

Optimasi Multi Faktor pada Formula Karet Alam terhadap Gesekan Material Elastomer Karet Alam untuk Aplikasi Telapak Kaki Prostesis

Muhammad Khafidh^{1*}, Afi Muhammad Irfan¹, Donny Suryawan¹, Lilis Kistriyani², Rifky Ismail^{3,4}

¹Program Studi Teknik Mesin, Universitas Islam Indonesia,
Jl. Kaliurang KM. 14,5, Sleman, Yogyakarta, Indonesia 55584

²Program Studi Teknik Kimia, Universitas Islam Indonesia,
Jl. Kaliurang KM. 14,5, Sleman, Yogyakarta, Indonesia 55584

³Departemen Teknik Mesin, Universitas Diponegoro,
Jl. Prof. Jacub Rais, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah, Indonesia 50275

⁴Center for Biomechanics, Biomaterials, Biomechatronics, and Biosignal processing (CBIOM3S)
Universitas Diponegoro,

Jl. Prof. Jacub Rais, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah, Indonesia 50275

Abstrak

Indonesia merupakan negara penghasil karet alam terbesar ke-2 di dunia. Berbagai produk dapat dibuat dengan bahan dasar karet alam, salah satu aplikasi produk yang dapat diproduksi dari karet alam adalah telapak kaki prostesis. Salah satu kriteria penting pada telapak kaki prostesis adalah nilai gaya gesek besar agar produk tidak licin saat digunakan. Penelitian ini mempelajari optimasi formula karet alam untuk mendapatkan nilai gaya gesek terbesar. Tribometer pin-on-disk digunakan untuk mendapatkan nilai gaya gesek. Metode optimasi yang digunakan adalah Metode Taguchi Orthogonal Array L9, sedangkan kontribusi setiap kontrol faktor terhadap kenaikan nilai gaya gesek dilakukan menggunakan analisis ANOVA. Faktor kontrol yang digunakan pada penelitian ini berjumlah empat, yaitu jenis natural rubber, persentase silica powder, persentase sulfur, dan temperatur vulkanisasi. Masing-masing faktor kontrol mempunyai tiga level yang berbeda. Hasil pengujian menunjukkan bahwa formulasi optimum untuk mendapatkan nilai gaya gesek tertinggi adalah jenis campuran natural rubber/lateks pekat dan natural rubber/lateks instan, pengisi silica powder 30 phr, sulfur 5 phr, dan temperatur vulkanisasi 150°C. Peningkatan gaya gesek yang dihasilkan oleh formulasi optimum tersebut adalah 33% dibandingkan dengan formulasi baseline. Analisis ANOVA menunjukkan bahwa faktor temperatur vulkanisasi menjadi faktor yang terpenting dalam meningkatkan nilai gaya gesek dengan persentase kontribusi sebesar 62,58%.

Kata kunci: telapak kaki palsu; karet alam; silica powder; Metode Taguchi; gaya gesek

Abstract

[Title: Multi-Factor Optimization of Natural Rubber Formula for Friction of Natural Rubber Elastomer Material for Prosthesis Sole Applications] Indonesia is the world's second-largest producer of natural rubber. Various products can be made of natural rubber. One of them is a foot prosthesis. An essential criterion for foot prosthesis is a significant value of friction force to prevent slip during usage. The present study optimizes natural rubber formulation to obtain the largest friction force value. A pin-on-disk tribometer is used to obtain friction force values. The optimization method used in the present study is Taguchi Method Orthogonal Array L9, while the contribution of each control factor to increase friction is carried out using ANOVA analysis. Four control factors are used in this study: the type of natural rubber, the percentage of silica powder, the percentage of sulfur, and the vulcanization temperature. Each control factor has three different levels. The test results showed that the optimum formulation to obtain the highest friction value is a mixture of concentrated natural rubber and instant natural rubber, 30 phr of silica powder, 5 phr of sulfur, and 150°C of vulcanization temperature. The friction force of the optimum formulation increases by 33% compared to the baseline formulation. ANOVA analysis shows that

*) Penulis Korespondensi.

E-mail: khafidh@uii.ac.id

the vulcanization temperature is the most crucial factor in increasing the friction force, contributing 62.58%.

Keywords: *foot prosthesis; natural rubber; silica powder; Taguchi Method; friction*

1. Pendahuluan

Disabilitas merupakan ketidakmampuan melakukan aktivitas atau kegiatan tertentu sebagaimana layaknya orang normal. Data Kementerian Sosial menunjukkan bahwa jumlah penyandang disabilitas di Indonesia sebanyak 212.208 jiwa. Jumlah terbanyak penyandang disabilitas ditemukan di Provinsi Jawa Barat, Jawa Tengah, dan Jawa Timur. Menurut kategori disabilitas, jumlah tertinggi penyandang disabilitas, berupa penyandang disabilitas daksa (fisik), dengan jumlah sebanyak 65.544 jiwa (Kementerian Sosial, 2021).

Disabilitas daksa bisa disebabkan oleh patologi tertentu maupun kecelakaan. Di Indonesia sendiri jumlah kecelakaan meningkat setiap tahun. Data Badan Pusat Statistik tahun 2017 mencatat sebanyak 104.327 jiwa mengalami kecelakaan, tahun 2018 sebanyak 109.215 jiwa, dan di tahun 2019 meningkat menjadi 116.411 jiwa.

Disabilitas daksa juga meliputi individu yang kehilangan anggota tubuh baik bawaan sejak lahir maupun karena diamputasi. Hilangnya fungsi anggota tubuh khususnya pada alat gerak bawah seringkali menyebabkan seseorang kesulitan melakukan kegiatan berjalan (Suryawan, Ridwan, & Setiadi, 2019).

Kaki prosthesis merupakan salah satu solusi yang dapat digunakan sebagai pengganti kaki. Kaki prosthesis secara umum dapat dibedakan menjadi tiga bagian, yaitu *socket*, *pylon*, dan telapak kaki. Bagian telapak kaki adalah bagian yang sangat vital untuk menentukan kenyamanan dan umur pakai kaki prosthesis. Dari segi kenyamanan pengguna, desain telapak kaki prosthesis berpengaruh besar terhadap kesetimbangan kaki prosthesis (Fauziah & Sriwarno, 2014). Selain itu, desain mekanika telapak kaki yang optimal akan membuat nyaman pemakaian kaki prosthesis (Williams, Hansen, & Gard, 2009). Dari segi umur pakai produk, material telapak kaki prosthesis memiliki peran yang penting untuk memperpanjang umur pakai dan membuat tampilan telapak kaki prosthesis menyerupai kaki asli (Hadi, Olewi, & Engineering, 2015). Telapak kaki yang mudah aus akan menyebabkan umur pakai yang semakin pendek. Oleh karena itu, material telapak kaki prosthesis harus mempunyai sifat lentur untuk kenyamanan pengguna, tetapi disisi lain juga harus keras untuk menghindari aus yang banyak saat pemakaian. Material elastomer banyak digunakan dalam produk telapak kaki prosthesis karena dapat mengkompromikan kedua hal tersebut. Selain itu, penggunaan material elastomer juga dapat meningkatkan keamanan dalam pemakaian karena akan menghasilkan gaya gesek yang besar saat bergesekan dengan alas lantai, sehingga tidak licin.

Pada penelitian sebelumnya, telah dirancang dan diproduksi beberapa alat uji performa kaki prosthesis, seperti alat uji fatigue (Wicaksono, 2021) dan dorsifleksi (Pratama, 2021) yang sesuai dengan standar ISO 10328:2016 (ISO, 2016). Kedua alat uji tersebut dirancang untuk dapat digunakan pada semua jenis telapak kaki prosthesis. Selain itu, telah dilakukan penelitian terkait karakterisasi sifat mekanik dan tribologi (uji gesek dan aus) pada material elastomer telapak kaki prosthesis yang ada di pasaran, baik produk lokal maupun impor (M Khafidh et al., 2023). Hasil pengujian tersebut menjadi acuan untuk membuat formulasi elastomer jenis RTV, seperti silikon. Tiga jenis silikon, yaitu RTV 48, RTV 4503, dan RTV 683, telah dioptimasi formulasinya dan telah diuji sifat mekanik dan sifat tribologinya. Studi tentang pembuatan material elastomer silikon telah dilakukan dengan berbagai variasi, seperti parameter produksi (Naufal, 2022), *talc powder* (Khafidh, Suryawan, Kistriyani, Naufal, & Ismail, 2023), serta pemberian *coating* pada permukaan *talc powder* (Kistriyani, Khafidh, Suryawan, & Ismail, 2023). Penambahan *filler*, seperti *talc powder*, ke dalam silikon terbukti dapat meningkatkan beberapa sifat mekanik dan tribologi. Tetapi dalam uji sobek, tidak terjadi peningkatan yang signifikan. Kekuatan sobek merupakan salah satu sifat penting yang perlu dimiliki elastomer mengingat dalam penggunaan telapak kaki prosthesis berpotensi terkena benda tajam. Disamping itu, peningkatan ketahanan aus setelah diberi *filler* akan berakibat turunnya gaya gesek. Hal ini dapat meningkatkan kemungkinan terpeleset saat penggunaan produk. Oleh karena itu, perlu dilakukan studi lebih lanjut untuk mendapatkan material yang sesuai dengan kebutuhan telapak kaki prosthesis. Salah satu pilihan jenis elastomer yang dapat diaplikasikan untuk telapak kaki buatan ada karet alam. Indonesia merupakan produsen karet alam terbesar kedua di dunia. Menurut data Direktorat Jenderal Perkebunan Indonesia, luas area kebun karet saat ini adalah 3,6 juta ha dengan total produksi karet mencapai 3,1 juta ton. Ekspor karet Indonesia cukup besar yaitu 2,81 juta ton dengan nilai sebesar US\$ 3,95 Miliar.

Penelitian ini mempelajari optimasi multi factor pada material karet alam untuk mendapatkan gesekan yang terbesar. Berbagai factor kontrol dipelajari untuk mendapatkan faktor yang paling berpengaruh terhadap hasil akhir. Optimasi dilakukan dengan menggunakan Metode Taguchi. Metode Taguchi sangat efektif untuk percobaan yang menggunakan banyak variabel. Penggunaan metode ini dapat mengurangi jumlah sampel

Tabel 1. Parameter dan level pengujian

Kode	Faktor kontrol	Variasi		
		Level 1	Level 2	Level 3
A	Jenis Elastomer	NR	NR	NR + Instant NR
B	Silika	20 phr	25 phr	30 phr
C	Sulfur	3 phr	5 phr	7 phr
D	Temperatur	140°C	150°C	160°C

dan pengujian, sehingga dapat menghemat waktu dan biaya. Banyak peneliti yang menggunakan metode Taguchi untuk mencari nilai parameter atau komposisi yang optimal (Abd Maleque, Harina, Bello, Azwan, & Rahman, 2018; Mitra, Jawarkar, Soni, & Kiranchand, 2016; Mohsin, He, Li, Zhang, & Du, 2020). Metode Taguchi menggunakan beberapa rumus dasar untuk menghitung hasil optimum. Rumusnya disebut Rasio S/N (*Signal to Noise Ratio*). Pada penelitian ini, hasil yang diharapkan adalah nilai terbesar dari gesekan, sehingga jenis S/N yang digunakan akan *larger-the-better*, dimana rumusnya berupa persamaan 1.

$$\frac{S}{N} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (1)$$

dimana n adalah jumlah replika dan y_i adalah hasil gaya gesek hasil percobaan.

ANOVA (analisis varians) merupakan analisis yang digunakan untuk mengetahui kontribusi tiap faktornya. Persamaan 2 dan 3 menunjukkan model matematis untuk mencari kontribusi tiap faktor:

$$SS = \frac{k}{N \times n} \sum_{t=1}^k T_t^2 - \frac{T^2}{N \times n} \quad (2)$$

$$SS_T = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^n y_{ij}^2 - \frac{T^2}{N \times n} = SS_A + SS_B + \dots + SS_H + SS_{Error} \quad (3)$$

Tabel 2. Orthogonal array L9 pengujian

No	Faktor kontrol			
	Jenis Elastomer	Silika	Sulfur	Temperatur
1	NR	20 phr	3 phr	140°C
2	NR	25 phr	5 phr	150°C
3	NR	30 phr	7 phr	160°C
4	NR	20 phr	5 phr	160°C
5	NR	25 phr	7 phr	140°C
6	NR	30 phr	3 phr	150°C
7	NR + Instant NR	20 phr	7 phr	150°C
8	NR + Instant NR	25 phr	3 phr	160°C
9	NR + Instant NR	30 phr	5 phr	140°C

dimana SS merupakan *the sum of squares*; k adalah *number of level*; N adalah *number of run*; n adalah *number of noise*; dan Tt adalah *The total sum of resposns*.

2. Metode Penelitian

Metode Taguchi yang digunakan pada penelitian ini adalah matriks L9. Terdapat empat kontrol faktor, yaitu jenis karet, jumlah silika, jumlah sulfur, dan besar temperatur vulkanisasi. Masing-masing kontrol faktor mempunyai tiga level yang berbeda. Tabel 1 menunjukkan parameter dan jumlah level yang digunakan pada penelitian ini.

Pada Metode Taguchi *ortogonal array* L9, setiap pengujian diulang sebanyak tiga kali sehingga dilakukan 27 pengujian (9x3 ulangan). Data yang dihasilkan dari 27 pengujian diolah menggunakan *signal-to-noise rasio* (S/N) menggunakan Persamaan 1. Setelah hasil optimum dari masing-masing faktor kontrol diperoleh, validasi akan dilakukan dengan memproduksi material sesuai dengan formulasi hasil optimisasi tersebut. Tabel 2 menunjukkan detail 9 pengujian sesuai dengan Metode Taguchi L9.

Gambar 1a menunjukkan cetakan spesimen yang terbuat dari alumunium. Spesimen berbentuk disk dengan diameter 60 mm dan tinggi 10 mm. Selain kontrol faktor yang ditunjukkan pada Tabel 2, pembuatan spesimen juga



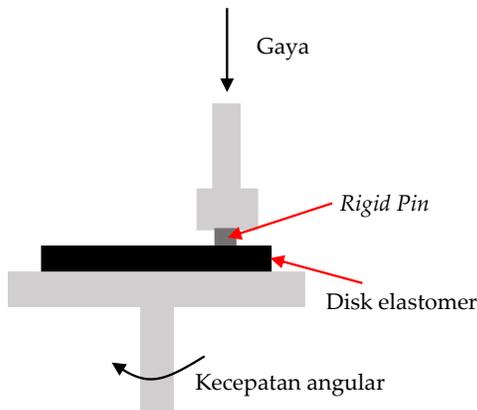
Gambar 1. (a) cetakan spesimen, (b) spesimen setelah vulkanisasi

Tabel 3. Hasil pengujian gaya gesek

No	Hasil pengujian gaya gesek [N5]				
	Uji ke-1	Uji ke-2	Uji ke-3	Rata-rata	S/N
1	5,47	5,84	5,55	5,62	14,99
2	6,18	5,83	6,24	6,08	15,67
3	6,10	4,67	5,28	5,35	14,41
4	5,87	5,24	5,77	5,63	14,97
5	6,14	5,60	4,46	5,40	14,41
6	6,57	6,32	6,35	6,41	16,14
7	6,44	6,73	6,42	6,53	16,29
8	5,06	5,09	4,97	5,04	14,05
9	6,54	6,16	6,67	6,45	16,18

dilakukan dengan penambahan ZnO, asam stearat, lateks *polymer*. Setiap bahan dicampur dengan material elastomer dengan dilakukan proses pengadukan menggunakan mesin. Campuran material tersebut kemudian dimasukkan ke dalam cetakan dan dilakukan vulkanisasi selama 20 menit dengan temperatur yang divariasikan. Spesimen elastomer setelah proses vulkanisasi ditunjukkan pada Gambar 1b.

Tribometer *pin-on-disk* dari *Ducom Instruments* digunakan untuk mengukur gesekan pada spesimen selama gesekan geser. Uji gesekan geser dilakukan antara pin yang terbuat dari bola baja dengan diameter 10 mm dan disk yang terbuat dari spesimen elastomer selama 8 menit. Waktu pengujian tersebut didasarkan pada hasil gaya gesek yang sudah memasuki fase *steady state* dan besar aus yang sudah mencukupi untuk dilihat perbedaannya antara satu spesimen dengan spesimen lainnya. Beban dan kecepatan sudut yang digunakan pada penelitian ini berturut-turut adalah 5 N dan 200 rpm. Hal ini didasarkan pada distribusi gaya pada kaki yang mempunyai luas penampang 54 cm² selama pembebanan *mid-foot loading* (*Lidstone, DeBerardinis, Dufek, &*



Gambar 2. Skematik uji tribometer pin-on-disk

Tabel 4. Prediksi *gain* yang terjadi pada pengujian gaya gesek

Kode	Parameter	S/N
A3	NR + instant NR	15,51
B3	Silika 30 phr	15,58
C2	Sulfur 5 phr	15,61
D2	Temperatur vulkanisasi 150°C	16,03
S/N_{prediksi}		17,02

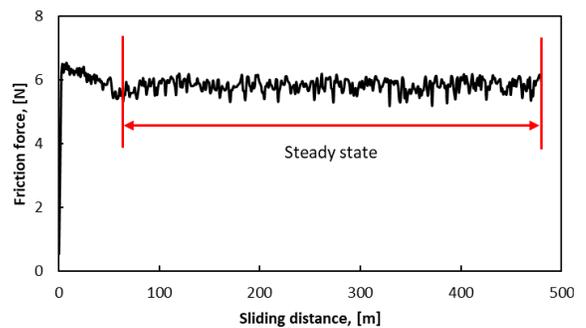
Trabia, 2019). Gaya gesek dievaluasi ketika gesekan mencapai fase keadaan *steady state*. Gambar 2 menunjukkan skematik dari pengujian tribometer *pin-on-disk*.

3. Hasil dan Pembahasan

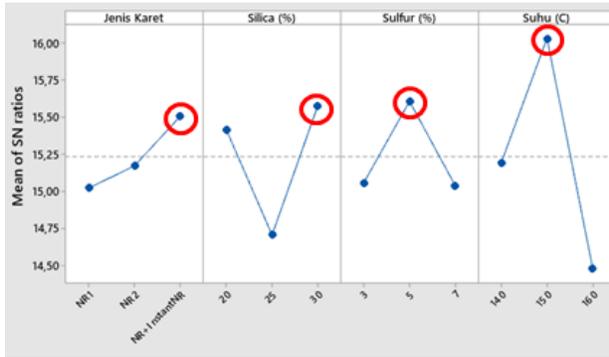
Gambar 3 menunjukkan hasil pengujian tribometer *pin-on-disk* berupa nilai gaya gesek terhadap panjang lintasan gesek. Pada awal pengujian, sinyal belum konstan karena material berada pada fase *running-in*. Pada jarak kontak tertentu, sinyal akan cenderung konstan karena material sudah memasuki fase *steady state*. Penentuan nilai gaya gesek dalam penelitian ini diambil dari rata-rata nilai gaya gesek saat fase *steady state*.

Gaya gesek hasil pengujian tribometer *pin-on-disk* ditunjukkan oleh Tabel 3. Setiap pengujian diulang tiga kali dan dihitung rata-ratanya. Nilai S/N dihitung menggunakan rumus *larger-the-better* pada Persamaan 1.

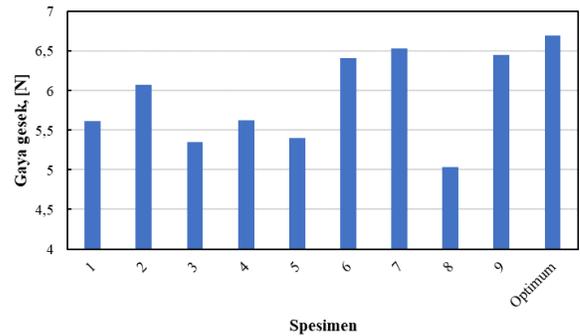
Hasil perhitungan S/N pada semua pengujian kemudian diproses untuk mendapatkan S/N pada masing-masing kontrol faktor dan levelnya (*Martijanti, Pratomo, & Juwono, 2020*). Gambar 4 menunjukkan S/N pada masing-masing kontrol faktor dan levelnya. Pada setiap kontrol faktor, nilai S/N tertinggi yang dipilih sebagai level optimum dalam formulasi material karet alam. Formulasi optimum yang dihasilkan adalah jenis karet NR + instant NR (A3), Silika 30 phr (B3), sulfur 5 phr (C2), dan temperatur vulkanisasi 150°C (D2).



Gambar 3. Nilai gaya gesek terhadap jarak kontak pada pengujian tribometer pin-on-disk



Gambar 4. Grafik S/N pada masing-masing kontrol faktor dan levelnya



Gambar 5. Perbandingan gaya gesek dengan spesimen optimum

Prediksi nilai S/N hasil optimisasi ditunjukkan pada Tabel 4, dimana dengan formulasi optimum akan menghasilkan nilai S/N rasio 17,02. Nilai tersebut lebih besar dibanding dengan *baseline* (pengujian nomor 8) yang bernilai 14,05, sehingga peningkatan S/N diprediksi mencapai 2,98.

Formulasi optimum ini kemudian diproduksi untuk melakukan konfirmasi hasil. Spesimen hasil optimasi dilakukan uji gesek dengan diulang sebanyak tiga kali. Tabel 5 menunjukkan hasil uji gaya gesek pada tribometer pin-on-disk. Rata-rata nilai gaya gesek adalah 6,70 N dengan S/N sebesar 16,52, sehingga peningkatan S/N hasil pengujian konfirmasi adalah 2,47, tidak berbeda jauh dengan prediksi kenaikan S/N secara perhitungan.

Gambar 5 menunjukkan hasil gaya gesek pada pengujian spesimen 1-9 dan spesimen optimum. Hasilnya menunjukkan bahwa formulasi optimum telah meningkatkan nilai dari gaya gesek dibandingkan dengan semua spesimen yang diproduksi. Hasil peningkatan gaya gesek setelah dilakukan optimisasi apabila dibandingkan dengan *baseline*-nya adalah 33%.

Untuk mengetahui nilai kontribusi pada tiap komposisinya maka diperlukan analisis anova. Dari hasil yang didapat pada pengujian gaya gesek, temperatur vulkanisasi mempunyai nilai kontribusi tertinggi yaitu senilai 62,58%, lihat Tabel 6. Suhu vulkanisasi merupakan tahapan penting dalam pembentukan *crosslinking* antara karet alam dan sulfur. Ikatan *crosslinking* ini akan mempengaruhi sifat mekanik dan

tribologi dari material karet (Bielński, Stępkowska, & engineering, 2013; Kim, Park, Lee, & Seo, 2020). Suhu vulkanisasi optimum pada setiap karet berbeda-beda tergantung pada formulasi pembentuknya. Dalam penelitian ini, suhu vulkanisasi mempunyai pengaruh yang sangat besar pada hasil gaya gesek. Hal ini bukan berarti semakin tinggi suhu vulkanisasi akan menghasilkan semakin tinggi gaya gesek. Tetapi ketika suhu vulkanisasi yang digunakan berubah, maka gaya gesek yang dihasilkan akan berubah signifikan. Dalam penelitian ini, suhu paling optimumnya adalah 150°C sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.

4. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa kesimpulan sebagai berikut (1) metode Taguchi efektif digunakan untuk menentukan komposisi optimum dari berbagai variasi faktor dan level pada material karet alam untuk telapak kaki palsu; (2) komposisi optimum untuk mendapatkan nilai gaya gesek tertinggi adalah komposisi jenis campuran *natural rubber*/lateks pekat dan *natural rubber*/lateks instan, pengisi *silica powder* 30 phr, sulfur 5 phr, dan temperatur vulkanisasi 150°C; (3) kenaikan gaya gesek yang dihasilkan dari optimisasi sebesar 33 % dibandingkan dengan gaya gesek pada formulasi *baseline*; dan (4) faktor yang paling berpengaruh terhadap kenaikan gaya gesek adalah temperatur vulkanisasi dimana persentase kontribusinya 62,58%.

Tabel 5. Hasil uji konfirmasi dengan formula optimum

No	Gaya gesek (N)
1	6,74
2	6,52
3	6,85
Rata-rata	6,70
S/N_{konfirmasi}	16,52

Tabel 6. Nilai kontribusi faktor pengujian gaya gesek

Faktor	Kontribusi
Jenis Karet	6,63%
Silica (phr)	21,55%
Sulfur (phr)	9,24%
Suhu Vulkanisasi (°C)	62,58%

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih disampaikan kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi yang telah mendanai penelitian ini dengan nomor kontrak 181/E5/PG.02.00.PL/2023.

Daftar Pustaka

- Abd Maleque, M., Harina, L., Bello, K., Azwan, M., & Rahman, M. M. J. J. T. (2018). Tribological properties of surface modified Ti-6Al-4V alloy under lubricated condition using Taguchi approach. *17*, 15-28.
- Bieliński, D., Stepkowska, A. J. A. o. c., & engineering, m. (2013). Mechanical properties and friction of rubber vulcanizates: Aspects of crosslink structure. *13*, 192-198.
- Fauziah, R. A., & Sriwarno, A. B. J. P. D. (2014). Pengembangan Desain Kaki Prostetik yang Berbasis Low-Cost untuk Industri Kecil Kaki Palsu Di Indonesia. *3*(1), 180144.
- Hadi, A., Oleiwi, J. K. J. J. o. M. S., & Engineering. (2015). Improving tensile strength of polymer blends as prosthetic foot material reinforcement by carbon fiber. *4*(2), 2169-0022.1000158.
- ISO. (2016). 10328: 2006 Prosthetics. Structural testing of lower-limb prostheses. Requirements and test methods. In: British Standards Institution: London, UK.
- Kementrian Sosial, I. (2021). Sistem Informasi Management Penyandang Disabilitas.
- Khafidh, M., Marwa, P., Alfajr, B., Suryawan, D., Kistriyani, L., & Ismail, R. (2023). *The mechanical properties of elastomeric materials in prosthetic feet: Comparison between local and imported products*. Paper presented at the AIP Conference Proceedings.
- Khafidh, M., Suryawan, D., Kistriyani, L., Naufal, M., & Ismail, R. J. P. (2023). Friction Optimization of Talc Powder-Reinforced Elastomers for Prosthetic Foot Application. *5*(1), 88-99.
- Kim, D. Y., Park, J. W., Lee, D. Y., & Seo, K. H. J. P. (2020). Correlation between the crosslink characteristics and mechanical properties of natural rubber compound via accelerators and reinforcement. *12*(9), 2020.
- Kistriyani, L., Khafidh, M., Suryawan, D., & Ismail, R. (2023). *Physical characteristic of polymer formulations for prosthetic foot materials: Comparison of natural rubber and ethylene vinyl acetate*. Paper presented at the AIP Conference Proceedings.
- Lidstone, D. E., DeBerardinis, J., Dufek, J. S., & Trabia, M. B. (2019). Electronic measurement of plantar contact area during walking using an adaptive thresholding method for Medilogic® pressure-measuring insoles. *The Foot*, *39*, 1-10.
- Martijanti, M., Pratomo, A., & Juwono, A. L. (2020). *Fabrication Process Optimization of Gombong (Gigantochloa pseudoarundinacea), Haur Hejo (Bambusa tuldooides) and Tali (Gigantochloa apus) Bamboo Fibers for Structural Application*. Paper presented at the Key Engineering Materials.
- Mitra, A. C., Jawarkar, M., Soni, T., & Kiranchand, G. J. P. E. (2016). Implementation of Taguchi method for robust suspension design. *144*, 77-84.
- Mohsin, I., He, K., Li, Z., Zhang, F., & Du, R. J. A. S. (2020). Optimization of the polishing efficiency and torque by using Taguchi method and ANOVA in robotic polishing. *10*(3), 824.
- Naufal, M. (2022). Optimasi Multi Faktor Pada Material Karet Silikon Terhadap Gesekan Dan Aus Menggunakan Metode Taguchi.
- Pratama, W. (2021). Rancang Bangun Alat Uji Dorsiflexion Dan Hysteresis Telapak Kaki Palsu.
- Suryawan, D., Ridlwan, M., & Setiadi, A. J. J. T. M. I. (2019). Inovasi desain dan simulasi model prosthesis bawah lutut berdasarkan antropometri orang indonesia. *14*(1), 30-36.
- Wicaksono, A. A. (2021). Rancang Bangun Alat Uji Fatigue Telapak Kaki Palsu Berdasarkan Standar Iso 10328.
- Williams, R. J., Hansen, A. H., & Gard, S. A. (2009). Prosthetic ankle-foot mechanism capable of automatic adaptation to the walking surface.