

**OPTIMASI FORMULASI KARET ALAM SEBAGAI
MATERIAL KAKI PALSU MENGGUNAKAN METODE
TAGUCHI ORTHOGONAL ARRAY L4**

TUGAS AKHIR

**Diajukan sebagai Salah Satu Syarat
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Mesin**



Disusun Oleh :

Nama : Rasendriya Saifullah Firdaus
No. Mahasiswa : 18525042
NIRM : 1804260097

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2023**

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING
OPTIMASI ELASTOMER KARET ALAM SEBAGAI
MATERIAL KAKI PALSU MENGGUNAKAN METODE
TAGUCHI ORTHOGONAL ARRAY L4

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Rasendriya Saifullah Firdaus

No. Mahasiswa : 18525042

NIRM : 1804260097

Yogyakarta, 14 Desember 2023

Pembimbing I,



Dr. Ir. Muhammad Khafidh S.T., M.T., IPP.

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

OPTIMASI FORMULASI KARET ALAM SEBAGAI
MATERIAL KAKI PALSU MENGGUNAKAN METODE
TAGUCHI ORTHOGONAL ARRAY L4

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Rasendriya Saifullah Firdaus


No. Mahasiswa : 18525042

NIRM : 1804260097

Tim Penguji

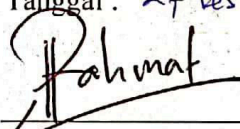
Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T., M.T., IP.

Ketua


Tanggal : 27 Des 2023


Rahmat Riza, S.T., M.Sc. ME.

Anggota I


Tanggal : 28 Des 2023

Ir. Faisal Arif Nurgesang, S.T., M.Sc., IPP

Anggota II


Tanggal : 23 Des 2023

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Dr. Ir. Muhammad Khafidh S.T., M.T., IPP.

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa Laporan Tugas Akhir yang saya tulis adalah berdasarkan hasil kerja saya selama penelitian dan tidak terdapat karya maupun tulisan yang diterbitkan oleh orang lain, kecuali untuk kutipan yang tertulis jelas sumbernya. Apabila di kemudian hari terdapat hal yang melanggar peraturan yang sah terkait hak kekayaan intelektual, saya bersedia menerima sanksi sesuai hukum yang berlaku.

Gunungkidul, 26 Desember 2023

Penulis,



Rasendriya Saifullah Firdaus

HALAMAN PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirrahim,

Alhamdulillahirabbil 'aalamiin, segala puji hanya milik *Allah rabbul 'aalamiin,* yang telah memberikan segala nikmat, taufik serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Selawat semoga selalu tercurah kepada nabi Muhammad *Shallallahu 'alaihi wa sallam* yang telah menuntun manusia menuju agama yang di Ridhoi Allah yaitu Islam. Tugas Akhir ini penulis persembahkan kepada :

Kedua orang tua tercinta yang selama ini memberikan dukungan, semangat, dan yang utama berupa do'a dengan ikhlas dan tulus. Semua kasih sayang dan perhatian yang tak terhingga dari penulis kecil dan seterusnya. Semua saudara, keluarga dan orang terkasih yang selalu memberikan dukungan dalam mengerjakan tugas akhir ini.

HALAMAN MOTTO

“Manusia yang paling dicintai oleh Allah adalah yang paling memberikan manfaat bagi manusia..”

(H. R. Thabrani)

“Bersungguh-sungguhlah untuk mendapatkan apa yang bermanfaat bagimu dan mintalah pertolongan kepada Allah”

(H. R. Muslim)

“Setiap anak Adam pasti berbuat salah dan sebaik-baik orang yang berbuat kesalahan adalah yang bertaubat”

(H. R. Tirmidzi)

"Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan, sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan."

(Q.S. Al Insyirah: 5-6)

KATA PENGANTAR

Segala puji hanya milik Allah *Subhanahu wa ta'ala* yang telah memberikan rahmat, nikmat iman, sehat, taufik serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menjalankan rangkaian proses Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua penulis dan segenap keluarga besar yang selalu memberikan semangat dan dukungan kepada penulis dalam proses perkuliahan dari awal hingga akhir.
2. Bapak Dr. Ir. Muhammad Khafidh S.T., M.T., IPP. selaku Ketua Prodi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia sekaligus Dosen Pembimbing yang memberikan banyak bantuan, dukungan serta pengertian kepada penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Seluruh Dosen Prodi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia yang telah banyak memberikan ilmu pengetahuan selama perkuliahan.
4. Seluruh Laboran dan Staff Prodi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia yang telah membantu proses Tugas Akhir ini.
5. Seluruh teman dan sahabat baik di lingkungan kampus maupun di luar kampus yang selalu memberikan semangat kepada penulis.

Semoga semua pihak yang telah membantu penyelesaian Tugas Akhir ini mendapat balasan yang lebih baik oleh Allah *subhanahu wa ta'ala* serta dipermudah segala urusannya.

Dalam pelaksanaan Tugas Akhir ini penulis telah berusaha secara maksimal, namun kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan oleh penulis demi perbaikan dan penyempurnaan Tugas Akhir ini. Selanjutnya penulis berharap hasil dari Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi orang lain terkhusus dalam bidang yang sesuai dengan topik yang dibahas.

Gunungkidul, 13 November 2023



Rasendriya Saifullah Firdaus

ABSTRAK

Indonesia memiliki penyandang disabilitas sebanyak 8,5 % dari total penduduknya. Jumlah ini setara dengan 22,97 juta jiwa yang sebagian besar merupakan penyandang tunadaksa. Penyandang tunadaksa dalam melakukan aktivitas membutuhkan alat bantu, salah satu pilihan alat bantu tersebut adalah kaki palsu. Material telapak kaki palsu umumnya berupa elastomer seperti silikon dan polyurethane. Karet alam di Indonesia sendiri sangat mudah ditemui karena merupakan negara dengan penghasil karet nomor 2 di dunia setelah Thailand. Maka dari itu untuk memanfaatkan sumber daya alam yang ada, pada penelitian ini dilakukan pembuatan material telapak kaki palsu dengan elastomer karet alam. Penelitian ini menggunakan variasi kadar *filler* CaCO_3 , sulfur dan waktu vulkanisir untuk membuat formulasi karet alam yang optimum dengan memanfaatkan model desain eksperimen Taguchi. Dengan metode Taguchi didapatkan hasil paling optimum untuk komposisi material karet alam dalam menghasilkan ketahanan aus dan gaya gesekan yang besar. Pengujian *tribometer pin on disc* dilakukan untuk mendapatkan nilai dari massa aus dan besaran gaya gesek pada material karet alam. Hasil optimum untuk massa aus yaitu dengan komposisi kadar CaCO_3 30%, sulfur 5% dan waktu vulkanisir selama 30 menit. Sedangkan untuk optimasi gaya gesek komposisi terbaik yaitu kadar CaCO_3 30%, sulfur 5% dan waktu vulkanisir selama 40 menit.

Kata kunci: gaya gesek, massa aus, taguchi, telapak kaki palsu, tribologi, vulkanisir

ABSTRACT

Indonesia has 8.5% of its total population with disabilities. This number is equivalent to 22.97 million people, most of them are physically disabled. In carrying out activities, disabled people need assistive devices, one of which is a prosthetic feet. The material for prosthetic feet is generally elastomers such as silicone and polyurethane. Natural rubber in Indonesia itself is very easy to find because it is the second largest rubber producing country in the world after Thailand. Therefore, to utilize existing natural resources, this research carried out the manufacture of prosthetic feet material using natural rubber elastomer. This research uses variations in CaCO₃ filler content, sulfur and vulcanization time to create an optimum natural rubber formulation by utilizing the Taguchi experimental design model. Using the Taguchi method, the most optimum results were obtained for the composition of natural rubber material in producing wear resistance and large friction forces. Pin on disc tribometer testing was carried out to obtain values for the wear mass and the amount of friction force on the natural rubber material. The optimum results for the wear mass are with a composition of 30% CaCO₃ content, 5% sulfur and a vulcanization time of 30 minutes. Meanwhile, to optimize the friction force, the best composition is a CaCO₃ content of 30%, sulfur 5% and a vulcanization time of 40 minutes.

keywords: friction force, prosthetic feet, taguchi, tribology, vulcanizing, wear mass.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING	ii
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iv
HALAMAN MOTTO	v
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR NOTASI	xiv
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan	3
1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Kajian Pustaka	5
2.2 Dasar Teori	7
2.2.1 Disabilitas	7
2.2.2 Telapak kaki palsu	7
2.2.3 Karet alam	8
2.2.4 Vulkanisasi	9
2.2.5 Tribologi.....	9
2.2.6 Metode Taguchi.....	11
2.2.7 Pengujian tribologi	14
METODE PENELITIAN	16

3.1	Alur Penelitian	16
3.2	Metodologi Penelitian.....	18
3.3	Objek Penelitian.....	20
3.4	Peralatan dan Bahan.....	21
3.4.1	Alat	21
3.4.2	Bahan.....	24
3.5	Pembuatan Spesimen Uji.....	26
3.6	Pengujian Spesimen.....	30
HASIL DAN PEMBAHASAN		33
4.1	Hasil Pengujian Kekasaran	33
4.2	Hasil Pengujian Tribologi.....	34
4.2.1	Gaya gesek.....	34
4.2.2	Nilai massa aus	38
4.3	Kontribusi Setiap Kontrol Faktor	41
4.4	Perbandingan Hasil Optimasi Material Karet Alam	43
PENUTUP		46
5.1	Kesimpulan	46
5.2	Saran untuk Penelitian Selanjutnya	46
DAFTAR PUSTAKA.....		48

DAFTAR TABEL

Tabel 3-1	Kontrol faktor dan level.....	19
Tabel 3-2	Matriks orthogonal L_4	20
Tabel 3-3	Hasil desain eksperimen matriks ortogonal L_4	20
Tabel 4-1	Hasil pengujian kekasaran.....	33
Tabel 4-2	Hasil pengujian gaya gesek.....	34
Tabel 4-3	Rata-rata S/N rasio gaya gesek.....	35
Tabel 4-4	Prediksi nilai S/N dan S/N <i>existing</i> optimasi gaya gesek.....	36
Tabel 4-5	Hasil konfirmasi optimasi gaya gesek.....	37
Tabel 4-6	Nilai <i>gain</i> optimasi gaya gesek.....	37
Tabel 4-7	Kriteria <i>n-gain</i>	37
Tabel 4-8	Hasil pengurangan massa spesimen setelah pengujian.....	38
Tabel 4-9	Rata-rata S/N rasio massa aus.....	39
Tabel 4-10	Prediksi nilai S/N dan S/N <i>existing</i> optimasi massa aus.....	40
Tabel 4-11	Hasil konfirmasi optimasi massa aus.....	41
Tabel 4-12	Nilai <i>gain</i> optimasi massa aus.....	41
Tabel 4-13	Kontribusi faktor optimasi gaya gesek.....	42
Tabel 4-14	Kontribusi faktor optimasi massa aus.....	42
Tabel 4-15	Perbandingan nilai gaya gesek dan aus spesimen optimum.....	43
Tabel 4-16	Nilai koefisien gesek dan <i>wear rate</i> produk kaki palsu.....	45

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1	Proses ikatan-ikatan silang molekul karet.....	9
Gambar 2-2	Skema dua benda berkontak dalam gerak relatif.	10
Gambar 2-3	Variasi koefisien gesek dengan jarak <i>sliding</i>	11
Gambar 2-4	Salah satu contoh aus yaitu <i>abrasive wear</i>	11
Gambar 2-5	Matriks ortogonal pada metode taguchi.....	13
Gambar 2-6	Skema mesin tribometer <i>pin on disc</i>	14
Gambar 3-1	Diagram alur penelitian.....	17
Gambar 3-2	Dimensi spesimen uji.....	21
Gambar 3-3	Mesin vulkanisir.....	21
Gambar 3-4	Mesin tribometer.....	22
Gambar 3-5	Vakum udara.....	22
Gambar 3-6	<i>Drill cordless</i>	23
Gambar 3-7	Neraca digital.....	23
Gambar 3-8	Cetakan spesimen.....	23
Gambar 3-9	Lateks karet alam dan spesifikasinya.....	24
Gambar 3-10	Sulfur.....	24
Gambar 3-11	Kalsium karbonat.....	25
Gambar 3-12	Asam stearat.....	25
Gambar 3-13	Zinc oksida.....	26
Gambar 3-14	<i>Molding solution</i>	26
Gambar 3-15	Desain cetakan spesimen uji tribologi.	27
Gambar 3-16	Hasil permesinan cetakan spesimen uji.	27
Gambar 3-17	Takaran bahan campuran komposit karet alam.	28
Gambar 3-18	Proses pengadukan campuran lateks.....	28
Gambar 3-19	Penuangan kompon ke dalam cetakan.	29
Gambar 3-20	Proses vakum kompon karet.	29
Gambar 3-21	Hasil vulkanisasi kompon karet alam	30
Gambar 3-22	Pengujian tribometer.....	31
Gambar 3-23	Skema pengujian tribometer <i>pin on disc</i>	31
Gambar 4-1	Penampakan spesimen uji.....	34

Gambar 4-2	Grafik plot S/N rasio <i>larger the better</i>	35
Gambar 4-3	Grafik plot S/N rasio <i>smaller the better</i>	39
Gambar 4-4	Hasil pengujian beberapa produk telapak kaki palsu.....	43

DAFTAR NOTASI

C	= Celcius
N	= Newton
NR	= <i>Natural Rubber</i>
Rpm	= <i>Revolution per minute</i>
S/N	= <i>Signal to Noise Rasio</i>
F	= Gaya gesek
μ	= Koefisien gesek
W	= Gaya normal
ρ	= Massa jenis
k	= <i>specific wear rate</i>
COF	= <i>Coefficient of Friction</i>

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Menurut Kemenko PMK 22,97 juta jiwa atau sekitar 8,5% dari jumlah total penduduk Indonesia merupakan penyandang disabilitas [1]. Sebagian besar di antaranya merupakan penyandang tunadaksa. Berdasarkan data tahun 2021, total Jumlah Tunadaksa adalah 7.990,24 naik 32,64% dari tahun sebelumnya [2]. Pada tahun 2020 di Kabupaten Gunungkidul saja penyandang tunadaksa mencapai 2.554 jiwa [3]. Dalam melakukan aktivitas dan mobilitas sehari-hari para penyandang tunadaksa memerlukan alat bantu semisal kaki palsu.

Produk kaki palsu yang biasa digunakan pada dasarnya berbahan elastomer seperti karet, silikon, dan *polyurethane*. Material elastomer pada dasarnya sangat mudah ditemui di Indonesia. Produksi karet mentah di Indonesia menjadi sumber devisa ketiga terbesar setelah migas dan kayu. Penghasilan devisa dari karet alam mencapai USD 7,1 miliar pada tahun 2021. Namun, mayoritas ekspor masih berupa karet mentah sebesar 80% dari total dan sebanyak 20% diolah oleh industri dalam negeri [4].

Maka dari itu, salah satu upaya dalam pemanfaatan karet alam yaitu dengan menghasilkan bahan jadi seperti yang sudah dilakukan beberapa penelitian sebelumnya berupa sol sepatu [5], otot sintetis manusia [6], dan bahan spons [7]. Karet alam memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan karet sintetis, beberapa di antaranya daya elastis yang baik, resistansi aus tinggi, dapat dibentuk dengan panas rendah, plastisitas yang baik sehingga pengolahannya mudah.

Dalam bentuk karet mentah atau lateks material ini mempunyai sifat fisika yang kurang baik, di antaranya tidak tahan perubahan suhu dan pelarut, kekuatan mekanik rendah, perpanjangan putus terlalu tinggi, dan mudah lengket. Untuk mendapatkan sifat fisik yang lebih baik diperlukan penambahan beberapa zat semisal *curing agent*, bahan pengisi (*filler*), *activator*, dan lainnya.

Penelitian ini bertujuan untuk mencari komposisi terbaik antara sulfur sebagai *curing agent*, kalsium karbonat (CaCO_3) sebagai bahan pengisi dan durasi

vulkanisasi dari kompon karet. Hasil yang diharapkan dari komposisi elastomer karet alam ini nantinya memiliki ketahanan aus yang tinggi serta gaya gesek yang tinggi. Hal ini berkaitan dengan fungsi dari telapak kaki palsu dimana gaya gesek dibutuhkan untuk mencengkeram permukaan yang dipijak sedangkan ketahanan aus yang tinggi menjadikan produk lebih awet atau tidak mudah habis.

Untuk mendapatkan kombinasi optimum dari beberapa parameter yang akan dipakai maka digunakan desain eksperimen berupa metode Taguchi. Metode ini memiliki kelebihan pada relatif sedikitnya spesimen yang dibuat dan pengujian yang dilakukan dibanding metode faktorial. Metode Taguchi dapat digunakan untuk mengendalikan kualitas [8]. Dengan melakukan desain eksperimen Taguchi ini, diharapkan dapat mengetahui parameter yang tepat untuk mendapatkan hasil produk dengan tingkat ketahanan aus dan koefisien gesek yang optimal untuk produk telapak kaki palsu.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan, maka perlu dirumuskan masalah-masalah terkait optimasi material karet alam untuk telapak kaki palsu :

1. Bagaimana cara melakukan optimasi material karet alam sebagai bahan dasar telapak kaki palsu dalam hal gesekan menggunakan metode Taguchi?
2. Bagaimana cara melakukan optimasi material karet alam sebagai bahan dasar telapak kaki palsu dalam hal ketahanan aus menggunakan metode Taguchi?
3. Berapa nilai kekasaran permukaan hasil optimasi material karet alam sebagai bahan dasar telapak kaki palsu?
4. Manakah komposisi terbaik dari setiap faktor optimasi untuk material karet alam sebagai bahan dasar telapak kaki palsu?

1.3 Batasan Masalah

Untuk memfokuskan dan mempermudah penelitian optimasi material karet alam sebagai bahan dasar telapak kaki palsu menggunakan karet alam ini maka diberikan beberapa batasan masalah sebagai berikut :

1. Penelitian ini berfokus kepada kontribusi dan pengaruh setiap faktor terhadap karakteristik material.
2. Penentuan komposisi material karet alam menggunakan metode Taguchi L4.
3. Tidak membahas dengan detail reaksi kimia yang terjadi pada proses vulkanisasi.
4. Tidak membahas parameter mesin CNC ketika pembuatan cetakan.
5. Pengujian yang dilakukan berupa pengujian tribologi (*Tribometer Pin on Disc*) dan kekasaran (*Surface Roughness Tester*) menggunakan alat yang ada di Laboratorium Teknik Mesin UII.

1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan

Berdasarkan rumusan masalah yang ada maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Melakukan optimasi material karet alam sebagai bahan dasar telapak kaki palsu dalam hal gesekan menggunakan metode Taguchi.
2. Melakukan optimasi material karet alam sebagai bahan dasar telapak kaki palsu dalam hal ketahanan aus menggunakan metode Taguchi.
3. Mengetahui nilai kekasaran permukaan hasil optimasi material karet alam sebagai bahan dasar telapak kaki palsu.
4. Mengetahui komposisi terbaik dari setiap faktor optimasi untuk material karet alam sebagai bahan dasar telapak kaki palsu.

1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai salah satu solusi pengalokasian sumber daya alam berupa material karet alam yang lebih banyak diekspor dalam bentuk material mentah dibandingkan dibuat menjadi barang jadi di dalam negeri,

khususnya untuk bahan dasar telapak kaki palsu. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan kajian ilmu pengetahuan khususnya bidang tribologi pada material kaki palsu untuk mendapatkan karakteristik yang lebih baik ke depannya.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan pada penelitian optimasi material telapak kaki palsu ini terdiri dari :

1. BAB I berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan.
2. BAB II berisi tentang kajian pustaka dan dasar teori yang akan digunakan dalam penelitian ini.
3. BAB III berisi tentang metodologi penelitian yang berisikan alur penelitian atau langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini.
4. BAB IV berisi tentang hasil dan pembahasan dari penelitian yang telah dilakukan.
5. BAB V berisi tentang penutup yang terdiri dari kesimpulan dan saran yang didapat dari penelitian ini.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Karet alam atau *natural rubber* (NR) merupakan karet alami yang dihasilkan dari getah pohon karet (*Havea brasiliensis*) [9]. Dalam kehidupan manusia karet alam dapat diolah menjadi berbagai macam barang yang bermanfaat. Umumnya pemanfaatan karet alam adalah sebagai karet ban (75%), produk mekanik otomotif (5%), produk mekanik non-otomotif (10%), serta produk medis dan produk terkait kesehatan (10%) [10]. Untuk mendapatkan karakteristik fisik dan mekanik yang baik dari lateks mentah diperlukan proses vulkanisasi dengan beberapa tambahan material lain. Dalam beberapa penelitian sebelumnya terdapat pilihan material campuran pembentuk kompon dan beberapa variasi parameter yang digunakan dalam proses vulkanisasi karet alam.

Pada penelitian yang pertama dengan judul “Morfologi dan Properti Campuran Karet Alam/*Polypropylene* yang Divulkanisasi Dinamik dalam Internal Mixer” oleh Bahruddin, dkk. [11]. Pada penelitian ini dilakukan pembuatan komposit karet alam menggunakan sulfur sebagai *crosslink-agent* dengan variasi 3% dan 5%. Hasil penelitian menyatakan bahwa peningkatan komposisi sulfur dapat meningkatkan *elongation at break* karena meningkatkan molekul NR yang ter Vulkanisasi. Namun, semakin tinggi sulfur juga akan menurunkan nilai *tensile strength*.

Penelitian kedua dengan judul “Pengaruh RSS/SBR dan Filler CaCO_3 Terhadap Sifat Fisis Kompon Karpas Karet” oleh Supraptiningsih, dkk. [12]. Pada penelitian ini proses vulkanisasi juga memanfaatkan sulfur sebagai *crosslink-agent* namun dengan komposisi yang tetap sebesar 4% dan suhu vulkanisasi 150°C . Hasil dari penelitian ini menyatakan bahwa CaCO_3 berpengaruh secara nyata dalam menaikkan sifat kekerasan, ketahanan mampat dan kerapatan masa. Namun, kenaikan kalsium karbonat juga dapat menurunkan sifat perpanjangan putus dan ketahanan terhadap keusangan.

Penelitian ketiga oleh Fachry, dkk. dengan judul “Pengaruh Filler Campuran Silika dan Kulit Kerang Darah Terhadap Sifat Mekanis Kompon Sol Sepatu dari Karet Alam” [5]. Penelitian ini menggabungkan 2 *filler* yaitu silika dengan cangkang kerang darah untuk pembuatan produk sol sepatu dengan material karet alam. Sebesar 98,7% komposisi kimia dari Cangkang kerang darah adalah CaCO_3 . Dari hasil penelitian didapatkan bahwa CaCO_3 merupakan filler pasif yang dapat meningkatkan ketahanan abrasi pada produk sol sepatu dari karet alam. Variasi komposisi CaCO_3 pada penelitian ini adalah 0%,15%,30%,45%,dan 60% sedangkan untuk komposisi optimal dari *filler* cangkang kerang darah adalah sebanyak 30%.

Penelitian keempat dengan judul “Pengaruh Suhu dan Waktu Vulkanisasi terhadap Karakteristik Kompon Sol Karet Cetak Berbahan Pengisi Arang Cangkang Sawit” oleh Pireno, dkk. [13]. Pada penelitian ini terdapat 2 variabel bebas berupa suhu dan waktu vulkanisasi. Untuk variasi suhu sebesar 130°C , 140°C ,dan 150°C sedangkan untuk variasi waktu selama 10 menit, 12 menit, dan 14 menit.

Penelitian selanjutnya oleh Kinasih, dkk. dengan judul “Pengaruh Suhu Vulkanisasi terhadap Sifat Mekanis Vulkanisat Karet Alam dan Karet Akrilonitril Butadiena” [14]. Pada penelitian ini proses vulkanisasi NR dilakukan dengan memvariasikan suhu sebesar 150°C , 160°C , 170°C ,dan 180°C . Dari penelitian ini didapatkan bahwa proses vulkanisasi karet alam lebih sesuai dengan menggunakan sistem semi efisien dengan suhu vulkanisasi sebesar 150°C .

Dalam penelitian Delvitasari, dkk. [28] dengan judul “Pengaruh Suhu dan Waktu Vulkanisasi Terhadap Sifat Kekerasan dan Visual Produk Footstep Sepeda Motor” disebutkan bahwa waktu vulkanisasi juga memiliki pengaruh pada sifat vulkanisat karet alam. Molekul sulfur dan karet alam memerlukan waktu yang cukup untuk menciptakan reaksi ikatan silang. Semakin bertambah waktu maka ikatan silang yang terbentuk akan semakin banyak hingga mencapai batas maksimumnya.

Berdasarkan tinjauan pustaka yang telah disampaikan maka penulis dapat menentukan beberapa parameter atau variabel yang dibutuhkan dalam penelitian optimasi material karet alam sebagai bahan dasar pembuatan telapak kaki palsu.

2.2 Dasar Teori

Pada sub bab ini berisi beberapa teori yang melandasi penelitian/perancangan yang dilakukan penulis, di antaranya sebagai berikut :

2.2.1 Disabilitas

Penyandang cacat, difabel atau disabilitas merupakan istilah yang diberikan kepada individu yang memiliki perbedaan kondisi dan kemampuan dari individu normal lainnya. Difabel juga dapat dimaknai secara umum merujuk pada individu yang memiliki kelainan baik fisik maupun non-fisik. Secara umum difabel dapat dibagi menjadi 3 jenis, yaitu:

1. Kelompok dengan kelainan fisik, seperti tunanetra, tunadaksa, tunarungu, dan tunawicara.
2. Kelompok dengan kelainan non-fisik, seperti tunagrahita, tunalaras, dan autisme.
3. Kelompok dengan kelainan ganda, adalah individu yang mengalami lebih dari satu jenis kelainan. [15]

Jenis disabilitas terkait dengan penelitian ini adalah para penyandang tunadaksa, yaitu sebutan untuk mereka yang memiliki kelainan sehingga menyebabkan terganggunya fungsi tubuh, hal ini dapat terjadi pada anggota gerak tulang, otot maupun persendian. Tunadaksa bisa dialami seseorang akibat bawaan lahir, penyakit ataupun akibat kecelakaan. [16]

2.2.2 Telapak kaki palsu

Terdapat beberapa alat bantu bagi penderita tunadaksa terutama penderita dengan kelainan alat gerak kaki seperti tongkat, kursi roda, dan telapak kaki palsu. Telapak kaki palsu merupakan bagian pengganti telapak kaki bagi penderita tunadaksa. Penggunaan telapak kaki sangat membantu aktivitas dan mobilitas para penyandang tunadaksa karena memiliki fleksibilitas lebih tinggi dibanding alat bantu lainnya semisal kursi roda dan tongkat [17].

Dalam perkembangannya sendiri terdapat berbagai macam material dan model dari kaki palsu. Mulai dari bahan dasarnya yang terbuat dari kayu, silikon,

polyurethane dan karbon fiber. Kemudian untuk jenisnya kaki palsu dapat dibagi menjadi :

- Konvensional, dapat dibagi lagi menurut fleksibilitasnya semisal *SACH*, *Single Axis*, *Multi Axis*.
- *Energy Storing and Returning* (ERS), jenis ini lebih populer dipakai di kalangan para atlet penyandang disabilitas karena memiliki kemampuan untuk memberikan dorongan atau lontaran.
- *Bionic*, untuk jenis ini memiliki kemampuan yang lebih mutakhir karena dapat digerakkan lebih leluasa dan dapat terkoneksi dengan syaraf selayaknya kaki normal [18].

2.2.3 Karet alam

Karet Alam merupakan material alami yang dihasilkan dari tumbuhan *Havea Brasiliensis*. Di Indonesia sendiri karet alam merupakan penghasil devisa yang cukup besar [4]. Karet sendiri memiliki banyak manfaat dalam kehidupan manusia mulai dari bahan baku produk industri, otomotif, alat rumah tangga, bahkan peralatan medis dan alat bantu kesehatan.

Karet alam banyak digunakan karena memiliki beberapa kelebihan dibanding jenis karet sintetis lainnya, seperti [19] :

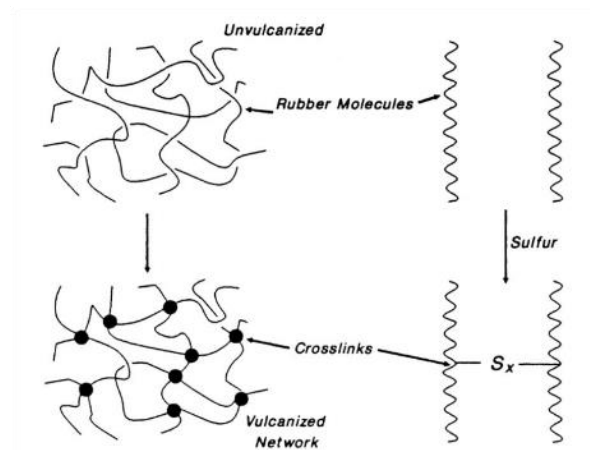
- Daya elastis yang baik
- Plastisitas yang baik sehingga pengolahannya mudah
- Resistansi aus tinggi
- Ketahanan gesek dan robek yang tinggi
- Tidak mudah panas (*low heat built up*)
- Kekerasan dapat diatur dari sangat lembut hingga sangat keras (*ebonit*)
- Memiliki daya lengket yang tinggi terhadap bahan.

Pada penerapannya karet alam perlu diolah melalui proses vulkanisasi karena umumnya sifat karet mentah tidak terlalu kuat, tidak dapat kembali ke bentuk semula ketika mendapat deformasi yang besar, dan sangat lengket. Singkatnya, karet sebelum divulkanisasi memiliki sifat yang mirip dengan permen karet [10].

2.2.4 Vulkanisasi

Metode Vulkanisasi secara komersial pertama kali ditemukan oleh Charle Goodyear. Pada tahun 1841 di Springfield, Massachusetts, Charle melakukan proses pemanasan karet alam dengan sulfur. Satu tahun kemudian Thomas Hancock melakukan proses yang pada dasarnya sama di Inggris dan mematenkannya lebih dulu pada tahun 1844 [10].

Vulkanisasi merupakan proses ketika molekul karet linear mengalami reaksi ikatan silang (*crosslinking*) menjadi molekul polimer sehingga membentuk rangkaian tiga dimensi. Akibat dari reaksi ini karet yang semula bersifat plastis (lembut) berubah menjadi keras, kuat, dan elastis. Proses vulkanisasi juga sering disebut dengan proses *curing* atau pematangan, sedangkan karet yang telah mengalami proses ikatan silang disebut dengan vulkanisat karet [20]. Proses ikatan silang molekul karet dengan bantuan sulfur sebagai agen ikatan silang dapat dilihat pada Gambar 2-1.



Gambar 2-1 Proses ikatan-ikatan silang molekul karet [10].

Seiring perkembangan zaman proses vulkanisasi mengalami banyak peningkatan, banyak karet sintetis yang digunakan bahkan terdapat penambahan zat lain selain sulfur sebagai *curing agent* dan material lain untuk menambahkan sifat tertentu pada vulkanisat karet.

2.2.5 Tribologi

Tribologi merupakan ilmu tentang permukaan yang saling berinteraksi dengan gerak relatif dari benda atau partikel terkait. Di dalamnya mempelajari

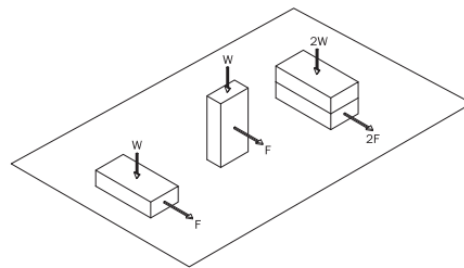
tentang gesekan, aus dan pelumasan. Saat ini tribologi sangat berkembang dalam pembuatan produk baru di bidang mekanika, kimia, elektronik, kedokteran dan penerapan di kehidupan lainnya [21].

1. Gesekan

Gesekan didefinisikan sebagai resistensi terhadap pergerakan relatif antar benda yang bersentuhan. Gesekan antar benda yang bersentuhan diwujudkan sebagai gaya yang harus dilawan untuk memulai atau mempertahankan gerakan, dan sebagai energi yang hilang selama gerak relatif. Gesekan dijelaskan dengan hukum berikut [21]:

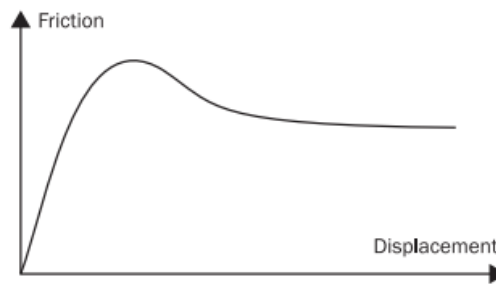
- Gaya gesekan (F) antar permukaan yang diberi beban sebanding dengan beban Normal (W) seperti yang terlihat pada Gambar 2-2. Perbandingan konstan dari F dan W ini dikenal dengan koefisien gesek (μ) yang dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$F = \mu W \quad (2.1)$$



Gambar 2-2 Skema dua benda berkontak dalam gerak relatif [21].

- Gaya gesek tidak bergantung oleh luas permukaan yang berkontak. Ketika *sliding* berhenti, gaya yang dibutuhkan untuk membuat benda mulai bergerak (gesek statis) lebih besar dari gaya yang dibutuhkan untuk menjaga benda tetap bergerak (gesek kinetik). Variasi gaya gesek yang terjadi pada benda yang bergerak dapat dilihat pada Gambar 2-3.

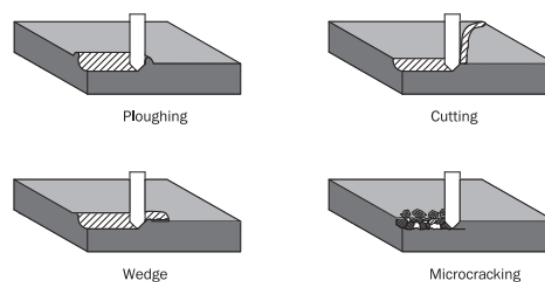


Gambar 2-3 Variasi koefisien gesek dengan jarak *sliding* [21].

- Gaya gesek kinetik tidak bergantung pada kecepatan *sliding*. Gaya gesek yang muncul ketika benda sudah bergerak tidak dipengaruhi oleh kecepatannya.

2. Aus

Keausan merupakan kerusakan permukaan padat, hal tersebut mengakibatkan hilangnya materi secara progresif akibat gerak relatif antar permukaan atau zat yang bersentuhan. Aus dapat didefinisikan sebagai hilangnya volume dari permukaan padat pada kontak yang bergerak. Pada penerapannya terkadang aus yang besar malah diinginkan seperti pada proses permesinan yang ditunjukkan Gambar 2-4. Namun pada beberapa penerapannya aus diharapkan bernilai kecil seperti pada ban, alas kaki, cakram dan semisalnya agar produk lebih awet.



Gambar 2-4 Salah satu contoh aus yaitu *abrasive wear* [21].

2.2.6 Metode Taguchi

Metode Taguchi adalah ide yang digagas oleh Dr. Genichi Taguchi yang kemudian mulai dikenalkan pada dunia barat tahun 1980-an. Metode ini merupakan gagasan terkait *quality engineering* yang menarget proses perancangan

kualitas setiap produk dan proses yang sesuai, atau biasa disebut dengan metode *off-line quality control* [22]. Metode Taguchi merupakan metodologi dalam bidang teknik yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk, proses produksi, menekan biaya dan sumber daya seminimal mungkin. Dengan metode Taguchi dalam sebuah perancangan dapat ditemukan penyebab utama yang paling dominan berpengaruh pada karakteristik kualitas proses yang menjadikan variabilitas karakteristik kualitasnya dapat dikendalikan kemudian [23].

Beberapa keunggulan metode Taguchi adalah:

1. Dapat menghasilkan kesimpulan mengenai respon setiap faktor dan level dari faktor-faktor kontrol yang menghasilkan respon optimum.
2. Desain eksperimen lebih efisien dan singkat karena memungkinkan melakukan sebuah penelitian yang melibatkan banyak faktor dan jumlah.
3. Memungkinkan diperolehnya suatu proses yang menghasilkan produk yang konsisten dan kokoh terhadap faktor yang tidak dapat dikontrol (faktor gangguan).

Untuk mengevaluasi sebuah produk dalam metode taguchi digunakan logaritma khusus yang disebut *signal to noise ratio (S/N Rasio)*. Adapun jenis dari S/N Rasio dibagi menjadi :

- *Nominal The Best*

Pada kategori merupakan karakteristik kualitas yang nilainya dapat positif maupun negatif. Kategori ini dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut :

$$S/N_{NB} = 10\text{Log}_{10} \frac{\mu^2}{\sigma^2} \quad (2.2)$$

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \quad (2.3)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \mu)^2 \quad (2.4)$$

Dengan :

n = banyak pengulangan tiap eksperimen

y = nilai tiap *run*

μ = rata-rata tiap *run*

σ^2 = deviasi dari setiap run

- *Smaller The Better*

Pada kategori ini nilainya bersifat non negatif dan idealnya adalah nol. Kategori ini memiliki karakteristik dimana nilai yang dituju adalah nilai terkecil. Kategori ini dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut :

$$S/N_{SB} = -10\text{Log}_{10} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \quad (2.5)$$

- *Larger The Better*

Pada kategori ini nilai bersifat non negatif dengan nilai ideal tak hingga. Karakteristik dari kategori ini adalah nilai yang dituju merupakan nilai terbesar. Nilai dari rasio ini dapat dicari dengan persamaan berikut :

$$S/N_{LB} = -10\text{Log}_{10} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \quad (2.6)$$

Dalam perancangannya metode ini menggunakan matriks khusus bernama Matriks ortogonal yang dapat dilihat pada Gambar 2-5. Matriks ini digunakan untuk menentukan jumlah eksperimen minimal namun memberikan informasi sebanyak mungkin dari semua faktor yang mempengaruhi parameter target. Hal penting dari metode ini adalah pemilihan kombinasi level variabel-variabel *input* untuk tiap eksperimen.

FACTORS	LEVELS	TOTAL NUMBER OF EXPERIMENTS	
		FULL FACTORIAL DESIGN	TAGUCHI DESIGN
2	2	4 (2 ²)	4
3	2	8 (2 ³)	4
4	2	16 (2 ⁴)	8
7	2	128 (2 ⁷)	8
15	2	32,768 (2 ¹⁵)	16
4	3	81 (3 ⁴)	9

Gambar 2-5 Matriks ortogonal pada metode taguchi [24].

Selanjutnya untuk menentukan besar kontribusi dari tiap faktor dalam eksperimen taguchi dibutuhkan analisis ANOVA (*Analysis of Variance*) [24]. Berikut beberapa perhitungan dalam analisis ANOVA :

- Menentukan *Sum of Square* (SS) atau jumlah kuadrat

$$SS = \left[\sum_{i=1}^k \left(\frac{y_i^2}{n} \right) \right] - \frac{T^2}{N} \quad (2.7)$$

$$SS_T = \left[\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n y_{ij}^2 \right] - \frac{T^2}{N} \quad (2.8)$$

Dengan :

SS = jumlah kuadrat

SS_T = total jumlah kuadrat

T = jumlah seluruh hasil pengamatan

N = jumlah pengamatan

k = banyaknya level

- Menentukan *degree of freedom* (df) atau derajat bebas

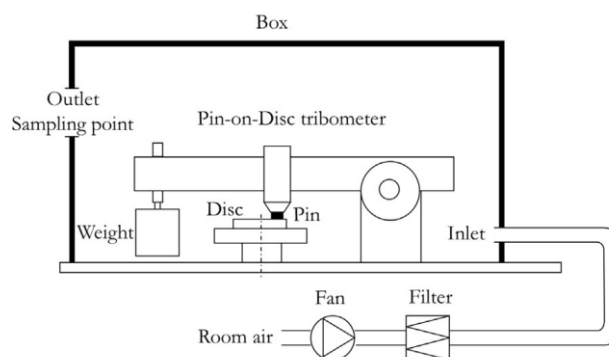
$$df = N - 1 \quad (2.9)$$

- Menentukan *mean of square* (MS)

$$MS = \frac{SS}{v} \quad (2.10)$$

2.2.7 Pengujian tribologi

Sebuah pengujian diperlukan untuk mengetahui sifat atau karakteristik material. Untuk mendapatkan nilai gaya gesek dan aus dari sebuah material salah satu caranya dengan pengujian menggunakan mesin tribometer *pin on disc*. Tribometer *pin on disc* merupakan alat uji yang sering dipakai di dunia penelitian untuk mempelajari karakteristik gesekan dan aus suatu benda atau material dalam kondisi yang terkontrol [25]. Umumnya output dari alat tribometer *pin on disc* berupa koefisien gesek (COF) dan laju aus spesifik (*Wear rate*) selama kondisi *steady state*.



Gambar 2-6 Skema mesin tribometer *pin on disc*.

Pada Gambar 2-6 menunjukkan skema pengujian tribometer dengan disc yang berotasi horizontal. Pada pengujian ini beban mati ditambahkan untuk menyimulasikan besaran *contact pressure* yang diinginkan pada pin. Beberapa

parameter pengujian pada tribometer *pin on disc* berupa kecepatan putar (rpm) dan gaya normal yang ditetapkan (N). Untuk pengukuran gesekan pada mesin tribometer biasanya memanfaatkan sebuah sensor *load cell* sedangkan untuk laju aus bisa didapatkan dengan menimbang massa material uji sebelum dan sesudah dilakukan pengujian kemudian menghitungnya dalam persamaan berikut:

$$k = \frac{\Delta m}{\rho \cdot \Delta s \cdot F_N} \quad (2.11)$$

Dimana :

Δm = Massa yang hilang dari spesimen

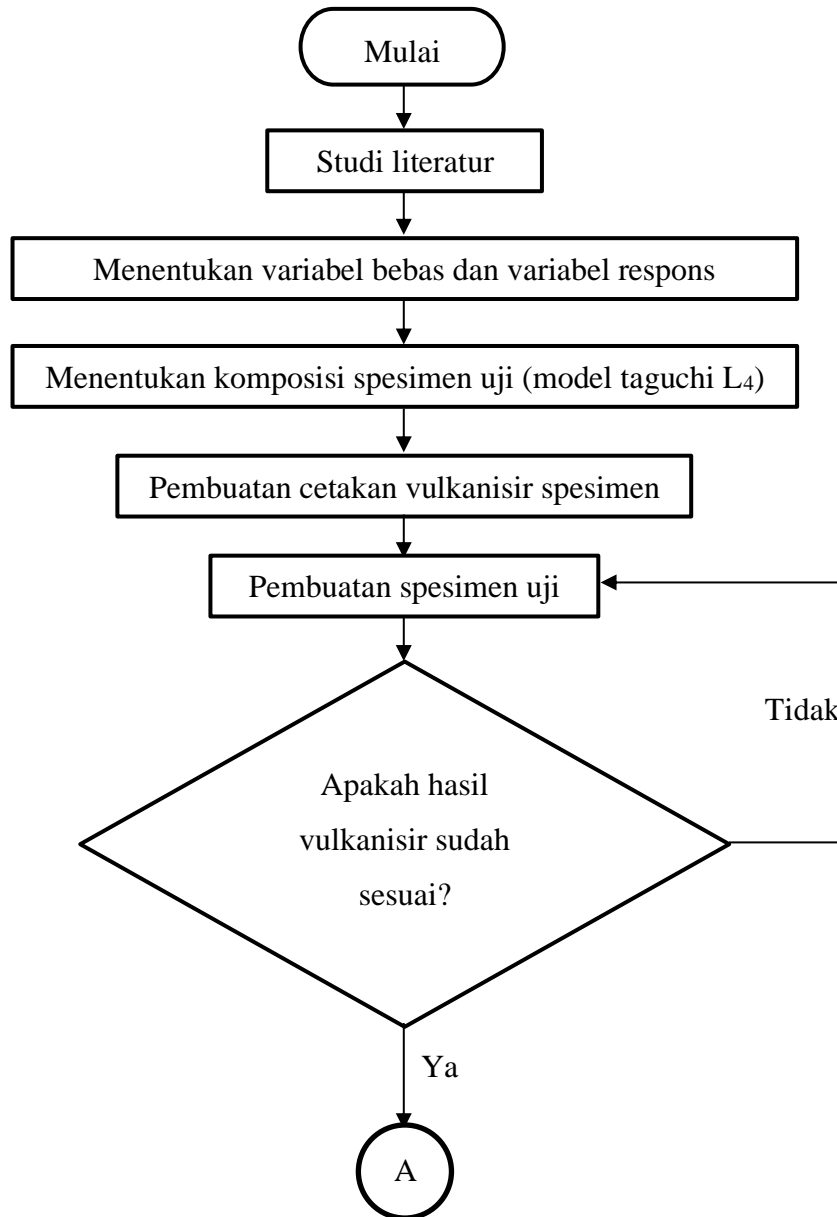
Δs = jarak *sliding* selama pengujian

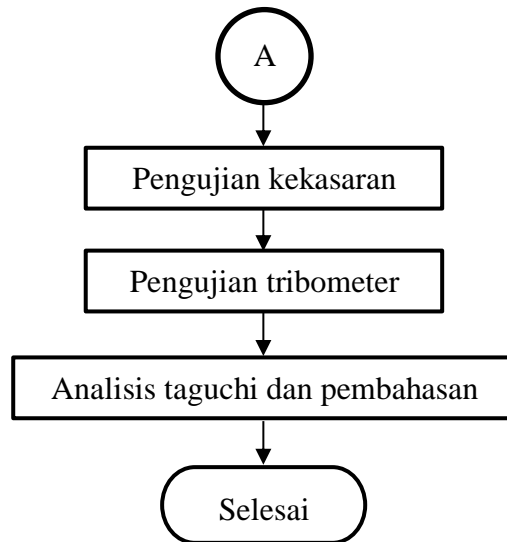
F_N = gaya normal yang diberikan pada pin

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian





Gambar 3-1 Diagram alur penelitian.

Secara garis besar penelitian ini dilakukan dengan beberapa langkah berikut :

- Dimulai dengan studi literatur untuk mengetahui secara garis besar mengenai kaki palsu, material karet alam, teknik pengolahan karet alam, metode desain eksperimen taguchi, serta beberapa pengujian terkait.
- Pembuatan spesimen uji material karet alam dengan beberapa variasi bahan campuran dan parameter teknik pengolahan yang telah didapatkan melalui studi literatur yang kemudian disesuaikan menggunakan metode Taguchi. Ukuran spesimen uji yang berbentuk cakram (*disc*) memiliki diameter 60 mm dan tebal 10 mm. Spesimen uji material karet alam dibuat menggunakan cetakan aluminium dengan tebal 12 mm yang diproses dengan permesinan CNC.
- Kemudian dilanjutkan dengan pengujian kekasaran dan tribologi. Untuk pengujian kekasaran dilakukan dengan mengukur kekasaran permukaan spesimen sebanyak 3 kali pada titik yang berbeda. Selanjutnya dilakukan pengujian menggunakan mesin tribometer untuk mendapatkan nilai gaya gesek dan aus dari spesimen.
- Berdasarkan hasil nilai gaya gesek dan aus kemudian akan dianalisis menggunakan metode Taguchi untuk mendapatkan komposisi terbaik dari komposisi campuran spesimen.

3.2 Metodologi Penelitian

Pada penelitian ini untuk mempermudah prosesnya dibantu dengan metode desain eksperimen taguchi. Metode ini dipilih karena memiliki beberapa kelebihan dan dirasa lebih efisien baik dari segi waktu dan biaya dibanding dengan metode faktorial. Penentuan faktor yang memengaruhi spesimen, jumlah level dari setiap faktor dan *noise* harus ditentukan di awal dalam metode taguchi. Berikut langkah-langkah yang dilakukan pada penelitian ini :

- a) Penentuan karakteristik material yang diinginkan. Pada produk telapak kaki palsu umumnya memiliki dua karakteristik utama yang dibutuhkan yaitu nilai aus yang rendah (*smaller the better*) dan gaya gesek yang tinggi (*larger the better*). Untuk aus yang rendah diharapkan material lebih awet saat digunakan. Untuk gaya gesek diharapkan telapak kaki dapat aman digunakan tidak licin atau tidak slip.
- b) Identifikasi beberapa faktor yang dapat memengaruhi karakteristik material. Dalam penelitian ini beberapa faktor yang dianggap memengaruhi karakteristik material kaki palsu adalah sebagai berikut :

- Sulfur

Sulfur memiliki peran yang penting dalam proses vulkanisasi karet alam, berperan sebagai agen pengikat molekul karet alam. Variasi persentase sulfur 4% dan 5% dipilih menyesuaikan dengan penelitian yang sudah ada oleh Baharuddin [11] dan Supraptiningsih [12] dalam proses vulkanisasi dengan suhu 150°C.

- Kalsium Karbonat (*Filler*)

Filler merupakan bahan tambahan dalam komposit karet alam yang bertugas untuk menambahkan sifat yang diinginkan. Penambahan kalsium karbonat sebagai filler pada penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan ketahanan aus dari material telapak kaki palsu. Variasi 25% dan 30% diambil dari penelitian sebelumnya terkait *filler* kalsium karbonat dan *filler* pada proses vulkanisasi oleh Fachry [5] dan Supraptiningsih [12].

Faktor dan level penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 3-1. Terdapat 3 faktor dan 2 level, maka matriks yang sesuai untuk mendapatkan informasi yang maksimal dan efisien adalah $L_4 (2^3)$. Selanjutnya variasi tiap faktor dimasukkan pada matriks ortogonal L_4 pada Tabel 3-2 sehingga menjadi desain eksperimen seperti pada Tabel 3-3. Sesuai dengan matriks L_4 terdapat 4 eksperimen dengan komposisi berbeda. Setiap eksperimen dilakukan 3 kali pengulangan untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat.

Tabel 3-2 Matriks ortogonal L_4 .

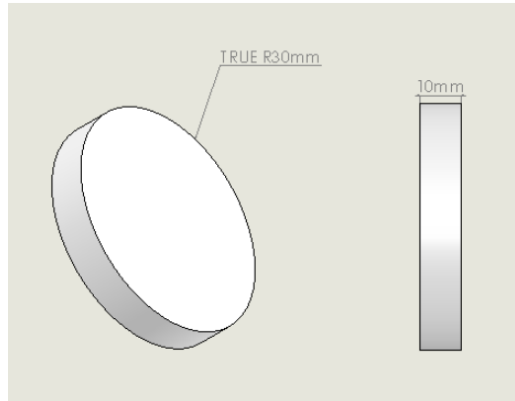
Orthogonal Array L_4			
Eksperimen	Kolom		
1	1	1	1
2	1	2	2
3	2	1	2
4	2	2	1

Tabel 3-3 Hasil desain eksperimen matriks ortogonal L_4 .

Orthogonal Array L_4			
Eksperimen	Kalsium Karbonat (%)	Sulfur (%)	Waktu Vulkansisasi (menit)
1	25	4	30
2	25	5	40
3	30	4	40
4	30	5	30

3.3 Objek Penelitian

Objek dalam penelitian ini merupakan komposit karet alam dari hasil proses vulkanisasi sulfur yang telah ditentukan sebelumnya menggunakan metode taguchi. Bentuk spesimen seperti terlihat pada Gambar 3-2 berupa piringan cakram dengan diameter 60 mm dan tebal 10 mm menyesuaikan kapasitas dari mesin tribometer *pin on disc*.



Gambar 3-2 Dimensi spesimen uji.

3.4 Peralatan dan Bahan

Pada penelitian ini terdapat beberapa alat dan bahan yang digunakan dalam pembuatan spesimen uji serta proses pengujian.

3.4.1 Alat

1. Mesin vulkanisir

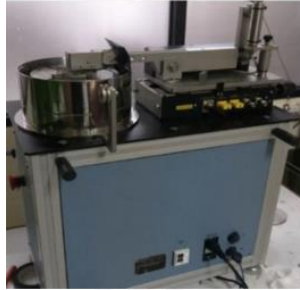
Merupakan alat yang berfungsi untuk mematangkan elastomer/karet melalui proses vulkanisasi dengan pemanas dan pemberian tekanan pada cetakan. Bentuk dari mesin vulkanisir dapat dilihat pada Gambar 3-3.



Gambar 3-3 Mesin vulkanisir.

2. Mesin tribometer

Alat ini digunakan untuk melakukan uji tribologi yang dapat menghasilkan *output* di antaranya berupa gaya gesek. Gambar 3-4 merupakan mesin tribometer *pin on disc* yang ada di Laboratorium Teknik Mesin UII.



Gambar 3-4 Mesin tribometer.

3. Vakum udara

Berfungsi menghilangkan udara yang terjebak di dalam kompon karet alam untuk mengurangi *void* pada hasil material saat vulkanisasi. Alat vakum yang dipakai pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3-5.



Gambar 3-5 Vakum udara.

4. *Drill cordless*

Berfungsi sebagai alat bantu dalam mengaduk kompon karet alam setelah lateks dicampur dengan material lain. Seperti terlihat pada Gambar 3-6 merupakan mesin bor tangan baterai dengan tegangan 12 volt dengan kecepatan putar 600 rpm.



Gambar 3-6 *Drill cordless.*

5. Neraca digital

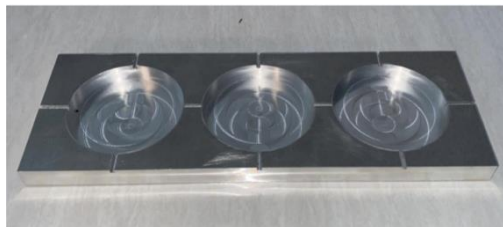
Berfungsi mengukur komposisi massa material yang akan dicampurkan untuk membuat kompon karet alam yang telah ditentukan dengan metode Taguchi. Neraca digital yang dipakai pada penelitian ini merupakan timbangan emas seperti pada Gambar 3-7.



Gambar 3-7 Neraca digital.

6. Cetakan spesimen

Benda seperti pada Gambar 3-8 berfungsi untuk membentuk spesimen uji ketika proses vulkanisasi berlangsung dengan ukuran yang sudah disesuaikan untuk pengujian tribometer.

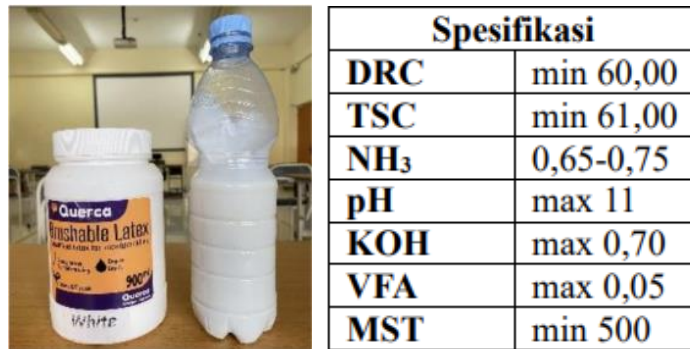


Gambar 3-8 Cetakan spesimen.

3.4.2 Bahan

1. Lateks karet alam

Merupakan material utama dalam penelitian ini untuk pembuatan spesimen uji dengan variasi komposisi penyusun yang sudah ditetapkan dengan Taguchi. Lateks karet alam yang digunakan pada penelitian ini merupakan lateks DRC 60% yang dibeli pada salah satu *e-commerce* dengan nama toko “NRShop” seperti pada Gambar 3-9.



Gambar 3-9 Lateks karet alam dan spesifikasinya.

2. Sulfur

Merupakan material tambahan yang bertugas sebagai agen pengikat pada proses vulkanisasi. Bubuk sulfur pada penelitian ini didapatkan dari salah satu toko bahan kimia Jaya Mulyo yang beralamat di Pleret, Bantul dapat dilihat pada Gambar 3-10.



Gambar 3-10 Sulfur.

3. Kalsium karbonat (CaCO₃)

Material tambahan bertugas sebagai bahan pengisi yang dapat meningkatkan sifat material karet alam. Kalsium karbonat berwujud bubuk

halus berwarna putih mirip dengan bedak seperti terlihat pada Gambar 3-11. Kalsium Karbonat pada penelitian ini didapatkan dari salah satu toko bahan kimia Jaya Mulyo yang beralamat di Pleret, Bantul.



Gambar 3-11 Kalsium karbonat.

4. Asam stearat

Zat ini bertugas sebagai aktivator untuk mempercepat proses vulkanisasi kompon karet alam. Asam stearat berbentuk buliran kasar berwarna putih seperti pada Gambar 3-12. Bahan ini didapatkan dari salah satu toko bahan kimia Jaya Mulyo yang beralamat di Pleret, Bantul.



Gambar 3-12 Asam stearat.

5. Zinc oksida (ZnO)

Zat ini juga berperan sebagai aktivator untuk mempercepat proses vulkanisasi kompon karet alam. Aktivator ZnO yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3-13. Bahan ini didapatkan dari toko “BDA_Chemical” di salah satu *e-commerce*.



Gambar 3-13 Zinc oksida.

6. *Molding solution*

Berfungsi sebagai pelapis cetakan yang dapat memudahkan pelepasan spesimen ketika sudah mengeras setelah proses vulkanisir. Brand yang digunakan untuk *molding solution* pada penelitian ini adalah *miracle gloss* seperti pada Gambar 3-14.

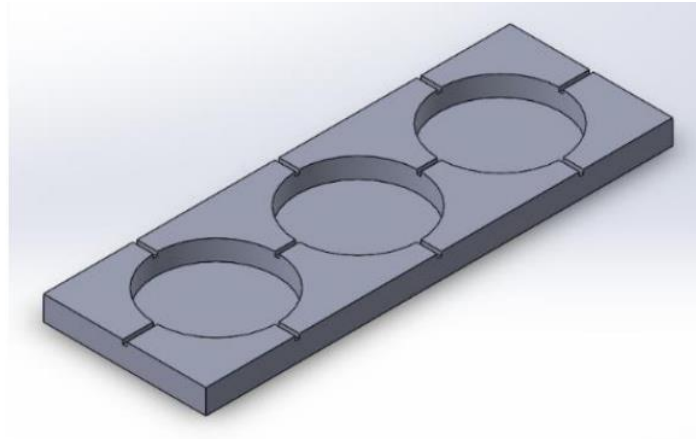


Gambar 3-14 *Molding solution*.

3.5 Pembuatan Spesimen Uji

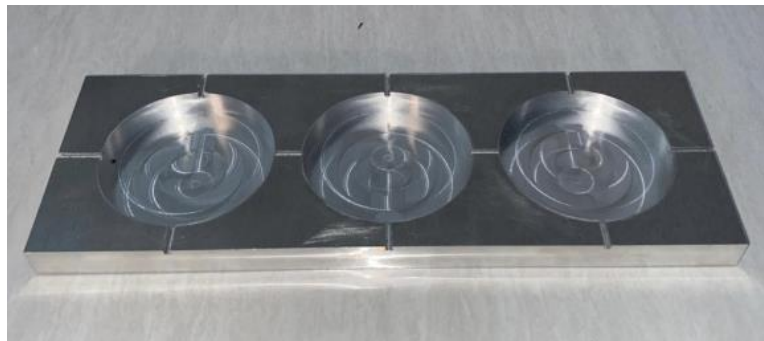
Untuk mendapatkan nilai karakteristik berupa gaya gesek dan aus dari material karet alam perlu dilakukan sebuah pengujian, salah satunya uji tribologi. Sehingga dibutuhkan spesimen uji yang sesuai dengan alat uji yang akan digunakan yaitu tribometer *pin on disc*. Pada pembuatan spesimen uji tribologi material karet alam dibutuhkan beberapa langkah sebagai berikut :

1. Pembuatan desain cetakan spesimen uji seperti pada Gambar 3-15 menggunakan aplikasi CAD *solidworks*.



Gambar 3-15 Desain cetakan spesimen uji tribologi.

2. Proses permesinan cetakan spesimen uji dengan mesin CNC, material aluminium dipilih karena pada proses vulkanisasi cetakan akan terpapar suhu tinggi (150°C) selama minimal 30 menit. Hasil cetakan spesimen uji dapat dilihat pada Gambar 3-16.



Gambar 3-16 Hasil permesinan cetakan spesimen uji.

3. Menyiapkan campuran bahan sesuai dengan variasi yang sudah ditentukan dengan *orthogonal array* pada Tabel 3-3. Untuk mempermudah penentuan takaran bahan digunakan timbangan digital. Semua bahan utama seperti sulfur dan kalsium karbonat ditimbang sesuai persentase yang telah ditentukan untuk setiap eksperimen. Sebagai contoh untuk eksperimen 1 komposisi campuran berupa sulfur sebanyak 4% dari total massa karet yang dibutuhkan dalam satu sampel yaitu 90 gram maka didapatkan kuantitas sulfur sebanyak 3,6 gram, juga berlaku hal yang sama untuk kalsium karbonat serta bahan tambahan semisal ZnO (5%) dan Asam stearat (1%) yang dapat dilihat pada Gambar 3-17.



Gambar 3-17 Takaran bahan campuran komposit karet alam.

4. Mencampurkan semua bahan dengan urutan lateks kemudian kalsium karbonat, sulfur, ZnO dan asam stearat. Urutan pencampuran ini diperlukan karena apabila zat aktivator (ZnO dan asam stearat) didahulukan maka lateks akan menggumpal sebelum bahan tercampur rata. Untuk proses pengadukan dibantu dengan mesin *drill cordless* seperti pada Gambar 3-18 bertujuan agar campuran lebih merata.



Gambar 3-18 Proses pengadukan campuran lateks.

5. Menuangkan kompon karet yang sudah tercampur ke dalam cetakan seperti pada Gambar 3-19. Namun sebelum dituang cetakan diberikan *wax/molding solution* serta *talca/bedak* untuk memudahkan pelepasan spesimen setelah proses vulkanisasi.



Gambar 3-19 Penuangan kompon ke dalam cetakan.

6. Untuk mengurangi udara yang terjebak pada kompon seperti yang terlihat pada Gambar 3-19, diperlukan proses vakum menggunakan mesin vakum udara seperti pada Gambar 3-20.



Gambar 3-20 Proses vakum kompon karet.

7. Memasukkan kompon karet yang sudah divakum ke dalam mesin vulkanisir yang telah dipanaskan sesuai dengan suhu yang ditetapkan yaitu 150°C dan variasi waktu yang juga ditetapkan yaitu 30 dan 40 menit.
8. Ketika sudah memenuhi waktu yang telah ditentukan dan indikator waktu pada mesin sudah menunjukkan selesai maka cetakan dikeluarkan. Setelah melalui proses vulkanisasi kompon karet yang awalnya cair akan berubah menjadi karet elastis yang ditunjukkan pada Gambar 3-21. Terakhir

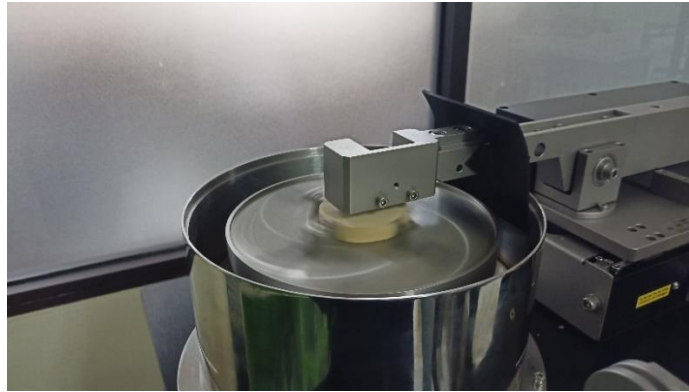
material sisa yang masih menempel pada spesimen bisa dihilangkan agar menjadi piringan cakram yang sempurna.



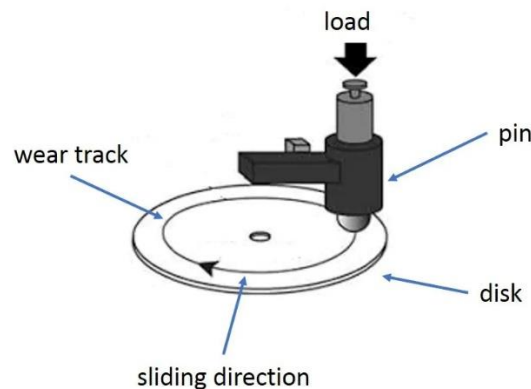
Gambar 3-21 Hasil vulkanisasi kompon karet alam .

3.6 Pengujian Spesimen

Pada penelitian material karet alam ini pengujian tribologi menggunakan mesin tribometer *pin on disc*. Pengujian dilakukan untuk mendapatkan nilai gaya gesek dan aus material karet alam dari setiap variasi spesimen yang telah dibuat. Spesimen uji berbentuk piringan cakram dengan diameter 60 mm dan tebal 10 mm yang telah disesuaikan dengan kapasitas cengkeram mesin tribometer yang ada. Pada pengujian ini spesimen akan diputar horizontal oleh motor servo seperti pada Gambar 3-22 dengan kecepatan dan waktu yang sudah ditentukan. Kemudian pada permukaan spesimen uji juga telah diatur *pin* berbentuk bola berdiameter 10 mm dengan jarak dan gaya normal yang ditentukan. Selama berputar *pin* dan permukaan spesimen akan berkontak sehingga menimbulkan gaya gesek dan aus. Kemudian hasil dari gerakan *pin* akan dibaca oleh sensor *load cell* yang menghasilkan *output* besar gaya gesek dan laju aus. Untuk lebih jelas skema pengujian dapat dilihat pada Gambar 3-23.



Gambar 3-22 Pengujian tribometer.



Gambar 3-23 Skema pengujian tribometer *pin on disc*.

Dalam pengujian material ini pengaturan beberapa parameter mesin tribometer sebagai berikut :

1. Laju putaran : 200 Rpm
2. Waktu pengujian : 8 menit
3. *Wear track* : 30 mm
4. Load : 5 N

Pada penelitian sebelumnya didapatkan parameter beban sebesar 7 N yang didapatkan dari perhitungan beban yang dialami kaki bagian *midfoot* dengan asumsi berat pengguna adalah 100 kg dan luasan *midfoot loading* sebesar 54cm² [26]. Penelitian sebelumnya memiliki skema pengujian dimana spesimen uji bertugas sebagai *pin* dan piringan cakram berupa simulasi medan yang dilalui oleh kaki yaitu keramik kasar dan halus. Sedangkan dalam penelitian ini spesimen uji bertugas sebagai piringan cakram yang akan berkontak dengan *pin* bola, jika sebelumnya kontak area *pin* dapat dihitung sehingga dengan persamaan tekanan didapatkan beban yang dibutuhkan yaitu 7 N.

$$P = \frac{F}{A}$$

$$P = \frac{500 \text{ N}}{54 \times 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$P = 92592,59259 \text{ N/m}^2$$

$$F = P \times A$$

$$F = 92592,59259 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times 3,14 \times 0,005^2 \text{ m}^2$$

$$F = 7,3 \text{ N} \sim 7 \text{ N}$$

Namun, pada penelitian ini hal yang sama tidak bisa dilakukan karena luasan kontak area *pin* dan *disc* tidak bisa dihitung secara langsung sehingga untuk mempermudah pengujian dipikirkan beban 5 N. Pengujian ini bertujuan mengetahui pengaruh dari setiap variasi kontrol faktor terhadap gaya gesek dan aus material karet alam sehingga tidak memfokuskan parameter uji dengan keadaan riil ketika kaki palsu digunakan.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Kekasaran

Pengujian ini dilakukan pada tiga replikasi spesimen dalam tiap varian eksperimen. Walaupun menggunakan cetakan yang sama, setiap varian memiliki hasil yang berbeda seperti pada Tabel 4-1. Terdapat spesimen yang memiliki penyimpangan yang rendah sehingga bisa dikatakan memiliki kekasaran yang hampir seragam seperti pada varian 1 namun juga terdapat spesimen dengan kekasaran yang kurang seragam dengan nilai standar deviasinya mencapai 0,44. Jika dilihat dari hasil uji kekasaran, spesimen yang memiliki rata-rata permukaan paling halus adalah varian 2 dan paling kasar varian 1.

Tabel 4-1 Hasil pengujian kekasaran.

Varian	Sampel	Pengujian ke-n (μm)			Rata-rata @sampel	Rata-rata @varian	Standar deviasi
		T1	T2	T3			
1	A	5,76	5,66	6,04	5,82	5,66	0,14
	B	5,71	5,55	5,57	5,61		
	C	6,31	5,95	4,42	5,56		
2	A	4,07	3,67	7,89	5,21	4,70	0,44
	B	4,07	3,89	5,34	4,43		
	C	5,34	3,65	4,36	4,45		
3	A	4,61	4,58	4,02	4,40	4,78	0,42
	B	3,79	5,69	4,62	4,70		
	C	6,50	4,82	4,37	5,23		
4	A	4,94	4,51	6,39	5,28	4,92	0,35
	B	4,84	3,55	5,38	4,59		
	C	4,36	6,00	4,29	4,88		

Perbedaan tingkat kekasaran dari semua spesimen ini bisa disebabkan karena tidak seragamnya campuran yang terlarut dalam tiap varian kompon. Hal tersebut juga

disebabkan oleh kompon yang tidak mengisi sepenuhnya ruang cetakan atau terdapat bahan yang mengkristal pada permukaan spesimen seperti pada Gambar 4-1 yang ditunjukkan oleh titik A dan B. Namun secara garis besar setiap spesimen memiliki tingkat kekasaran yang relatif mirip dengan rentang rata-rata setiap varian 4,70-5,66 μm hanya terpaut ± 1 mikrometer.



Gambar 4-1 Penampakan spesimen uji.

4.2 Hasil Pengujian Tribologi

Setelah dilakukan pengujian menggunakan mesin tribometer *pin on disc* didapatkan hasil berupa nilai gaya gesek dan besar aus pada setiap varian eksperimen, berikut hasil dari pengujian sifat tribologi :

4.2.1 Gaya gesek

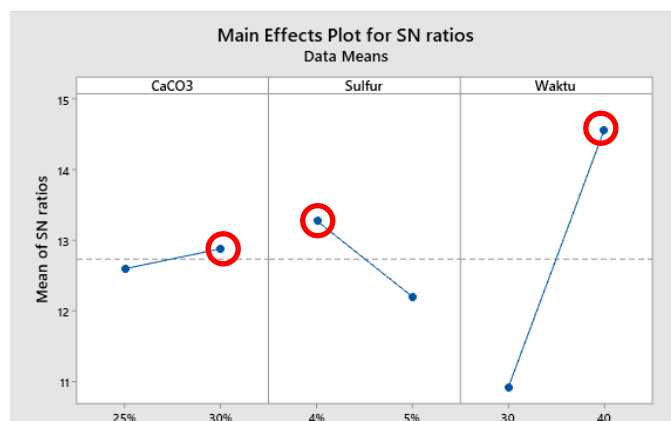
Tabel 4-2 Hasil pengujian gaya gesek.

Eksperimen	Hasil Gaya Gesek (N)			Perhitungan		
	Replika 1	Replika 2	Replika 3	Rata-rata	Varian	S/N _{LB}
1	2,59	4,52	3,92	3,67	0,97	10,56
2	4,96	5,08	4,79	4,94	0,02	13,87
3	5,51	6,21	5,62	5,78	0,14	15,20
4	3,19	3,35	3,53	3,35	0,03	10,49
Rata-rata S/N						12,53

Setelah mendapatkan gaya gesek, selanjutnya dilakukan perhitungan untuk menentukan rata-rata setiap eksperimen menggunakan persamaan (2.3) kemudian untuk varian atau deviasi menggunakan persamaan (2.4) sehingga menghasilkan nilai yang tertera di kolom rata-rata dan varian pada Tabel 4-2. Setelah didapatkan nilai rata-rata dan varian maka *signal to noise ratio larger the better* dapat dicari menggunakan persamaan (2.6) sehingga menjadi nilai yang terdapat pada kolom paling kanan (S/N_{LB}). Kemudian dicari rata-rata dari S/N rasio setiap faktor dengan menggunakan persamaan (2.3) pada semua *trial* yang memiliki faktor yang sama. Sebagai contoh untuk S/N A1 yaitu kode untuk kalsium karbonat level 1 (25%). Maka nilai S/N setiap eksperimen yang mengandung kalsium karbonat 25% akan dirata-ratakan dengan persamaan (2.3) sehingga muncul nilai seperti pada Tabel 4-3 di bawah :

Tabel 4-3 Rata-rata S/N rasio gaya gesek.

<i>S/N Larger the better</i>	
A1	12,22
A2	12,85
B1	12,88
B2	12,18
C1	10,52
C2	14,54



Gambar 4-2 Grafik plot S/N rasio *larger the better*.

Kemudian setelah diketahui nilai S/N rasio dari setiap faktor dan levelnya maka didapatkan grafik plot S/N *larger the better* seperti pada Gambar 4-2. Untuk

faktor dan level terbaik adalah dengan melihat nilai yang paling tinggi dari setiap faktor. Diperoleh hasil prediksi komposisi terbaik dari optimasi gaya gesek adalah 30% kalsium karbonat, 4% sulfur, dan waktu vulkanisasi selama 40 menit. Nilai prediksi dari komposisi ini sebagaimana tercantum pada Tabel 4-4. Untuk nilai *existing* atau *baseline* didapatkan dari variasi setiap faktor yang pernah dibuat pada penelitian sebelumnya berupa 30% kalsium karbonat, 5% sulfur dan waktu vulkanisasi selama 30 menit.

Tabel 4-4 Prediksi nilai S/N dan S/N *existing* optimasi gaya gesek.

<i>S/N Existing</i>		<i>S/N Prediction</i> (optimasi gesek)	
Parameter	S/N	Parameter	S/N
Rata-rata S/N	12,53	Rata-rata S/N	12,53
A2	12,85	A2	12,85
B2	12,18	B1	12,88
C1	14,54	C2	14,54
Pexist	14,50	Popt	15,20

Nilai Popt dan Pexist didapatkan dengan cara :

$$Popt = \sum S/N_{tiap\ faktor} - ((n - 1)(Rata - rata\ S/N))$$

Keterangan :

n = Jumlah replikasi

Diketahui bahwa nilai dari S/N rasio optimal optimasi gaya gesek adalah 15,20 maka dengan menggunakan persamaan (2.6) dapat diketahui nilai gayanya sebagai berikut :

$$S/N_{LB} = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right]$$

$$15,20 = -10 \log \left[\frac{1}{1} \sum_{i=1}^1 \frac{1}{y_i^2} \right]$$

$$15,20 = -10 \log \frac{1}{y_i^2}$$

$$-1,52 = \log \frac{1}{y_i^2}$$

$$10^{-1,52} = \frac{1}{y_i^2}$$

$$y_i^2 = \frac{1}{10^{-1,52}}$$

$$y_i = \sqrt{10^{1,52}}$$

$$y_i = 5,75 \text{ N}$$

Setelah mendapatkan nilai prediksi maka dilakukan konfirmasi pembuatan spesimen uji dengan komposisi optimum yaitu 30% kalsium karbonat, 4% sulfur, dan 40 menit waktu vulkanisasi walaupun pada dasarnya untuk komposisi tersebut sudah ada pada eksperimen 3 dengan nilai gaya sebesar 5,78 N. Hasil pengujian konfirmasi sebagaimana pada Tabel 4-5 di bawah :

Tabel 4-5 Hasil konfirmasi optimasi gaya gesek.

No.	Gaya gesek optimum (N)
1	6
2	5,58
3	5,65
Rata-rata	5,813
S/N rasio	15,30

Tabel 4-6 Nilai *gain* optimasi gaya gesek.

Prediksi		Konfirmasi	
<i>Existing Design</i>	14,50	<i>Existing Design</i>	14,50
<i>Optimum Design</i>	15,20	<i>Optimum Design</i>	15,30
<i>Gain</i>	0,70	<i>Gain</i>	0,80
Kesimpulan		<i>High Improvement</i>	

Tabel 4-7 Kriteria *n-gain* [27].

Kriteria	Poin Gain
Tinggi	$g > 0,7$
Sedang	$0,3 < g \leq 0,7$
Kurang	$g \leq 0,3$

Jika mengacu pada kriteria *n-gain* Tabel 4-7 nilai yang didapatkan dari prediksi maupun konfirmasi material optimasi gaya gesek pada Tabel 4-6 sebesar 0,7 dan 0,8. Sehingga dapat disimpulkan bahwa optimasi ini mengalami peningkatan yang sedang hingga tinggi.

4.2.2 Nilai massa aus

Massa aus spesimen didapat dengan cara mengurangi massa spesimen sebelum dengan sesudah di uji menggunakan tribometer. Hasil pengurangan massa spesimen dapat dilihat pada Tabel 4-8.

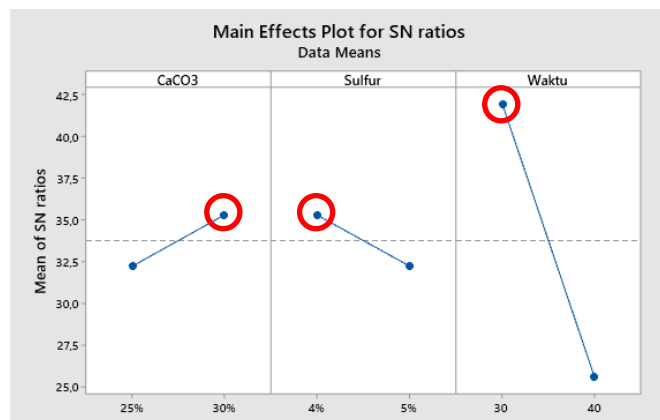
Tabel 4-8 Hasil pengurangan massa spesimen setelah pengujian.

Eksperimen	Hasil Massa Aus (gram)			Perhitungan		
	Replika 1	Replika 2	Replika 3	Rata-rata	Varian	S/N _{SB}
1	0,004	0,011	0,009	0,008	0,000013	41,387
2	0,068	0,064	0,093	0,075	0,000247	22,373
3	0,062	0,028	0,022	0,037	0,000465333	27,685
4	0,008	0,008	0,009	0,008	3,33333E-07	41,570
Rata-rata S/N						33,254

Dari data massa aus di atas dilakukan perhitungan untuk mencari nilai rata-rata menggunakan persamaan (2.3) dan varian menggunakan persamaan (2.4). Selanjutnya untuk menentukan nilai S/N *smaller the better* dapat menggunakan persamaan (2.5) sehingga mendapatkan nilai yang ada pada Tabel 4-8. Setelah mendapatkan nilai S/N_{SB} maka dapat dicari rata-rata dari S/N rasio setiap faktor dengan menggunakan persamaan (2.3) pada semua eksperimen yang memiliki faktor yang sama. Sebagai contoh A2 yaitu kode untuk kalsium karbonat level 2 (30%). Maka nilai S/N setiap eksperimen yang mengandung kalsium karbonat 30% akan dirata-ratakan dengan persamaan (2.3). Nilai rata-rata S/N dari setiap faktor dapat dilihat pada Tabel 4-9.

Tabel 4-9 Rata-rata S/N rasio massa aus.

<i>S/N Smaller the better</i>	
A1	31,880
A2	34,628
B1	34,536
B2	31,972
C1	41,478
C2	25,029



Gambar 4-3 Grafik plot S/N rasio *smaller the better*.

Dengan mengetahui nilai S/N rasio dari setiap faktor dan levelnya maka didapatkan grafik plot S/N *smaller the better* seperti pada Gambar 4-3. Faktor dan level terbaik adalah nilai yang paling tinggi. Sehingga prediksi komposisi terbaik dari optimasi aus adalah 30% kalsium karbonat, 4% sulfur, dan waktu vulkanisasi selama 30 menit. Nilai prediksi dari komposisi ini sebagaimana tercantum pada Tabel 4-10. Untuk nilai *existing* atau *baseline* didapatkan dari variasi setiap faktor yang pernah dibuat pada penelitian sebelumnya berupa 30% kalsium karbonat, 5% sulfur dan waktu vulkanisasi selama 30 menit.

Tabel 4-10 Prediksi nilai S/N dan S/N *existing* optimasi massa aus.

<i>S/N Existing</i>		<i>S/N Prediction</i> (optimasi aus)	
Parameter	S/N	Parameter	S/N
Rata-rata S/N	33,254	Rata-rata S/N	33,254
A2	34,628	A2	34,628
B2	31,972	B1	34,536
C1	41,478	C1	41,478
Pexist	41,570	Popt	44,134

Untuk mengetahui nilai massa aus dalam gram dapat dicari menggunakan persamaan (2.5) dengan memasukkan nilai S/N yaitu 44,134 sebagai berikut :

$$S/N_{SB} = -10\text{Log}_{10} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right]$$

$$44,134 = -10\log \left[\frac{1}{1} \sum_{i=1}^1 y_i^2 \right]$$

$$44,134 = -10\log y_i^2$$

$$-4,4134 = \log y_i^2$$

$$10^{-4,4134} = y_i^2$$

$$\frac{1}{10^{4,4134}} = y_i^2$$

$$\sqrt{\frac{1}{10^{4,4134}}} = y_i$$

$$y_i = 0,006 \text{ gram}$$

Karena kombinasi komposisi optimal belum ada di eksperimen manapun, maka diperlukan pembuatan spesimen baru untuk melakukan konfirmasi apakah nilai aus sesuai dengan prediksi atau tidak. Hasil pengujian konfirmasi sebagaimana pada Tabel 4-11.

Tabel 4-11 Hasil konfirmasi optimasi massa aus.

No.	Massa aus optimum (gr)
1	0,006
2	0,004
3	0.008
Rata-rata	0,006
S/N rasio	44,127

Tabel 4-12 Nilai *gain* optimasi massa aus.

Prediksi		Konfirmasi	
<i>Existing Design</i>	41,570	<i>Existing Design</i>	41,570
<i>Optimum Design</i>	44,134	<i>Optimum Design</i>	44,127
<i>Gain</i>	2,564	<i>Gain</i>	2,557
Kesimpulan		<i>High Improvement</i>	

Jika mengacu pada kriteria *n-gain* Tabel 4-7 nilai *gain* yang didapatkan dari prediksi maupun konfirmasi material optimasi massa aus pada Tabel 4-12 sebesar 2,564 dan 2,557 dapat disimpulkan bahwa optimasi ini mengalami peningkatan yang tinggi.

4.3 Kontribusi Setiap Kontrol Faktor

Selain mengetahui komposisi optimum dari setiap faktor, dalam penelitian ini juga perlu mencari kontribusi dari setiap kontrol faktor untuk mengetahui manakah parameter yang memiliki pengaruh paling besar terhadap peningkatan karakteristik material karet alam. Maka untuk mendapatkan nilai kontribusi setiap faktor dibutuhkan analisis ANOVA dengan beberapa persamaan (2.7), (2.8), (2.9), (2.10) yang sudah disebutkan pada bab 2. Maka kontribusi setiap faktor didapatkan seperti pada Tabel 4-13 dan Tabel 4-14 berikut :

Tabel 4-13 Kontribusi faktor optimasi gaya gesek.

Kontrol Faktor	Kontribusi
Kalsium Karbonat	1,46%
Sulfur	7,26%
Waktu Vulkanisasi	74,33%
<i>Error</i>	16,96%

Tabel 4-14 Kontribusi faktor optimasi massa aus.

Kontrol Faktor	Kontribusi
Kalsium Karbonat	9,96%
Sulfur	10,32%
Waktu Vulkanisasi	65,88%
<i>Error</i>	13,83%

Dari hasil analisis ANOVA untuk optimasi gaya gesek maupun massa aus yang memiliki kontribusi paling besar terhadap sifat material adalah waktu vulkanisasi. Hal ini dikarenakan waktu vulkanisasi merupakan faktor penting dalam proses pematangan karet. Seperti yang dinyatakan oleh Delvitasari dan Maryanti bahwa ketika kompon dipanaskan ikatan polisulfida dengan banyak atom belerang akan putus dan membentuk ikatan silang yang lebih pendek dengan molekul karet, jika waktu vulkanisasi terlalu pendek maka ikatan silang belum terbentuk secara maksimal. Jadi semakin panjang waktu reaksi maka akan semakin banyak molekul belerang yang bereaksi dengan partikel karet hingga mencapai batas maksimumnya [28].

Pada optimasi gaya gesek kontribusi dari kalsium karbonat sangat kecil karena merupakan bahan pengisi (*filler*) pasif yang tidak berpengaruh banyak pada sifat mekanik material namun dapat membantu meningkatkan ketahanan aus dan meningkatkan volume [5]. Hal ini ditunjukkan pada hasil ANOVA optimasi aus kontribusi kalsium karbonat lebih besar (9,96%) dibanding dengan kontribusinya pada optimasi gesek (1,46%).

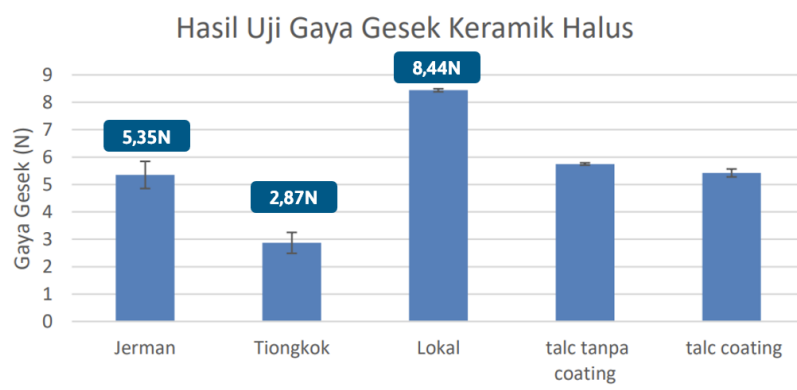
4.4 Perbandingan Hasil Optimasi Material Karet Alam

Pada hasil pengujian tribologi didapatkan bahwa untuk material karet alam yang telah dioptimasi menggunakan metode taguchi memiliki nilai gaya gesek dan massa aus sebagaimana pada Tabel 4-15 di bawah :

Tabel 4-15 Perbandingan nilai gaya gesek dan aus spesimen optimum

Karakteristik	Optimasi Aus	Optimasi Gaya Gesek
Aus (gram)	0,006	0,037
Gaya Gesek (Newton)	3,63	5,78

Jika diamati kedua spesimen optimasi memiliki karakteristik yang berlawanan, ketika nilai gaya gesek tinggi pada spesimen optimasi gaya gesek maka ketahanan ausnya rendah. Hal ini karena gesekan yang besar dapat meningkatkan suhu kontak area dan menyebabkan beban geser yang menimbulkan aus pada permukaan. Begitu pula perubahan permukaan benda akibat aus dapat memengaruhi nilai gaya geseknya [29].



Gambar 4-4 Hasil pengujian beberapa produk telapak kaki palsu [26].

Agar bisa dibandingkan dengan penelitian sebelumnya dan beberapa produk kaki palsu seperti pada Gambar 4-4 dimana parameter beban pada pengujian tribologi berbeda maka dibutuhkan nilai yang sebanding yaitu dengan mencari koefisien gesek serta laju aus. Untuk mencari koefisien gesek dapat dicari menggunakan persamaan (2.1) dan *specific wear rate* dengan persamaan (2.11) sehingga didapatkan perhitungan berikut :

1. Koefisien Gesek

- Material optimasi gaya gesek

$$F = \mu W$$

$$5,78 \text{ N} = \mu 5 \text{ N}$$

$$\mu = \frac{5,78 \text{ N}}{5 \text{ N}}$$

$$\mu = \frac{5,78 \text{ N}}{5 \text{ N}}$$

$$\mu = \frac{5,78 \text{ N}}{5}$$

$$\mu = 1,16$$

- Material optimasi massa aus

$$F = \mu W$$

$$3,63 \text{ N} = \mu 5 \text{ N}$$

$$\mu = \frac{3,63 \text{ N}}{5 \text{ N}}$$

$$\mu = 0,726$$

2. Specific Wear Rate

- Material optimasi gaya gesek

$$k = \frac{\Delta m}{\rho \cdot \Delta s \cdot F_N}$$

$$k = \frac{0,037 \text{ gram}}{0,000754 \text{ g/mm}^3 \cdot 150720 \text{ mm} \cdot 5 \text{ N}}$$

$$k = \frac{0,037 \text{ gram}}{568,214 \text{ g/mm}^3 \cdot \text{mm} \cdot \text{N}}$$

$$k = 0,000006467$$

- Material optimasi massa aus

$$k = \frac{\Delta m}{\rho \cdot \Delta s \cdot F_N}$$

$$k = \frac{0,006 \text{ gram}}{0,000754 \text{ g/mm}^3 \cdot 150720 \text{ mm} \cdot 5 \text{ N}}$$

$$k = \frac{0,006 \text{ gram}}{568,214 \text{ g/mm}^3 \cdot \text{mm} \cdot \text{N}}$$

$$k = 0,000001049$$

Untuk hasil perhitungan koefisien gesek dan *specific wear rate* dari produk telapak kaki buatan Jerman, Tiongkok, dan Lokal dapat dilihat pada Tabel 4-16.

Tabel 4-16 Nilai koefisien gesek dan *wear rate* produk kaki palsu.

	Optimasi Penelitian ini		Optimasi Irfan [30]		Produk Pasar [26]		
	Opt. massa aus	Opt. gaya gesek	Opt. massa aus	Opt. gaya gesek	J*	T*	L*
COF	0,73	1,16	1,03	1,34	0,76	0,41	1,20
k ($\frac{mm^3}{N.mm}$)	10×10^{-6}	65×10^{-6}	161×10^{-6}	1302×10^{-6}	4×10^{-6}	2×10^{-6}	$6,5 \times 10^{-6}$

*Keterangan : J = Jerman, T = Tiongkok, L = Lokal

Secara umum optimasi karet pada penelitian ini maupun dari Muhammad Afi [30] belum bisa menyaingi produk pasar terutama dalam hal aus. Namun optimasi pada penelitian ini relatif lebih mendekati produk pasar. Sebagai contoh material yang dioptimasi untuk massa aus memiliki COF mendekati produk Jerman bahkan di atas produk Tiongkok dan *specific wear rate* mendekati produk lokal. Sedangkan untuk material karet alam yang dioptimasi untuk gaya gesek memiliki COF tertinggi ketiga setelah optimasi gaya gesek Muhammad Afi dan Lokal.

Sebagai material kaki palsu, spesimen dengan optimasi massa aus dirasa sudah mencukupi karena memiliki tingkat aus yang rendah 0,006 gram dan sudah hampir menyamai produk Jerman dalam koefisien gesek bahkan lebih besar dibanding dengan produk Tiongkok. Ketahanan aus yang tinggi dapat menjadi nilai lebih karena secara tidak langsung menjadikan kaki palsu lebih awet.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan mulai dari studi literatur hingga pengujian dapat disimpulkan :

1. Hasil paling optimal material karet alam untuk gaya gesek didapatkan dengan komposisi 30 % kalsium karbonat, 4 % sulfur, dan waktu vulkanisasi selama 40 menit.
2. Hasil paling optimal material karet alam untuk ketahanan aus didapatkan dengan komposisi 30 % kalsium karbonat, 4 % sulfur, dan waktu vulkanisasi selama 30 menit.
3. Nilai Kekasaran dari material karet alam memiliki nilai kekasaran rata-rata (Ra) sebesar 5,66 μm ; 4,70 μm ; 4,78 μm ; 4,98 μm . Dimana kekasaran tidak berpengaruh secara nyata terhadap besaran gaya gesek maupun aus pada penelitian ini.
4. Komposisi material karet alam terbaik untuk kaki palsu pada penelitian ini adalah spesimen optimasi untuk aus.

5.2 Saran untuk Penelitian Selanjutnya

1. Saran untuk penelitian berikutnya yaitu membuat nilai dari setiap level lebih signifikan agar pengaruh atau kontribusi dari faktor lebih terlihat.
2. Selanjutnya untuk meningkatkan sifat mekanik material dapat mengombinasikan *filler* CaCO_3 dengan silika sehingga mendapatkan nilai aus dan gaya gesek yang lebih baik.
3. Untuk melengkapi data sifat mekanik material, selanjutnya dapat ditambahkan pengujian tarik dan kuat sobek.
4. Pada proses pembuatan kompon sebaiknya menggunakan alat yang lebih memadai dan memang diperuntukkan sebagai pengaduk untuk mendapatkan campuran yang merata.

5. Untuk pengujian tribometer spesimen karet dibuat sebagai pin seperti pada penelitian Muhammad Naufal [26] sehingga tekanan menyerupai telapak kaki dan alas.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kemenkopmk. (2023). Pemerintah Penuhi Hak Penyandang Disabilitas di Indonesia. <https://www.kemenkopmk.go.id/pemerintah-penuhi-hak-penyandang-disabilitas-di-indonesia>. (diakses pada 07 Agustus 2023)
- [2] Open Data Jabar. (2021). Jumlah Penyandang Kebutuhan Khusus Tunadaksa Tidak Sekolah Berdasarkan Desa/Kelurahan di Jawa Barat. <https://opendata.jabarprov.go.id/id/dataset/jumlah-penyandang-kebutuhan-khusus-tunadaksa-tidak-sekolah-berdasarkan-desakelurahan-di-jawa-barat>. (diakses pada 07 Agustus 2023)
- [3] BPS Gunungkidul. (2020). Jumlah Penyandang Cacat menurut Kecamatan 2019-2020. <https://gunungkidulkab.bps.go.id/indicator/27/345/1/jumlah-penyandang-cacat-menurut-kecamatan.html>. (diakses pada 07 Agustus 2023).
- [4] Kemenperin. (2022). Sumbang Devisa USD 7 Miliar, Industri Pengolahan Karet Pacu Diversifikasi Produk. <https://kemenperin.go.id/artikel/23785/Sumbang-Devisa-USD-7-Miliar,-Industri-Pengolahan-Karet-Pacu-Diversifikasi-Produk>. (diakses pada 14 November 23).
- [5] Fachry, A. Rasyidi, Tuti Indah Sari, Sthevanie, dan Susi Susanti. (2014). Pengaruh Filler Campuran Silika dan Kulit Kerang Darah Terhadap Sifat Mekanis Kompon Sol Sepatu dari Karet Alam. *Jurnal Teknik Kimia*, Vol.20, No.3., 1-11.
- [6] Muniarti, Riri. (2018). Nanokomposit Karet Alam/Silikon sebagai Otot Sintetik dengan Sifat Mekanik Seperti Otot Manusia. *Jurnal Ilmu Fisika*, Vol.10, No.1., 38-45.
- [7] Kim, Min-Su, Cha-Cheol Park, Subhendu Ray Chowdhury, dan Gue-Hyun Kim. (2004). *Physical Properties of Ethylne Vinyl Acetate Copolymer (EVA)/Natural Rubber (NR) Blend Based Foam*. *Journal of Applied Polymer Science*, Vol.94, 2212-2216.
- [8] Montgomery, D. C. (2013). *Design and Analysis of Experiments. (8 ed.)*. New York: John Wiley & Sons, Inc.

- [9] Webster, C. C., dan W. J. Baulkwill. (1989). *Rubber*. New York: John Willey & Sons, Inc.
- [10] Erman, Burak, James E. Mark, dan C. Michael Roland. (2013). *The Science and Technology of Rubber*. (4 ed.). Elsevier Inc.
- [11] Bahruddin, Sumarno, G. Wibawa, dan N. Soewarno. (2007). Morfologi dan Properti Campuran Karet Alam//*Polypropylene* yang Divulkanisasi Dinamik dalam Internal Mixer. Reaktor, Vol. 11, No. 2., 71-77.
- [12] Supraptiningsih, A. Buchori, dan Sri Brataningsih Puji Lestari. (2005). Pengaruh RSS/SBR dan Filler CaCO₃ terhadap Sifat Fisis Kompon Karpet Karet. *Majalah Kulit, Karet, dan Plastik*, Vol.21, No. 1., 34-40.
- [13] Pireno, Cahyo Adi, Agus Wijaya, dan Rindit Pambayun. (2013). Pengaruh Suhu dan Waktu Vulkanisasi terhadap Karakteristik Kompon Sol Karet Cetak Berbahan Pengisi Arang Cangkang Sawit. *Jurnal Dinamika Penelitian Industri*, Vol. 24, No. 1., 33-40.
- [14] Kinasih, Norma Arisati, Mohamad Irfan Fathurrohman, dan Dadang Suparto. (2015). Pengaruh Suhu Vulkanisasi terhadap Sifat Mekanis Vulkanisat Karet Alam dan Karet Akrilonitril Butadiena. *Majalah Kulit, Karet, dan Plastik*, Vol. 31, No. 2., 65-74.
- [15] Jamal, Khairunnas, Nasrul Fatah, dan Wilaela. (2017). Eksistensi Kaum Difabel dalam Prespektif Al-Qur'an. *Jurnal Ushuluddin*, Vol. 25, No.2., 221-234.
- [16] Warsyah, Raden Adhi, Ida Wahyuni, dan Baju Widjasena. (2014). Analisis Manfaat Kaki Palsu (Prothesa) Terhadap Aktivitas Fisik pada Kaum Difabel (Tunadaksa) di Paguyuban Penyandang Cacat Jasmani dan Wirausaha. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, Vol.2, No. 3., 170-175.
- [17] Ruliyanto, Ibnu.Rancang Bangun Kaki Palsu. (2003). Pusat Penelitian Informatika, LIPI.
- [18] Chiriac, Oana Andreea, dan Doina Bucur. (2020). *From Conventional Prosthetic Feet to Bionic Feet. A Review*. <https://www.researchgate.net/publication/343024195>. (diakses pada 07 Agustus 2023).

- [19] Kobeglobal. 3 Sifat-sifat Karet Alam dan Sintesis. <https://www.kobeglobal.com/mengenal-sifat-sifat-karet-alam-dan-sintesis/>. (diakses pada 07 Agustus 2023).
- [20] Akiba, M. dan A. S. Hashim. *Vulcanization and Crosslinking in Elastomers*. (1997). *Progress in Polymer Science*, Vol. 22, No. 3., 475-521.
- [21] Davim, J. Paulo. (2011). *Tribology for Engineers*. Cambridge: *Woodhead Publishing*.
- [22] Wuryandari, Triastuti, Tatik Widiharih, Sayekti Dewi Anggraini. (2009). Metode Taguchi untuk Optimalisasi Produk pada Rancangan Faktorial. *Media Sattistika*, Vol.2, No.2., 81-92.
- [23] Haumahu, Patricia, Triastuti Wuryandari. (2011). Optimalisasi Produk dengan Menggunakan Metode Perancangan Toleransi Taguchi. *Prosiding Seminar Nasional Statistika Universitas Diponegoro 2011*, Semarang : September 2011. Hal. 304-316.
- [24] Roy, Ranjit K. (2010). *A Primer on the Taguchi Methode (2 ed.)*. Michigan : *Society of Manufacturing Engineers*.
- [25] Wahlström, Jens, Yezhe Lyu, Vlastimil Matjeka, Anders Söderberg. (2017). *A Pin-on-disc Tribometer Study of Disc Brake Contact Pairs with Respect to Wear and Airbhone Particle Emissions*. *Wear*, Vol. 384-385, 124-130.
- [26] Naufal, Muhammad. (2022). Optimasi Multifaktor pada Material Karet Silikon Terhadap Gesekan dan Aus Menggunakan Metode Taguchi. *Tugas Akhir*. Yogyakarta : Universitas Islam Indonesia.
- [27] Meltzer, & David, E. (2002). *The Relationship Between Mathematics Preparation and Conceptual Learning Gains in Physics: A possible Hidden Variable in Diagnostic Pretest Scores*. *Am. J. Phys.*, 1259-1268.
- [28] Delvitasari, Febriana, Maryanti. (2020). Pengaruh Suhu dan Waktu Vulkanisasi Terhadap Sifat Kekerasan dan Visual Produk Footstep Sepeda Motor. *Jurnal Teknologi Agro-Industri*, Vol. 7, No. 2., 81-90.
- [29] Jiménez, A. -E., M.-D. bermúdez (2011). *Tribology for Engineers A Practical Guide*. Woodhead Publishing.

- [30] Irfan, Muhammad Afi. (2022). Optimasi Multi Faktor pada Pembuatan Material Elastomer untuk Telapak Kaki Prostetik dari Karet Alam. *Tugas Akhir*. Yogyakarta : Universitas Islam Indonesia.