

Sifat Mekanik *Silicone Rubber* Sebagai Kandidat Bahan Pengganti Alat Latihan *Suturing*

Wahyu Adi Pangestu¹, Hartanto Prawibowo², Rifky Ismail², Muhammad Abdul Wahid¹, Helmy Purwanto¹, Muhammad Dzulfikar^{1,*}

¹Program Studi Teknik Mesin Universitas Wahid Hasyim Semarang, Indonesia
Jl. Raya Gunungpati KM.15, Nongkosawit, Gunungpati, Kota Semarang, Jawa Tengah 50224

²Center for Bio-Mechanics Bio-Material Bio-Mechatronics and Bio-Signal Processing (CBIOM3S), Universitas Diponegoro, Semarang 50275, Indonesia

*e-mail : dzulfikar@unwahas.ac.id

Received 6 Juni 2024 | Revised 28 Juli 2024 | Accepted 19 Agustus 2024

ABSTRAK

Kulit manusia memiliki sifat *viskoelastik*, artinya kulit dapat memanjang ketika ditarik, dan kembali ke posisi semula ketika tarikan dilepas, sifat ini sama dengan sifat elastisitas karet. Karet terus berkembang dan meningkat seiring meningkatnya pertumbuhan kebutuhan alat medis. Karet silikon sebagai kandidat bahan alat latihan *suturing*/menjahit luka, dengan bahan karet silikon dipilih dari jenis *silicone rubber RTV (Room Temperatur Vulcanizing) RTV-48* dan *RTV-52*. Sifat mekanik dari *silicone rubber* dari kekuatan tarik, perpanjangan putus menggunakan standar ISO 37 dan kuat sobek menggunakan standar ISO 34-1, sifat mekanik *silicone rubber* akan diuji menggunakan Mesin *UTM / (Universal Testing Machine)*. Tujuan dari penelitian untuk mengetahui kelayakan karet silikon jenis *RTV-48*, dan *RTV-52* dengan campuran katalis untuk digunakan sebagai kandidat bahan alat latihan menjahit luka. Dari hasil pengujian yang didapatkan pada *RTV 48* campuran *silicone rubber* 150 ml dan 15 ml katalis mempunyai kekuatan tarik yang tertinggi di angka 1,89 N/mm², dan pengujian perpanjangan putus *RTV 48* campuran *silicone rubber* 150 ml dan 10 ml katalis mempunyai yang tertinggi di angka 194%, untuk kuat sobek nilai tertinggi didapatkan pada *RTV 48* campuran *silicone rubber* 150 ml dan 10 ml katalis di angka 1,44 N/mm², sedangkan *RTV 48* campuran *silicone rubber* 150 ml dan 10 katalis menghasilkan modulus elastisitas 1,8 MPa dan 0,6 % regangan.

Kata kunci: *silicone rubber*, uji tarik, kuat sobek

ABSTRACT

Human skin have viscoelastic properties, which means that the skin can stretch when pulled, and will return to its original position when released, this property is similar to the properties of rubber. Rubber continues to develop and improve as the need for medical equipment, etc. increases. On this occasion, silicone rubber as a candidate material for suturing/stitching training tools using silicone rubber type *RTV (Room Temperature Vulcanizing) RTV-48* and *RTV-52*. The mechanical properties of silicone rubber from tensile strength, elongation at break using the ISO 37 standard and tear strength using the ISO 34-1 standard, the mechanical properties of silicone rubber will be tested using a *UTM Machine / (Universal Testing Machine)*. The aim of this research is to proper test and determine the tensile strength, elongation at break, tear strength and elastic modulus of silicone rubber *RTV-48* and *RTV-52*

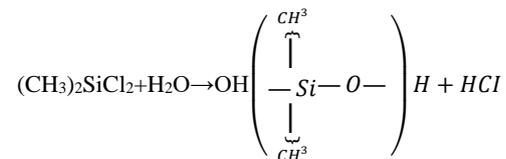
with different catalyst mixtures. From the test results obtained, the RTV 48 mixture of 150 ml silicone rubber and 15 ml catalyst had the highest tensile strength at 1.884 N/mm², and the elongation at break test of RTV 48 mixture of 150 ml silicone rubber and 10 ml catalyst had the highest number 194. %, for tear strength the highest value was obtained for RTV 48, a mixture of 150 ml silicone rubber and 10 ml catalyst at 1.435 N/mm², while RTV 48, a mixture of 150 ml silicone rubber and 10 catalysts, produced an elastic modulus of 1.8 MPa and 0.6%. strain.

Key words: *silicone rubber, tensile test, tear strength*

1. Pendahuluan

Karet untuk alat kesehatan adalah jenis karet yang dirancang dan di proses khusus untuk memenuhi standar kesehatan dan keamanan tertentu, seperti yang ditetapkan oleh badan regulasi seperti FDA (*Food and Drug Administration*) di Amerika Serikat atau lembaga setara dinegara lainnya. Hal ini bertujuan untuk memastikan bahwa karet tersebut aman dan sesuai untuk digunakan dalam lingkungan medis yang sensitif.

Karet silikon adalah *elastomer* (bahan mirip karet) yang tahan lama & sangat tahan. Ini terdiri dari silikon (polimer) yang mengandung silikon bersama dengan molekul lain. Molekul-molekul ini termasuk karbon, hidrogen, dan oksigen. Strukturnya selalu terdiri dari ulang punggung siloksan (rantai silikon-oksigen), dan bagian organik terikat pada silikon. Oleh karena itu, keistimewaan karet silikon berasal dari struktur molekulnya yang unik. Struktur ini membawa gugus anorganik dan organik [1].



Gambar 1. Gugus kimia rantai penyusun karet silikon.

Karet silikon memiliki gugus polisiloksan (ikatan Si dan O). *Silicone* elastomer adalah elastomer yang berbasis *high-molecular-weight linear polymers, poli* (dimetilsiloksan) (PDMS) dengan rantai utama silikon oksida Si-O dan dua gugus metil pada setiap silikon. Energi ikatan Si-O sebesar 106.0 kcal/mol, lebih besar daripada ikatan C-C sebesar 84,9 kcal/mol. Dampak dari nilai energi ikatan ini yaitu memberikan material tingkat ketahanan yang tinggi terhadap beban, kondisi panas, kelembapan serta efek cuaca dan lingkungan luar. Karet silikon berjenis RTV atau karet dari hasil vulkanisasi pada suhu ruang memiliki daya tahan lama dan mudah dibentuk [2].

Universal Testing Machine (UTM) adalah alat uji yang berfungsi untuk melakukan tegangan tarik dan kekuatan tekan pada suatu bahan atau material. *Universal Testing Machine*, mesin pengujian ini telah terbukti dapat melakukan kerja sesuai standar tes tarik dan tes kompresi pada bahan, komponen, dan elemen struktur. Selain itu, UTM juga dapat melakukan uji tekuk dengan dudukan atau *jig* yang bervariasi dan bisa diganti-ganti [3].

Pengujian kekuatan tarik diperlukan untuk memahami sifat mekanik bahan seperti kekuatan tarik, kekuatan luluh, keuletan dan regangan. Sifat mekanik bahan hasil uji tarik dapat digambarkan dalam bentuk grafik tegangan - regangan. Grafik dan dimensi tersebut memberi informasi dan nilai dari *tensile strength*, *yield strength*, pertambahan panjang, reduksi penampang, nilai regangan eksponensial (n) dan dapat diolah menjadi modulus elastisitas dan berbagai karakteristik mekanik bahan lainnya. Prinsip uji tarik yaitu penarikan spesimen dengan cara memberi gaya uniaxial (satu sumbu) hingga spesimen atau bahan mengalami deformasi atau bertambah panjang dan berkurang dimensi penampang, sampai spesimen putus. Peningkatan nilai gaya dan panjang spesimen dapat diamati dalam bentuk tabulasi data dan visualisasi grafik. Hasil luaran grafik plot data berisi nilai gaya dan pertambahan panjang disebut kurva tegangan regangan material [4].

Perpanjangan putus adalah pertambahan panjang dari spesimen uji bila ditarik sampai putus, nilainya dinyatakan dalam tingkat % dari panjang mula-mula. Pengujian perpanjangan putus (*elongation at break*) memiliki tujuan untuk memahami sifat-sifat dari karet vulkanisat dan termoplastik baik nilai tegangan luluh, tegangan maksimum, tegangan putus dan tingkat peregangannya. Perpanjangan putus setara dengan ukuran memanjangnya atau meregangnya bahan sebelum putus. Bahan yang digunakan dalam aplikasi manufaktur atau konstruksi dan

kesehatan yang memerlukan keuletan dan fleksibilitas, merupakan sifat mekanik yang penting. Rumus perpanjangan secara aneh adalah: Perpanjangan Putus = $(\text{Panjang Akhir} - \text{Panjang Asli}) / \text{Panjang Asli} \times 100 \%$ [5].

Pengujian kekuatan sobek dari material untuk menahan gaya sobek, pada prinsipnya pengujian yang dilakukan hampir sama dengan pengujian tarik akan tetapi penerapan gaya yang dilakukan berbeda. Pada pengujian tarik kedua ujung specimen di tarik saling menjauh dengan arah gaya sejajar dengan material. Sedangkan pada pengujian sobek, gaya yang diberikan saling tegak lurus dengan material kekuatan sobek, proses mekanika patahan dimulai dan bergeser pada spesimen uji dengan konsentrasi tegangan tinggi. Kemudian terjadi perubahan bentuk dan dimensi atau dikenal dalam istilah deformasi yang berdampak pada terbentuknya potongan dan sobekan. Kekuatan atau ketahanan sobek diukur dari kekuatan tarik spesimen karet hingga terjadi robekan dengan kondisi yang terkendali dan diatur sesuai standar uji [5].

Analisis karet silikon sebagai kandidat bahan alat latihan *suturing*/menjahit luka, perlunya alat peraga untuk memudahkan tenaga medis/mahasiswa kesehatan dalam melakukan proses tindakan luka, dengan harapan mengurangi resiko cedera yang dapat terjadi bila tenaga medis/mahasiswa praktik kesehatan kurang teliti dan kurang hati-hati. Kulit manusia bisa dimodelkan memiliki sifat viskoelastik, dimana kulit dapat memanjang karena tarikan (elastis), dan akan kembali ke ukuran semula ketika tegangan tarik dilepaskan. Sifat ini seperti sifat alami karet. Sifat mekanik karet silikon diharapkan bisa mendekati elastisitas kulit asli. Sehingga, spesimen bahan karet silikon untuk bahan praktik jahit akan memberi pengalaman setara dalam melakukan tindakan menjahit luka. *Silicone rubber RTV (Room Temperatur Vulcanizing)* rtv-48 dan rtv-52 dengan campuran katalis yang berbeda menjadi bahan penelitian. sifat mekanik dari *silicone rubber rtv* mulai dari kuat tarik, perpanjangan putus & kuat sobek, akan uji menggunakan Mesin UTM/(*Universal Testing Machine*). Adapun tujuan penelitian ini mempunyai beberapa aspek yang meliputi: Mengetahui kekuatan tarik tarik, perpanjangan putus, dan kuat sobek *silicone rubber* RTV-48, dan RTV-52. Menentukan jenis *silicone rubber* yang akan digunakan sebagai kandidat bahan pembuatan alat peraga *suturing*.

2. Metodologi

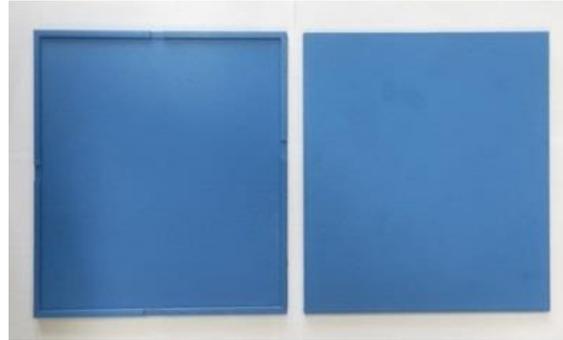
Bahan spesimen uji yaitu *silicone rubber* RTV 48, RTV 52 dan katalis dengan foto bahan dan komposisi campuran terlihat pada tabel 1 dan 2. Cetakan dalam pembentukan spesimen berupa cetakan negatif dengan dimensi panjang x lebar x tebal sebesar 20 cm x 20 cm x 2 mm. Proses pencetakan ditunjukkan pada rangkaian Gambar 2, 3, dan 4.

Tabel 1. Karakteristik rtv 48 dan rtv 52 dan katalis

RTV 48 ✓ Memiliki warna putih gelap		RTV 52 ✓ Memiliki warna putih cenderung cerah		Katalis RTV/SC ✓ Katalis homogen sebagai pengering	
--	---	--	--	---	---

Tabel 2. Perbandingan volume *silicone rubber* dan katalis

<i>Silicone rubber</i>		Katalis
RTV 48	99 %	1 %
RTV 48	98,5 %	1,5 %
RTV 52	99 %	1 %
RTV 52	98,5 %	1,5 %



Gambar 2. Cetakan spesimen



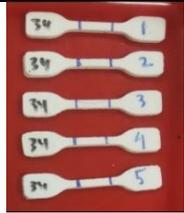
Gambar 3. Proses pengecoran



Gambar 4. Hasil pengecoran

Standar pengujian kekuatan tarik untuk memberi data informasi terkait sifat tegangan dan perpanjangan putus material karet, vulkanisat dan/atau termoplastik menggunakan ISO 37. Sedangkan uji kuat sobek menggunakan standar pengujian ISO 34-1. Diagram dimensi dan bentuk kedua standar uji tersebut dapat dilihat pada tabel 3 dan 4 berikut ini.

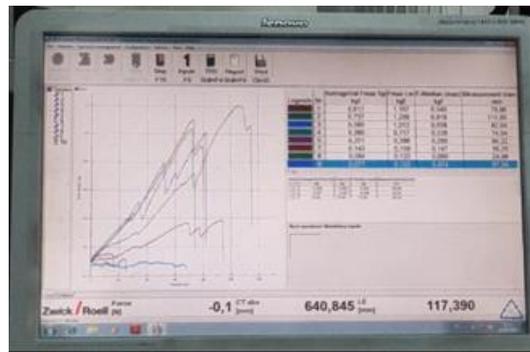
Tabel 3. Standar ukuran dan bentuk spesimen uji tarik [6]

Standar Ukuran	Bentuk
Panjang 75 mm	
Lebar 18 mm	
Tebal 2 mm	
Margin 20 mm	

Tabel 4. Standar ukuran dan bentuk spesimen kuat sobek [7]

Standar Ukuran	Bentuk
Panjang 100 mm	
Lebar 15 mm	
Tebal 2 mm	
Sobekan awal 40 mm	

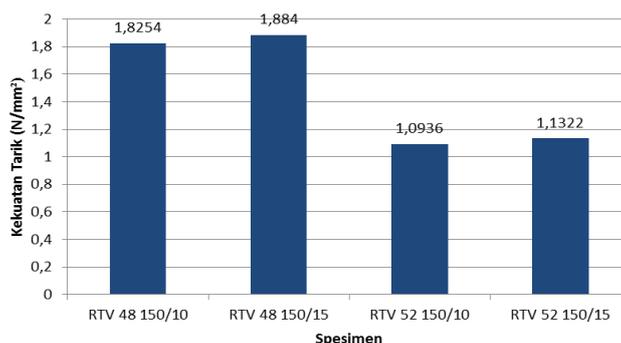
Pengujian tarik (*tensile test*) menggunakan mesin UTM (*Universal Testing Machine*), perpanjangan putus dan kuat sobek dari sebuah sampel material karet silikon ditarik secara perlahan sampai sampel tersebut putus/sobek. Selama uji kekuatan tarik, perpanjangan putus dan kuat sobek UTM merekam dan memonitor gaya yang diterapkan pada sampel serta perubahan panjang atau perpanjangan sampel dan kuat sobek terhadap waktu atau peningkatan gaya.



Gambar 5. Grafik *monitoring* mesin UTM pada saat pengujian

3. Hasil dan Pembahasan

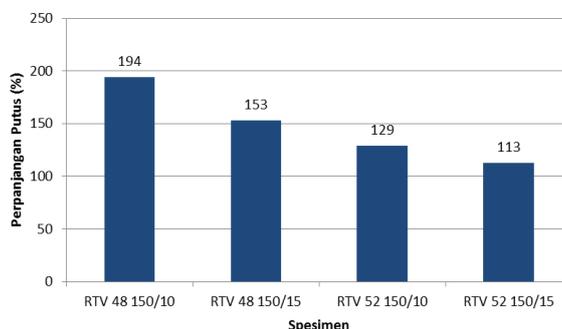
Kekuatan Tarik (N/mm^2) adalah besar beban atau tegangan tarik per satuan luas penampang, dengan satuan N untuk setiap mm^2 . Tujuan uji tarik dengan meregangkan spesimen uji karet kompon sampai putus, yaitu memberi data informasi tingkat kekuatan dan keuletan bahan baik dalam kondisi elastis maupun plastis. Selain daripada itu uji kekuatan tarik dapat menjadi acuan pengembangan untuk menentukan waktu vulkanisasi optimum suatu kompon karet dan pengaruh katalis terhadap vulkanisasi karet kompon. Hasil pengujian kekuatan tarik kompon karet dengan menggunakan campuran katalis yang berbeda diperlihatkan pada grafik di bawah ini.



Gambar 6. Nilai uji kekuatan tarik karet *silicone*.

Dari hasil grafik diatas didapatkan dari keempat spesimen pengujian, kekuatan tarik lebih besar pada RTV 48 dengan perbandingan campuran 150 ml *silicone rubber* dan 15 ml katalis dengan angka 1,884 N/mm². Terlihat juga pada grafik diatas RTV 52 dengan perbandingan campuran 150 mili *silicone rubber* dan 15 mili katalis mendapatkan nilai tinggi di angka 1,1322 N/mm². Dapat disimpulkan dari keempat pengujian campuran katalis sangat mempengaruhi kekuatan tarik.

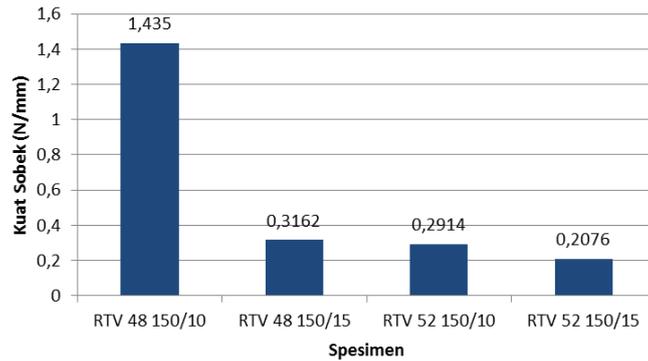
Perpanjangan Putus (%) adalah tingkat penambahan panjang suatu spesimen uji berbahan karet bila ditarik meregang sampai putus. Besar perpanjangan dinyatakan dengan % dari nilai panjang spesimen uji mula-mula. Uji perpanjangan putus (*elongation at break*) memiliki tujuan untuk mengetahui sifat tegangan dan regangan dari karet vulkanisat dan thermoplastik. Selain itu juga memberikan nilai titik luluh (*yield point*) saat karet vulkanisat silikon ditarik sampai perpanjangan tertentu dan masuk ke wilayah plastis. Hasil pengujian perpanjangan putus kompon karet dengan menggunakan campuran katalis ditunjukkan pada grafik di bawah ini.



Gambar 7. Nilai perpanjangan putus *silicone rubber*.

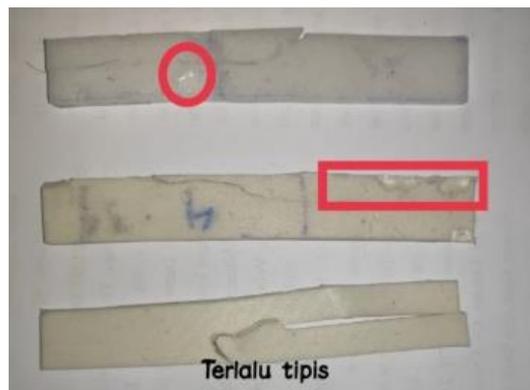
Dari hasil grafik diatas didapatkan dari keempat spesimen pengujian, perpanjangan putus lebih besar pada RTV 48 dengan perbandingan campuran 150 ml *silicone rubber* dan 10 mili katalis dengan angka 194 %. Terlihat juga pada grafik diatas RTV 52 dengan perbandingan campuran 150 ml *silicone rubber* dan 10 ml katalis mendapatkan nilai tinggi di angka 129 %. Tingkat perpanjangan *silicone rubber* yang semakin besar memperlihatkan presentase campuran katalis berdampak pada keelastisan *silicone rubber*.

Kuat Sobek (N/mm) untuk mengukur seberapa kuat atau tahan sebuah bahan karet terhadap retakan atau sobekan. Ini merupakan parameter penting dalam mengevaluasi kualitas dan keandalan karet, terutama dalam aplikasi di mana kekuatan sobekan adalah faktor penting, seperti dalam kebutuhan rumah sakit, dan peralatan rumah medis. Kuat sobek setara dengan besarnya tenaga untuk menarik vulkanisat *silicone rubber* sampai putus. Sehingga, semakin besar nilai ketahanan sobek maka semakin besar tenaga diperlukan untuk menarik hingga putus spesimen *silicone rubber*. Pengujian ketahanan sobek untuk kompon karet dengan campuran katalis ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



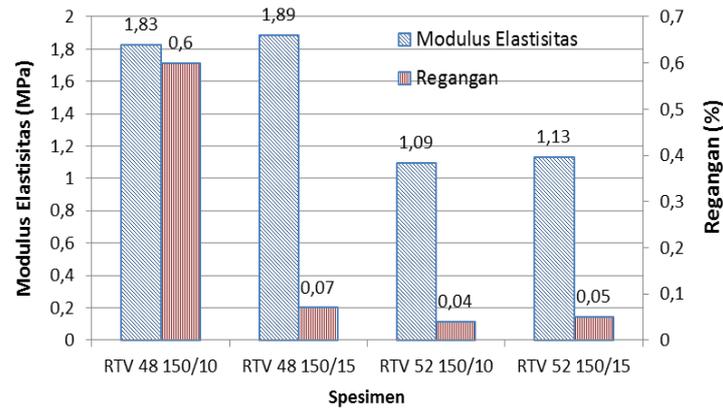
Gambar 8. Nilai kuat sobek terhadap bahan karet silikon.

Uji kekuatan sobek memberikan hasil secara berturut-turut sebesar 1,4 N/mm untuk rtv 48 150/10; 0,32 N/mm untuk rtv 48 150/15; 0,29 N/mm untuk rtv 52 150/10; dan 0,21 N/mm untuk spesimen rtv 52 10/15. *Silicone rubber* rtv 48 150/10 memiliki nilai kekuatan sobek yang paling tinggi jika dibandingkan dengan ke 3 spesimen lainnya. Hal ini diduga karena perbedaan pada 3 spesimen yang terjadi bubbling/ cacat pada saat pengecoran, hal ini sering terjadi ketika pada pencetakan material *silicone rubber*. Bubbling disebut juga udara yang terperangkap didalam cetakan saat pengecoran *silicone rubber* berlangsung dan ketika kering pada spesimen akan berbentuk lubang cacat/gelembung didalam material seperti gambar dibawah ini.



Gambar 9. Spesimen cacat

Modulus Elastisitas, Mengutip dari jurnal penelitian tentang studi modulus elastisitas kulit manusia oleh khafid [8] karakteristik sifat modulus elastisitas dari hasil semua pengujian kulit memiliki tren yang sama kriteria dengan sifat modulus elastisitas sebesar 23,79 MPa dan regangan 0,12 %. Pada perhitungan *silicone rubber* RTV 48 150/10 menghasilkan modulus elastisitas 1,8 MPa dan 0,6 % regangan, RTV 48 150/15 menghasilkan modulus elastisitas 1,8 MPa dan 0,07 % regangan, RTV 52 150/10 menghasilkan modulus elastisitas 1,1 MPa dan 0,04 % regangan, RTV 52 150/10 menghasilkan modulus elastisitas 1,8 MPa dan 0,05 % regangan. Nilai modulus yang dihasilkan masih masuk dalam kriteria hasil penelitian terdahulu [9] [10], [11]. Tingkat elastisitas sebesar 1 hingga 2 MPa dari karet silikon RTV 52 dan RTV 48 layak untuk digunakan menjadi bahan pengganti kulit sebagai alat latihan suturing. Dengan hasil terbaik diperoleh dari kombinasi silikon dan katalis RTV 48 150/10.



Gambar 10. Modulus elastistas *silicone rubber*

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian pada *silicone rubber* dengan variable kekuatan tarik, perpanjangan putus, dan kuat sobek dapat di simpulkan bahwa:

1. Nilai kekuatan tarik tertinggi terdapat pada *silicone rubber* rtv 48 150/15 dengan angka 1,884 N/mm², dan nilai perpanjangan putus paling tinggi sebesar 194 % pada *silicone rubber* rtv 48 150/10, nilai tertinggi pada kuat sobek didapatkan *silicone rubber* rtv 48 150/10 dengan nilai 1,435 N/mm, sedangkan RTV 48 150/10 menghasilkan modulus elastistas dengan nilai tertinggi 1,8 Mpa dan 0,6 % regangan.
2. Dari pengujian *silicone rubber* rtv 48 dan 52, nilai pengujian dari kekuatan tarik, perpanjangan putus, kuat sobek, dan modulus elastisitas tidak memenuhi kriteria sifat mekanik kulit yang asli, dapat disimpulkan rtv 48 dan rtv 52 dengan campuran katalis 10 ml dan 15 ml tidak dapat digunakan sebagai kandidat bahan pembuatan alat peraga *suturing*.

5. Daftar Pustaka

- [1] S. C. Shit and P. Shah, "A review on silicone rubber," *Natl. Acad. Sci. Lett.*, vol. 36, no. 4, pp. 355–365, 2013, doi: 10.1007/s40009-013-0150-2.
- [2] A. Ansar *et al.*, "Pengukuran Koefisien Atenuasi Fantom Berbasis Silicone Rubber RTV 48," *Wahana Fis.*, vol. 7, no. 1, pp. 2022–2065, 2022, [Online]. Available: <http://ejournal.upi.edu/index.php/wafie-ISSN:2594-1989https://doi.org/10.17509/wafi.v7i1.4121943%7C>
- [3] I. Risnasari *et al.*, *Alat Universal Testing Machine (UTM) dan Pengoperasiannya*, no. November 2022. 2021.
- [4] Y. B. Pratiknyo, "Metode Pengukuran Tegangan Dan Regangan Menggunakan Cad/Cam/Cae Software; Study Komparasi Dengan Universal Testing Machine," *Semin. Nas. Otomasi Ii*, 2005.
- [5] Q. Sand and S. Using, "CHARACTERIZATION OF THE RUBBER COMPOUND WITH EXTRACT OF CAESALPINIA SAPPAN WOOD, QUARTZ SAND AND SHELL USING," vol. 25, no. 3, pp. 227–238, 2015.
- [6] I. Standard, "INTERNATIONAL STANDARD tensile stress-strain properties iTeh STANDARD PREVIEW iTeh STANDARD PREVIEW," vol. 2017, 2017.
- [7] S. ISO, "INTERNATIONAL STANDARD tear strength — iTeh STANDARD iTeh STANDARD PREVIEW," vol. 2015, 2015.

- [8] M. Khafidh, A. Firdaus, and I. A. Velayati, “Analisis Sifat Mekanik Karet Silikon sebagai Kandidat Prepusium Sintetik pada Alat Peraga Khitan,” *J. Rekayasa Mesin*, vol. 15, no. 3, p. 176, 2020, doi: 10.32497/jrm.v15i3.1977.
- [9] R. Murniati, “Nanokomposit Karet Alam/Silikon Sebagai Otot Sintetik Dengan Sifat Mekanik Seperti Otot Manusia,” *J. Ilmu Fis. / Univ. Andalas*, vol. 10, no. 1, pp. 38–45, 2019, doi: 10.25077/jif.10.1.38-45.2018.
- [10] K. A and L. A, “Mechanical Behaviour of Skin: A Review,” *J. Mater. Sci. Eng.*, vol. 5, no. 4, 2016, doi: 10.4172/2169-0022.1000254.
- [11] H. Joodaki and M. B. Panzer, “Skin mechanical properties and modeling: A review,” *Proc. Inst. Mech. Eng. Part H J. Eng. Med.*, vol. 232, no. 4, pp. 323–343, 2018, doi: 10.1177/0954411918759801.