegak lurus pada permukaan specimen, kemudian mencatat nilai kekerasan pada skala 0–100 Shore A. Hasil pengujian dinyatakan sebagai nilai rata-rata Shore A *hardness* dari 5 titik pengukuran.

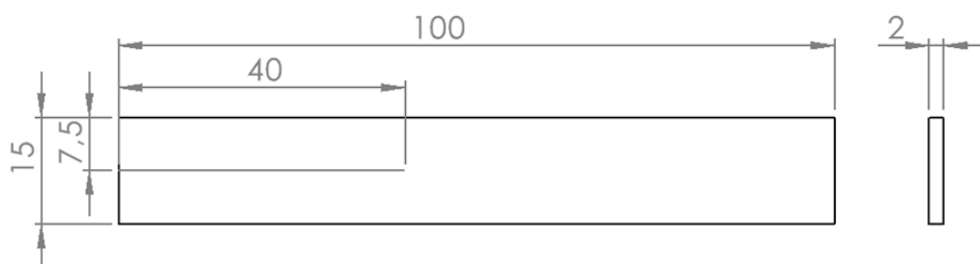
Proses pengujian Tarik, sobek dan kekerasan secara langsung ditunjukkan pada Gambar 4, yang menggambarkan penempatan spesimen pada mesin uji.

**Tabel 3.** Dimensi standar spesimen dumbbell uji tarik [27]

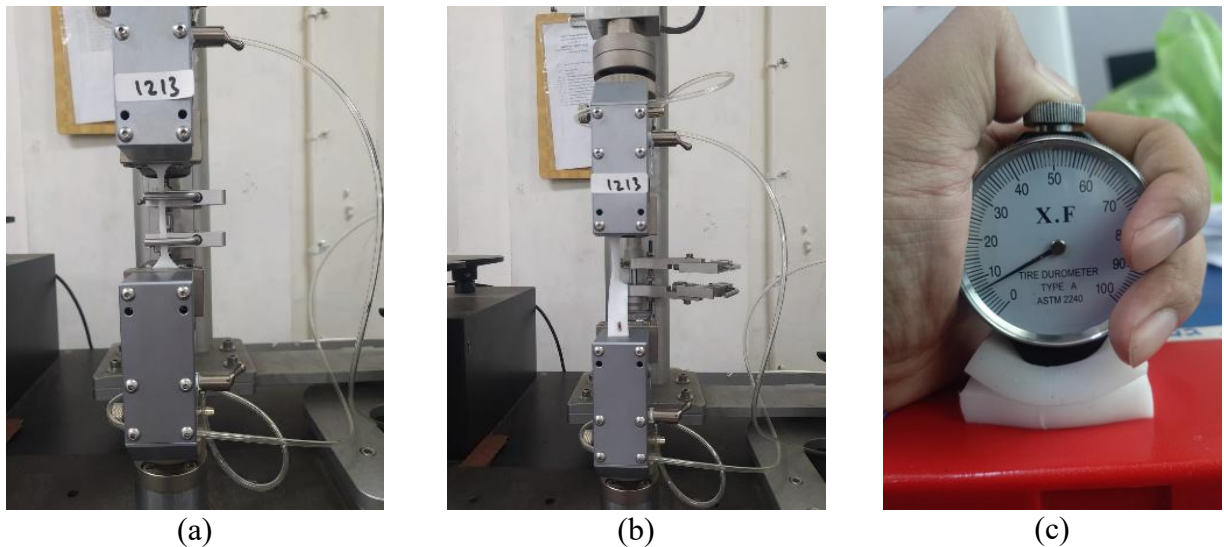
Test piece type	Type 2
Overall length (A)	75
Width of end tab (B)	12,5
Length of narrow section (C)	25
Width of narrow section (D)	4
Transition outside radius (E)	8
Transition inside radius (F)	12,5
Test 'gauge' length (G)	20



**Gambar 2.** Spesimen dumbbell tipe 2 untuk pengujian tarik



**Gambar 3.** Spesimen uji sobek metode *trouser test* [28]



**Gambar 4.** (a) Proses pengujian tarik pada spesimen (b) Proses pengujian sobek pada spesimen (c) Proses pengujian kekerasan dengan metode *freehand*

#### 2.4 Analisis Data

Setiap variasi formulasi diuji secara berulang untuk memperoleh data yang representatif mengenai sifat mekanik material. Data hasil pengujian dianalisis dengan menghitung nilai rata-rata. Analisis dilakukan secara deskriptif dengan membandingkan kekuatan tarik, perpanjangan putus, kekuatan sobek, dan kekerasan pada tiap variasi formulasi, sehingga kecenderungan peningkatan maupun penurunan sifat mekanik akibat penambahan *silicone oil* dapat diamati dengan jelas. Hasil disajikan dalam bentuk grafik untuk memperjelas perbandingan sekaligus memudahkan interpretasi pola perubahan sifat material. Mengingat penelitian ini bersifat eksploratif, pendekatan deskriptif dipandang paling sesuai untuk mengidentifikasi tren awal dan memberikan gambaran pengaruh variasi *silicone oil*. Temuan ini diharapkan menjadi landasan bagi penelitian lanjutan dengan jumlah sampel lebih besar dan rancangan analisis statistik yang lebih komprehensif.

### 3. Hasil dan Pembahasan

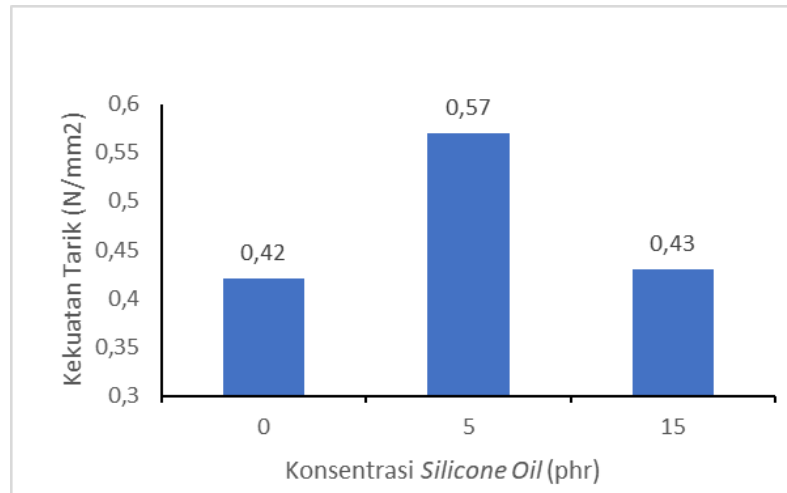
#### 3.1 Uji Tarik dan Perpanjangan Putus

Tabel 4 dan Gambar 5 menunjukkan pengaruh penambahan *silicone oil* terhadap kekuatan tarik material RTV. Nilai rata-rata kekuatan tarik RTV murni sebesar  $0,42 \text{ N/mm}^2$ , sedangkan penambahan *silicone oil* sebesar 5 phr meningkatkan nilai tersebut hingga  $0,57 \text{ N/mm}^2$ . Peningkatan ini mengindikasikan bahwa pada konsentrasi rendah, *silicone oil* mampu meningkatkan homogenitas distribusi tegangan serta mobilitas rantai polimer tanpa mengganggu ikatan silang. Sebaliknya, pada penambahan *silicone oil* sebesar 15 phr, kekuatan tarik menurun kembali menjadi  $0,43 \text{ N/mm}^2$ , mendekati nilai RTV murni. Penurunan ini menunjukkan adanya efek plastisasi berlebih, di mana jaringan polimer menjadi lebih lunak dan kekuatan mekaniknya berkurang.

Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian Imiela et al. (2023) yang melaporkan bahwa penambahan *silicone oil* di atas 10 phr menurunkan kekuatan tarik akibat berkurangnya interaksi antar-filler dan filler-polimer. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penambahan 5 phr *silicone oil* merupakan komposisi optimum, karena menghasilkan kekuatan tarik tertinggi dan memberikan performa mekanik terbaik untuk aplikasi simulasi penusukan jarum.

**Tabel 4.** Data hasil pengujian kekuatan tarik

Komposisi Material	S 1	S 2	S 3	Rata-Rata Kekuatan Tarik ( $\text{N/mm}^2$ )
RTV 00 Murni	0,36	0,50	0,39	0,42
RTV 00 + SO 5 phr	0,64	0,53	0,54	0,57
RTV 00 + SO 15 phr	0,40	0,47	0,41	0,43



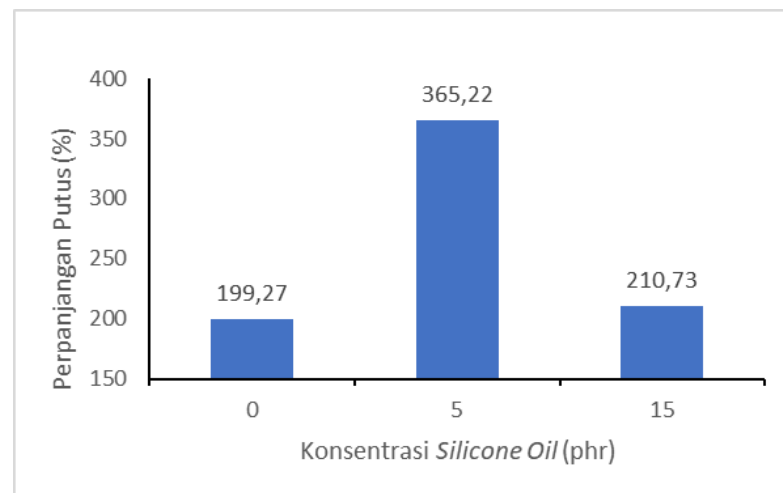
**Gambar 5.** Grafik perbandingan kekuatan tarik

Tabel 5 dan Gambar 6 memperlihatkan hasil uji perpanjangan putus (elongation at break) pada material RTV dengan variasi konsentrasi silicone oil. Nilai rata-rata elongasi RTV murni sebesar 199,27%, sedangkan penambahan silicone oil sebesar 5 phr meningkatkan nilai tersebut secara signifikan menjadi 365,22%. Kenaikan ini menunjukkan bahwa pada kadar rendah, silicone oil mampu meningkatkan jarak antar-rantai polimer, sehingga material dapat mengalami deformasi yang lebih besar sebelum mengalami kegagalan.

Namun, pada penambahan silicone oil sebesar 15 phr, nilai elongasi menurun kembali menjadi 210,73%, hanya sedikit lebih tinggi dari RTV murni. Penurunan ini menandakan terjadinya efek plastisasi berlebih yang menyebabkan melemahnya ikatan antar-rantai dan menurunkan kemampuan material untuk mempertahankan elastisitasnya saat teregang. Dari sisi aplikasi, formulasi dengan penambahan 5 phr silicone oil dapat dianggap sebagai komposisi optimum, karena menghasilkan fleksibilitas dan kemampuan regang yang tinggi, menyerupai sifat mekanik jaringan lunak manusia. Karakteristik ini penting untuk simulasi medis, terutama dalam meniru respons kulit terhadap penusukan jarum berulang.

**Tabel 5.** Data hasil pengujian perpanjangan putus

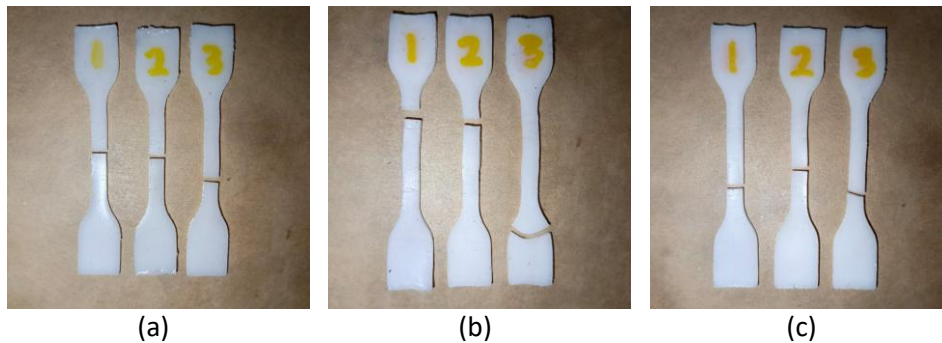
Komposisi Material	S 1	S 2	S 3	Rata-Rata Perpanjangan Putus (%)
RTV 00 Murni	211,25	207,45	179,10	199,27
RTV 00 + SO 5 phr	394,65	336,05	364,95	365,22
RTV 00 + SO 15 phr	223,20	224,30	184,70	210,73



**Gambar 6.** Grafik perbandingan perpanjangan putus

Gambar 7 memperlihatkan spesimen setelah dilakukan uji tarik dengan variasi formulasi material. Ketiga spesimen menunjukkan lokasi patahan yang sama, yaitu di bagian tengah, dengan bentuk bidang patahan yang relatif serupa. Secara visual, penambahan silicone oil hingga 15 phr tidak menunjukkan perbedaan morfologi patahan yang signifikan dibandingkan RTV murni. Hal ini mengindikasikan bahwa perubahan sifat mekanik yang terukur pada

pengujian tarik lebih disebabkan oleh perbedaan struktur internal dan interaksi antar rantai polimer, bukan oleh perbedaan bentuk patahan makroskopis.



**Gambar 7.** Foto spesimen setelah dilakukan uji Tarik (a) 0 phr, (b) 5 phr, (c) 15 phr

### 3.2 Uji Sobek

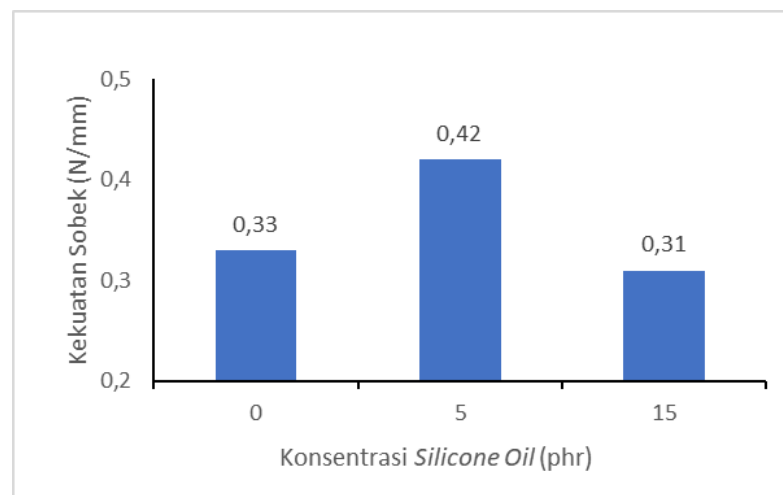
Tabel 6 dan Gambar 8 menunjukkan hasil pengujian ketahanan sobek (tear strength) pada material RTV dengan variasi konsentrasi silicone oil. Nilai rata-rata ketahanan sobek RTV murni tercatat sebesar 0,33 N/mm, sedangkan penambahan silicone oil sebesar 5 phr meningkatkan nilai tersebut menjadi 0,42 N/mm. Peningkatan ini menunjukkan bahwa silicone oil pada kadar rendah berperan dalam mendistribusikan energi sobek secara lebih merata, sehingga material menjadi lebih tahan terhadap propagasi retakan saat menerima gaya sobek berulang.

Namun, pada penambahan silicone oil sebesar 15 phr, ketahanan sobek menurun menjadi 0,31 N/mm, yang menunjukkan efek plastisasi berlebih. Pada kondisi ini, struktur polimer menjadi lebih lunak dan ikatan antar-rantai melemah, sehingga material mudah mengalami kegagalan ketika menerima beban tarik lokal dari penetrasi jarum.

Dengan demikian, formulasi dengan penambahan 5 phr silicone oil dapat dianggap sebagai komposisi optimum, karena selain meningkatkan kekuatan tarik dan perpanjangan putus, juga memberikan resistansi sobek terbaik. Kombinasi ketiga sifat mekanik tersebut menjadikan komposisi ini paling sesuai untuk aplikasi simulasi infus, karena mampu menahan penusukan jarum berulang sambil mempertahankan kelenturan dan sensasi realistis seperti kulit manusia.

**Tabel 6.** Data hasil pengujian kekuatan sobek

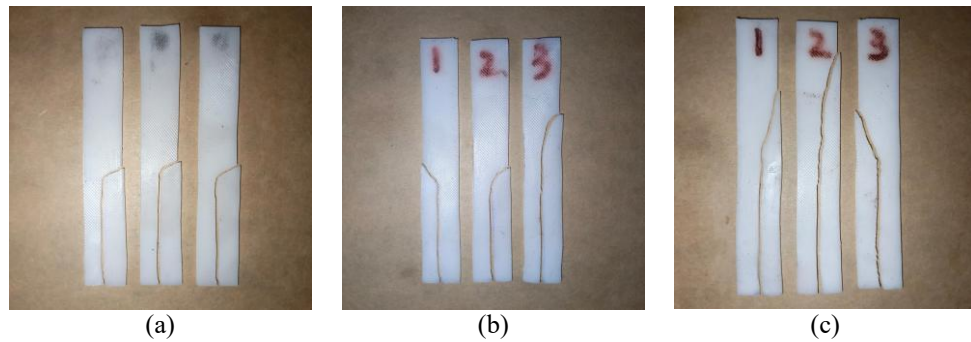
Komposisi Material	S 1	S 2	S 3	Rata-Rata Kekuatan Sobek (N/mm)
RTV 00 Murni	0,30	0,36	0,34	0,33
RTV 00 + SO 5 phr	0,37	0,42	0,47	0,42
RTV 00 + SO 15 phr	0,32	0,30	0,30	0,31



**Gambar 8.** Grafik perbandingan kekuatan sobek

Gambar 9 menunjukkan perbedaan pola sobekan pada spesimen dengan variasi formulasi material. RTV murni (a) menghasilkan jalur sobekan lurus dan cepat terpropagasi, menandakan rendahnya ketahanan sobek akibat keterbatasan interaksi antar rantai polimer. Penambahan *silicone oil* 5 phr (b) menghasilkan sobekan yang lebih terhambat dan sedikit berbelok, menunjukkan adanya peningkatan ketahanan sobek karena mobilitas rantai polimer yang lebih baik dan disipasi energi yang lebih efektif. Namun, pada konsentrasi *silicone oil* lebih tinggi (c), jalur sobek

kembali lurus dan panjang bahkan hingga memisahkan spesimen, mengindikasikan melemahnya ikatan antar molekul akibat kelebihan *oil*, sehingga ketahanan sobek menurun dibandingkan formulasi optimum 5 phr.



**Gambar 9.** Foto spesimen setelah dilakukan uji sobek (a) 0 phr, (b) 5 phr, (c) 15 phr

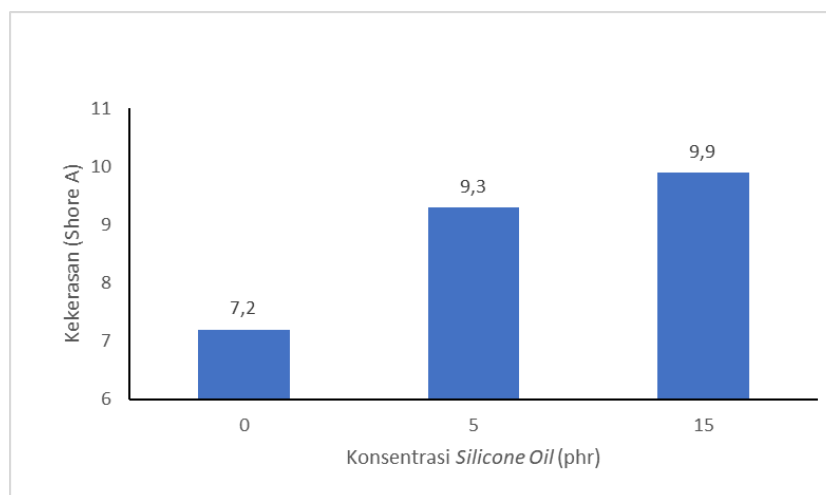
### 3.3 Uji Kekerasan

Tabel 7 dan Gambar 10 menunjukkan hasil pengujian kekerasan material menggunakan durometer Shore A berdasarkan standar ASTM D2240-15. Nilai kekerasan RTV murni (0 phr) tercatat sebesar 7,2 Shore A, sedangkan penambahan silicone oil sebesar 5 phr meningkatkan kekerasan menjadi 9,3 Shore A. Pada konsentrasi yang lebih tinggi, yaitu 15 phr, nilai kekerasan mencapai 9,9 Shore A.

Peningkatan ini menunjukkan bahwa silicone oil berkontribusi terhadap perubahan interaksi antar-rantai polimer, sehingga struktur material menjadi lebih padat dan tahan terhadap penetrasi indenter durometer. Namun, kenaikan nilai kekerasan yang relatif kecil antara 5 phr dan 15 phr mengindikasikan bahwa efek penguatan telah mencapai titik jenuh. Pada kondisi tersebut, tambahan silicone oil tidak lagi memberikan peningkatan kekerasan yang signifikan, kemungkinan akibat terbatasnya interaksi antar-molekul yang efektif di dalam matriks RTV. Secara keseluruhan, tren peningkatan kekerasan ini sejalan dengan hasil pengujian sifat mekanik lainnya, di mana silicone oil pada konsentrasi rendah memberikan penguatan optimal tanpa mengorbankan elastisitas material.

**Tabel 7.** Data hasil pengujian kekerasan

Komposisi Material	S 1	S 2	S 3	S 4	S 5	Rata-rata Kekerasan (Shore A)
RTV 00 Murni	7	7	7	7,5	7,5	7,2
RTV 00 100 + SO 5 Phr	9	9,5	9	9	10	9,3
RTV 00 100 + SO 15 Phr	10	9,5	10	10	10	9,9



**Gambar 10.** Grafik perbandingan uji kekerasan

## 4. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa RTV *silicone rubber* 00A dengan penambahan *silicone oil* 5 phr merupakan formulasi paling seimbang, karena mampu meningkatkan kekuatan tarik dari 0,42 menjadi 0,57 N/mm<sup>2</sup>, perpanjangan putus dari 199,27% menjadi 365,22%, kekuatan sobek dari 0,33 menjadi 0,42 N/mm, serta kekerasan dari 7,2 menjadi 9,3 Shore A dibandingkan RTV murni. Pada konsentrasi rendah, *silicone oil* memperbesar mobilitas rantai polimer sehingga material menjadi lebih elastis dan lentur dengan peningkatan kekerasan yang moderat. Sebaliknya, pada



konsentrasi tinggi (15 phr) terjadi efek plastisasi berlebih yang menurunkan kekuatan tarik menjadi 0,43 N/mm<sup>2</sup> dan kekuatan sobek menjadi 0,31 N/mm, meskipun kekerasan masih meningkat hingga 9,9 Shore A. Temuan ini menunjukkan bahwa formulasi RTV 00A + *silicone oil* 5 phr berpotensi digunakan sebagai material alternatif yang seimbang antara elastisitas dan ketahanan, sehingga cocok untuk aplikasi yang memerlukan fleksibilitas dan durabilitas tinggi seperti *injection training arm*.

#### Daftar Pustaka

- [1] J. Grosjean, F. Dufour, A. Benis, J. M. Januel, P. Staccini, and S. J. Darmoni, "Digital Health Education for the Future: The SaNuRN Consortium's Journey," *JMIR Med. Educ.*, vol. 10, 2024, doi: 10.2196/53997.
- [2] O. Hennon, E. McSharry, A. Simpkin, I. MacLaren, and P. J. Carr, "Effectiveness of structured self-evaluation of video recorded performance on peripheral intravenous catheter insertion: a randomised control trial study protocol," *Trials*, vol. 24, no. 1, pp. 1–8, 2023, doi: 10.1186/s13063-023-07200-8.
- [3] H. Gunardi *et al.*, "Immunization Simulation Using Actual-Size Infant Manikins for Medical Students in Indonesia: A Quasi-Experimental Study," *Simul. Healthc.*, vol. 19, no. 6, 2024, [Online]. Available: [https://journals.lww.com/simulationinhealthcare/fulltext/2024/12000/immunization\\_simulation\\_using\\_actual\\_size\\_infant.2.aspx](https://journals.lww.com/simulationinhealthcare/fulltext/2024/12000/immunization_simulation_using_actual_size_infant.2.aspx)
- [4] W. W. Njung'e and E. K. Kamolo, "Nurses' knowledge regarding intravenous fluid therapy at a County hospital in Kenya," *Int. J. Africa Nurs. Sci.*, vol. 14, p. 100305, 2021, doi: 10.1016/j.ijans.2021.100305.
- [5] Y. Shiekh, W. A. Haseeb, I. Feroz, F. A. Shaheen, T. A. Gojwari, and N. A. Choh, "Evaluation of various patient-, lesion-, and procedure-related factors on the occurrence of pneumothorax as a complication of CT-guided percutaneous transthoracic needle biopsy," *Polish J. Radiol.*, vol. 84, pp. e73–e79, 2019, doi: 10.5114/pjr.2019.82837.
- [6] S. K. Manggala, A. R. Tantri, and D. Satoto, "Comparison of successful spinal needle placement between crossed-leg sitting position and traditional sitting position in patients undergoing urology surgery," *Anesthesiol. Pain Med.*, vol. 6, no. 4, 2016, doi: 10.5812/aapm.39314.
- [7] B. Bonnet *et al.*, "In Vivo Safety and Feasibility of a CT-Guided Robotic Device for Percutaneous Needle Placement in Bone," *J. Vasc. Interv. Radiol.*, vol. 36, no. 5, pp. 877–883.e1, 2025, doi: 10.1016/j.jvir.2025.01.031.
- [8] M. Thyagarajan *et al.*, "Novel indigenous low cost (NICA) model for hands on training of surgical interns in incision and drainage procedure for superficial skin abscess," *BMC Med. Educ.*, vol. 24, no. 1, 2024, doi: 10.1186/s12909-024-06013-w.
- [9] P. S. Khatavkar, J. S. Dawane, V. A. Pandit, and S. P. Suryawanshi, "Assessing the Understanding and Perfection in Performing the Injection Techniques after Exposure to Mannequins," *Biomed. Pharmacol. J.*, vol. 15, no. 3, pp. 1407–1413, 2022, doi: 10.13005/bpj/2477.
- [10] V. Visuthipanich, N. Chaneiam, W. Duangdech, W. Pruktarat, N. Choomrit, and N. Kongprasert, "Development of the replacement skin of the IV arm simulator to meet customer requirements," *J. Achiev. Mater. Manuf. Eng.*, vol. 123, no. 1, pp. 17–24, 2024, doi: 10.5604/01.3001.0054.6096.
- [11] S. Munirama, R. Eisma, M. Columb, G. A. Corner, and G. A. McLeod, "Physical properties and functional alignment of soft-embalmed Thiel human cadaver when used as a simulator for ultrasound-guided regional anaesthesia," *Br. J. Anaesth.*, vol. 116, no. 5, pp. 699–707, 2016, doi: 10.1093/bja/aev548.
- [12] N. Haghshenas, A. Nejat, S. A. Seyedmehdi, J. Ou, A. Amirfazli, and S. F. Chini, "Adhesion Aspects of Silicone Rubber Coatings for High Voltage Insulators: A Critical Review," *Rev. Adhes. Adhes.*, vol. 9, no. 4, pp. 434–480, 2021, doi: 10.47750/RAA/9.4.04.
- [13] S. F. Khan, M. M. Baharudin, and L. Tajul, "Development of new formulation for soft material in paste extrusion-based 3D Printer," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 2643, no. 1, 2023, doi: 10.1088/1742-6596/2643/1/012006.
- [14] J. K. Wu, K. W. Zheng, X. C. Nie, H. R. Ge, Q. Y. Wang, and J. T. Xu, "Promoters for Improved Adhesion Strength between Addition-Cured Liquid Silicone Rubber and Low-Melting-Point Thermoplastic Polyurethanes," *Materials (Basel)*, vol. 15, no. 3, 2022, doi: 10.3390/ma15030991.
- [15] S. Azam, V. Kumar, and S.-S. Park, "Novel fillers for wearable technology: Impact of titanium carbide and thinners on room temperature vulcanized silicone rubber composites," *Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp.*, vol. 703, p. 135308, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2024.135308>.
- [16] F. Sun and L. Hong, "Effect of expandable graphite on the properties of RTV silicone rubber," vol. 74, pp. 376–379, Apr. 2011.
- [17] Q. Li, X. Huang, H. Liu, S. Shang, Z. Song, and J. Song, "Properties Enhancement of Room Temperature Vulcanized Silicone Rubber by Rosin Modified Aminopropyltriethoxysilane as a Crosslinking Agent," *ACS Sustain. Chem. Eng.*, vol. 5, Sep. 2017, doi: 10.1021/acssuschemeng.7b01943.
- [18] X. Yang *et al.*, "Performance improvement of rosin-based room temperature vulcanized silicone rubber using nanofiller fumed silica," *Polym. Degrad. Stab.*, vol. 183, p. 109422, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2020.109422>.

- [19] K. Julthongpipat, C. Dumavibhat, K. Towashiraporn, and P. Patpituck, "Development of Simulation Model for Transradial Catheterization Practice for Physicians," *Siriraj Med. J.*, vol. 74, no. 9, pp. 570–574, 2022, doi: 10.33192/Smj.2022.68.
- [20] S. Carson, J. Schmader, and G. Smith, "Investigating the effects of modifiers on the mechanical properties of injection molded liquid silicone rubbers," *Annu. Tech. Conf. - ANTEC, Conf. Proc.*, vol. 2, pp. 1619–1626, Jan. 2011.
- [21] M. Masłowski and M. Zaborski, "Wpływ procesów starzenia termo- i fotooksydacyjnego na właściwości mechaniczne magnetoreologicznych kompozytów elastomerowych," *Polimery/Polymers*, vol. 60, no. 4, pp. 264–271, 2015, doi: 10.14314/polimery.2015.264.
- [22] R. Han, Y. Li, Q. Zhu, and K. Niu, "Research on the preparation and thermal stability of silicone rubber composites: A review," *Compos. Part C Open Access*, vol. 8, no. March, p. 100249, 2022, doi: 10.1016/j.jcomc.2022.100249.
- [23] M. Khafidh, D. Suryawan, L. Kistriyani, M. Naufal, and R. Ismail, "Friction Optimization of Talc Powder-Reinforced Elastomers for Prosthetic Foot Application," pp. 88–99, 2023.
- [24] L. Kistriyani, M. Khafidh, D. Suryawan, M. Naufal, and R. Ismail, "Materials Today : Proceedings Talc modification with bis [ 3- ( triethoxysilyl ) propyl ] tetrasulfide ( TESPT ) - based coating to improve the mechanical characteristics of silicone rubber," *Mater. Today Proc.*, no. xxxx, pp. 3–7, 2023, doi: 10.1016/j.matpr.2023.05.372.
- [25] W. A. Pangestu, H. Prawibowo, R. Ismail, and M. A. Wahid, "Sifat Mekanik Silicone Rubber Sebagai Kandidat Bahan Pengganti Alat Latihan Suturing," vol. 04, no. 01, pp. 15–24, 2024.
- [26] M. Imiela, D. M. Bieliński, M. Lipińska, and P. Rybiński, "Effect of Silicone Oil on Properties and Performance of Ceramizable Styrene-Butadiene Rubber-Based Composites," *Polymers (Basel)*, vol. 15, no. 15, pp. 1–12, 2023, doi: 10.3390/polym15153204.
- [27] ISO 37, "Rubber, vulcanized or thermoplastic — Determination of tensile stress-strain properties," ISO, Geneva, May 2024. [Online]. Available: file:///mnt/data/ISO-37-2024.pdf
- [28] ISO 34-1, "Rubber, vulcanized or thermoplastic — Determination of tear strength — Part 1: Trouser, angle and crescent test pieces," ISO, Geneva, Jun. 2022. [Online]. Available: file:///mnt/data/ISO-34-1-2022.pdf