

**OPTIMASI MULTI FAKTOR PADA PEMBUATAN MATERIAL
ELASTOMER UNTUK TELAPAK KAKI PROSTETIK DARI
KARET ALAM**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Mesin**



Disusun Oleh :

Nama : Afi Muhammad Irfan

No. Mahasiswa : 17525107

NIRM : 1705060073

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

2022

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

**OPTIMASI MULTI FAKTOR PADA PEMBUATAN MATERIAL
ELASTOMER UNTUK TELAPAK KAKI PROSTETIK DARI
KARET ALAM**

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Afi Muhammad Irfan

No. Mahasiswa : 17525107

NIRM : 1705060073

Yogyakarta, 18 Oktober 2022

Pembimbing I,



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

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

**OPTIMASI MULTI FAKTOR PADA PEMBUATAN MATERIAL
ELASTOMER UNTUK TELAPAK KAKI PROSTETIK DARI
KARET ALAM**

TUGAS AKHIR


Disusun Oleh :

Nama : Afi Muhammad Irfan
No. Mahasiswa : 17525107
NIRM : 1705060073

Tim Penguji

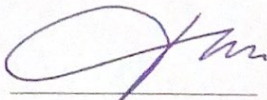
Dr. Muhammad Khafidh S.T., M.T.

Ketua


Tanggal : 03/11/2022

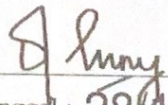
Arif Budi Wicaksono S.T., M.Eng.

Anggota I


Tanggal : 1/11/2022

Finny Pratama Putera S.T., M.Eng.

Anggota II


Tanggal : 28/10/2022

Mengetahui

Jurusan Teknik Mesin




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

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 terbukti bahwa pengakuan saya tidak benar serta melanggar peraturan yang sah dalam hak kekayaan intelektual maka saya bersedia menerima sanksi sesuai hukum yang berlaku.

Yogyakarta, 1 November 2022

Penulis



Afi Muhammad Irfan

HALAMAN PERSEMBAHAN

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa Allah SWT yang selalu melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, serta doa dan dukungan yang selalu diberikan oleh orang-orang tercinta, pada akhirnya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

Bapak Ir. Sukanto dan Ibu Eli Yuliyati selaku kedua orang tua yang senantiasa memberikan dukungan berupa doa dan kasih sayang kepada penulis, serta kakak dan adik tercinta yang selalu menjadi penyemangat sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Bapak Dr. Muhammad Khafidh S.T., M.T. selaku dosen pembimbing dan dosen pengajar serta seluruh staff prodi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia yang senantiasa membimbing dan membagikan ilmunya kepada penulis secara ikhlas.

Rekan-rekan seperjuangan dari jurusan Teknik Mesin UII dan saudari Deydra Betari Justicia yang senantiasa memberikan dukungan kepada penulis.

Penulis berharap semoga Tugas Akhir ini membawa manfaat dan berguna untuk perkembangan ilmu pengetahuan khususnya pada bidang yang sesuai dengan topik penulis di masa mendatang.

HALAMAN MOTTO

“Hiduplah seakan-akan kamu akan mati hari esok dan belajarlilah seolah kamu akan hidup selamanya.” – Mahatma Gandhi

“Pengetahuan yang baik adalah yang memberikan manfaat bukan hanya diingat”
– Imam Syafii

“Barang siapa keluar untuk mencari sebuah ilmu, maka ia akan berada di jalan Allah hingga ia kembali.” – HR Tirmidzi

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya.”
(QS Al Baqarah 286)

“Jangan pergi mengikuti kemana jalan akan berujung. Buat jalanmu sendiri dan tinggalkanlah jejak.” – Ralph Waldo Emerson



KATA PENGANTAR

Alhamdulillah segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Penulis menyadari bahwa melibatkan berbagai pihak yang memberi bimbingan dan dukungan dapat membantu menyelesaikan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, Penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Dr. Muhammad Khafid S.T., M.T. selaku Ketua Prodi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia dan Dosen Pembimbing Tugas Akhir.
2. Seluruh Dosen pengajar dan Staff Prodi Teknik Mesin UII yang senantiasa membimbing dan membagikan ilmunya kepada penulis secara ikhlas.
3. Kedua orang tua Bapak Ir. Sukanto dan Ibu Eli Yuliyati serta kakak dan adik tercinta yang selalu memberikan dukungan sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Rekan-rekan seperjuangan dari jurusan Teknik Mesin UII dan saudari Deydra Betari Justicia yang senantiasa memberikan dukungan kepada penulis.
5. Pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang telah memberi dukungan kepada penulis selama proses penyusunan Tugas Akhir.

Semoga semua pihak yang telah membantu penulis selama menyusun Tugas Akhir ini mendapatkan balasan yang lebih besar dari Allah SWT dan selalu diberikan kemudahan dalam segala urusannya.

Penulis mengharapkan kritik dan saran yang dapat membangun untuk perkembangan penelitian yang lebih baik. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat terhadap perkembangan ilmu pengetahuan.

Yogyakarta, 11 Oktober 2022



Afi Muhammad Irfan

ABSTRAK

Indonesia merupakan negara yang mempunyai jumlah penduduk yang cukup tinggi. Pada Desember 2021 tercatat penduduk Indonesia mencapai 273.879.861 jiwa. Pada tahun 2020 masyarakat yang mengalami disabilitas mencapai 22,5 juta jiwa. Indonesia juga merupakan negara penghasil karet alam terbesar ke-2 di dunia. Oleh karena itu untuk memanfaatkan sumber daya alam yang ada, pada penelitian ini dilakukan pembuatan material elastomer dari karet alam untuk dijadikan sebagai bahan baku telapak kaki prostetik. Menggunakan variasi komposisi penyusun material telapak kaki palsu, seperti jenis *natural rubber*, persentase *silica powder*, persentase sulfur, dan temperatur vulkanisasi dengan bantuan metode *Taguchi model*. Metode Taguchi digunakan untuk mendapatkan komposisi terbaik dan menghemat biaya penelitian. Setelah itu untuk mengetahui gesekan dan keausan yang terjadi perlu dilakukan pengujian tribologi menggunakan alat tribometer. Hasil optimum pengujian tribometer dengan nilai keausan yang kecil yaitu komposisi jenis *natural rubber*/lateks pekat, *silica powder* 25 phr, sulfur 7 phr, dan temperatur vulkanisasi 140°C. Sedangkan hasil pengujian gaya gesek yang mempunyai nilai paling optimum adalah jenis campuran dari *natural rubber*/lateks pekat dan *natural rubber*/lateks instan, *silica powder* 30 phr, sulfur 5 phr, dan temperatur vulkanisasi 150°C.

Kata kunci : Telapak Kaki Prostetik, *natural rubber*, *silica powder*, *Taguchi*, *Tribology*

ABSTRAK

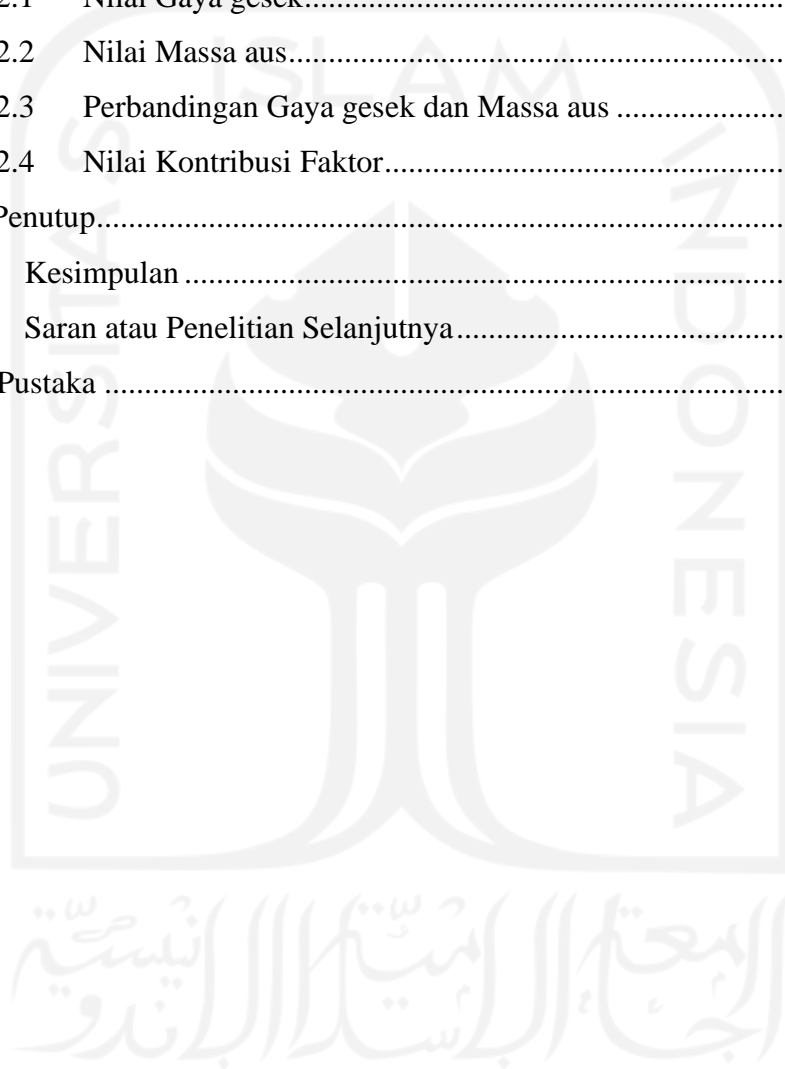
Indonesia is a country that has a fairly high population, in December 2021 it was recorded that Indonesia's population reached 273,879,861 people. In 2020 people with disabilities will reach 22.5 million people. Indonesia is also the second largest natural rubber producer in the world. Therefore, to take advantage of existing natural resources, in this study, the manufacture of elastomeric material from natural rubber was carried out to be used as raw material for prosthetic soles. Using variations in the composition of the artificial foot material, such as the type of natural rubber, the percentage of silica powder, the percentage of sulfur, and the vulcanization temperature with the help of the Taguchi model method. The Taguchi method was used to get the best composition and save research costs. After that, to determine the friction and wear that occurs, it is necessary to carry out tribological testing using a tribometer. The optimum results of the tribometer test with a small wear value are the composition of natural rubber/concentrated latex, 25 phr silica powder, 7 phr sulfur, and vulcanization temperature of 140°C. Meanwhile, the result of the frictional force test that has the most optimum value is a mixture of natural rubber/concentrated latex and natural rubber/instant latex, 30 phr silica powder, 5 phr sulfur, and vulcanization temperature of 150°C

Keyword : Prosthetic foot, natural rubber, silica powder, Taguchi, Tribology

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
Daftar Isi	ix
Daftar Tabel.....	xi
Daftar Gambar	xii
Daftar Notasi.....	xiii
Bab 1 Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan	3
1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
Bab 2 Tinjauan Pustaka	4
2.1 Kajian Pustaka	4
2.2 Dasar Teori	6
2.2.1 Disabilitas	6
2.2.2 Karet Alam	7
2.2.3 Vulkanisasi	7
2.2.4 Metode Taguchi.....	8
2.2.5 Pengujian Tribologi	11
Bab 3 Metode Penelitian	13
3.1 Alur Penelitian	13
3.2 Metodologi Penelitian	15
3.3 Objek Penelitian	18

3.4	Peralatan dan Bahan	18
3.5	Pembuatan Spesimen Uji Tribologi.....	22
3.6	Pengujian Tribologi	26
Bab 4 Hasil dan Pembahasan		28
4.1	Hasil Pengujian Kekasaran	28
4.2	Hasil Pengujian Tribologi.....	29
4.2.1	Nilai Gaya gesek.....	29
4.2.2	Nilai Massa aus.....	32
4.2.3	Perbandingan Gaya gesek dan Massa aus	36
4.2.4	Nilai Kontribusi Faktor.....	37
Bab 5 Penutup.....		38
5.1	Kesimpulan	38
5.2	Saran atau Penelitian Selanjutnya.....	38
Daftar Pustaka		39



DAFTAR TABEL

Tabel 2-1 Orthogonal array (13).....	9
Tabel 3-1 kontrol faktor dan level	16
Tabel 3-2 Matriks <i>orthogonal array</i> L9 basic.....	17
Tabel 3-3 Matriks <i>orthogonal array</i> L9.....	17
Tabel 4-1 Data hasil pengujian kekasaran.....	28
Tabel 4-2 Data gaya gesek hasil pengujian tribologi.....	29
Tabel 4-3 Rata-rata <i>S/N Ratio</i> gaya gesek.....	30
Tabel 4-4 Prediksi nilai gaya gesek.....	31
Tabel 4-5 Hasil pengujian ulang gaya gesek optimum.....	32
Tabel 4-6 Data massa aus hasil pengujian tribologi.....	32
Tabel 4-7 Rata-rata <i>S/N ratio</i> massa aus	33
Tabel 4-8 Prediksi nilai massa aus	34
Tabel 4-9 Hasil pengujian ulang massa aus minimum.....	35
Tabel 4-10 Nilai kontribusi faktor pengujian gaya gesek.....	37
Tabel 4-11 Nilai kontribusi faktor pengujian massa aus.....	37

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1 Skema ikatan silang molekul karet.....	8
Gambar 2-2 Skema pengujian <i>Pin on Disc</i>	12
Gambar 3-1 Diagram alir penelitian.....	13
Gambar 3-2 Spesimen uji tribologi.	18
Gambar 3-3 Vakum udara.	18
Gambar 3-4 Mesin vulkanisir.....	19
Gambar 3-5 Timbangan digital.	19
Gambar 3-6 Gelas plastik dan sumpit	19
Gambar 3-7 Bor tangan.	20
Gambar 3-8 Lateks instan & lateks pekat.....	20
Gambar 3-9 Sulfur.	20
Gambar 3-10 <i>Silica powder</i>	21
Gambar 3-11 ZnO.....	21
Gambar 3-12 Asam stearat.	21
Gambar 3-13 Lateks <i>polymer</i>	22
Gambar 3-14 Desain cetakan spesimen.....	22
Gambar 3-15 Cetakan spesimen.....	23
Gambar 3-16 Contoh penimbangan bahan.	23
Gambar 3-17 Proses pengadukan.	24
Gambar 3-18 Proses penuangan adonan kedalam cetakan.....	24
Gambar 3-19 Proses vakum adonan karet.	24
Gambar 3-20 Spesimen uji tribologi.	25
Gambar 3-21 Tribometer <i>Pin on Disc</i>	26
Gambar 3-22 Pengujian <i>Pin on Disc</i>	26
Gambar 4-1 Grafik data uji kekasaran.....	28
Gambar 4-2 Grafik <i>S/N ratio Larger better</i> gaya gesek.....	30
Gambar 4-3 Grafik <i>S/N ratio Smaller better</i> massa aus.....	34
Gambar 4-4 Grafik Gaya gesek – Massa aus.	36

DAFTAR NOTASI

Rpm	= Revolution per minute
C	= Celcius
S/N	= Signal to Noise
N	= Newton
Popt	= Rata-rata jumlah kesusruhan faktor dibagi rata-rata S/N ratio
Phr	= Per hundred rubber
NR	= Natural rubber



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Karet alam merupakan salah satu hasil alam yang sangat bermanfaat bagi manusia pada lingkup internasional untuk digunakan sebagai bahan baku berbagai macam produk seperti alat kesehatan, alat rumah tangga, dan alat industri. Indonesia merupakan negara penghasil karet alam terbesar ke-2 di dunia yang mana hal ini membuat karet alam cukup berperan sebagai devisa negara non migas. Karet alam didapatkan dari hasil penyadapan getah dari pohon karet *Hevea brasiliensis*. Menurut Direktorat Jenderal Perkebunan Indonesia luas area kebun karet saat ini adalah 3,6 juta ha dengan total produksi karet mencapai 3,1 juta ton[1].

Indonesia juga merupakan negara yang mempunyai jumlah penduduk yang cukup tinggi. Pada 30 Desember 2021 lalu kementerian dalam negeri melalui Direktorat Jenderal Kependudukan dan Pencatatan Sipil merilis jumlah data kependudukan Indonesia mencapai 273.879.861 jiwa. Adapun data berjalan berdasarkan Badan Pusat Statistik (BPS) pada tahun 2020 jumlah penduduk penyandang disabilitas di Indonesia mencapai 22,5 juta atau hampir mencapai lima persen dari seluruh penduduk yang ada di Indonesia. Berdasarkan UU No.8 tahun 2016 penyandang disabilitas dibagi menjadi lima kategori yaitu fisik, intelektual, mental, sensorik, dan ganda/multi[2]. Semakin banyaknya penduduk penyandang disabilitas di Indonesia maka semakin meningkat pula kebutuhan pendukungnya seperti telapak kaki palsu.

Tugas akhir ini melakukan penelitian tentang pembuatan material elastomer untuk aplikasi telapak kaki prostetik dari karet alam. Produk telapak kaki prostetik sendiri sudah banyak tersedia di pasaran yang umumnya terbuat dari bahan sintesis seperti *silicone rubber* dan *polyurethane* dengan harga yang cukup tinggi yaitu 1-2 juta rupiah. Pada penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan material yang mampu mengurangi biaya produksi namun tetap kuat dan baik. Maka dari itu penulis ingin mendapatkan karakteristik terbaik material karet alam pada

telapak kaki palsu dengan melakukan pembuatan spesimen dengan komposisi yang divariasikan kemudian dilakukan analisis ilmu tribologi dengan memperhatikan gaya gesek dan keausan yang terjadi pada material telapak kaki palsu. Analisis tribologi dilakukan karena masih kurangnya penelitian telapak kaki palsu dengan pendekatan ilmu tribologi.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana mengetahui nilai kekasaran permukaan material vulkanisat karet alam pada telapak kaki palsu?
2. Bagaimana melakukan optimasi multi faktor material vulkanisat karet alam pada telapak kaki palsu terhadap gesekan menggunakan metode Taguchi ?
3. Bagaimana melakukan optimasi multi faktor material vulkanisat karet alam pada telapak kaki palsu terhadap aus menggunakan metode Taguchi ?

1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian optimasi multi faktor pada pembuatan material elastomer untuk telapak kaki prostetik dari karet alam ini agar mempermudah serta memfokuskan penelitian maka diberi batasan masalah yaitu :

1. Penelitian dilakukan fokus pada pengujian beberapa material yang akan dijadikan telapak kaki palsu, dengan material utama karet alam.
2. Variasi komposisi spesimen pengujian tribometer menggunakan metode Taguchi.
3. Tidak membahas parameter mesin CNC untuk membuat cetakan spesimen pengujian tribometer.
4. Pengujian yang dilakukan merupakan pengujian tribologi dan pengujian kekasaran dengan alat tribometer *Pin on disc* dan *Surface Roughness Tester* di Lab Teknik Mesin UII.

1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan

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

1. Mengetahui nilai kekasaran permukaan material vulkanisat karet alam pada telapak kaki palsu.
2. Melakukan optimasi multi faktor material karet alam pada telapak kaki palsu terhadap gesekan menggunakan metode Taguchi
3. Melakukan optimasi multi faktor material karet alam pada telapak kaki palsu terhadap aus menggunakan metode Taguchi

1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan

Manfaat penelitian optimasi multi faktor pada pembuatan material elastomer untuk telapak kaki prostetik dari karet alam ini adalah dapat memanfaatkan sumber daya alam dalam negeri dan menemukan material baru yang dapat digunakan sebagai bahan baku telapak kaki palsu dan menjadi bahan kajian pendekatan ilmu Tribologi pada telapak kaki palsu, serta diharapkan akan ada karakteristik yang lebih baik pada penelitian selanjutnya.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan pada penelitian pembuatan material elastomer karet alam untuk telapak kaki palsu ini terdiri dari :

1. BAB I berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan.
2. BAB II berisi tentang kajian pustaka dan dasar teori yang digunakan dalam penelitian.
3. BAB III berisi tentang metodologi penelitian yang berisikan alur penelitian dan langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian.
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.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Karet alam merupakan salah satu sumber daya alam yang sangat bermanfaat bagi kehidupan manusia. Karet alam dapat diolah menjadi berbagai macam produk seperti alat Kesehatan, alat rumah tangga, maupun alat industri. Proses pengolahan karet pun beragam sesuai dengan tujuan kegunaannya, namun untuk menjadikan karet alam yang tadinya berupa cairan putih seperti susu menjadi benda padat harus melalui proses vulkanisasi dan dengan tambahan beberapa material tertentu. Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan pembuatan komposit karet alam dengan berbagai macam material tambahan dan proses vulkanisasi.

Terdapat beberapa penelitian sebelumnya yang membahas tentang pembuatan komposit karet alam baik dari dalam negeri maupun luar negeri. Kajian pustaka ini ditujukan sebagai acuan penulis dalam melaksanakan penelitian pembuatan material komposit karet alam. Kajian pustaka yang pertama berjudul “Pengaruh Suhu Vulkanisasi terhadap Sifat Mekanis Vulkanisat Karet Alam dan Karet Akrilonitril Butadiena” oleh Kinasih, dkk[3]. Pada penelitian tersebut dipelajari pengaruh suhu vulkanisasi (150, 160, 170, 180°C) terhadap sifat mekanis vulkanisat material karet alam (NR) dan karet akrilonitril-butadiena (NBR). Pada NR dilakukan sistem vulkanisasi yang berbeda (semi efisien, efisien, dan donor sulfur), sedangkan pada NBR difokuskan terhadap pengaruh dari persentase kandungan akrilonitril yang berbeda (26,28, dan 33% b/b). Hasil yang didapat menunjukkan bahwa vulkanisat karet alam lebih sesuai divulkanisasi menggunakan sistem semi efisien dengan suhu 150°C. Oleh karena itu pada penelitian ini suhu 150°C digunakan sebagai dasar dan divariasikan menjadi 140, 150, dan 160 °C dalam proses vulkanisasi pada penelitian ini.

Kajian Pustaka yang kedua berjudul “Pengaruh Organobentonit dan Asam Stearat terhadap Karakteristik Pematangan dan Sifat Mekanik Vulkanisat Karet Alam” oleh Ramadhan, dkk[4]. Pada penelitian tersebut digunakan bahan organobentonit sebagai bahan pengisi alternatif komposit karet alam. Dalam

penelitian tersebut menunjukkan bahwa penggunaan asam stearat pada kompon karet alam mempercepat waktu pematangan optimum dan meningkatkan sifat mekanik dari hasil vulkanisat karet alam.

Kajian Pustaka yang ketiga berjudul “Pengaruh Karbon Hitam terhadap Sifat Uji Tarik Komposit Karet Alam dengan Metode Pencampuran Manual” oleh Saputra[5]. Pada penelitian tersebut dilakukan pembuatan kompon karet alam berpengisi karbon hitam dengan variasi persentase karbon hitam 20, 25, dan 30 %.

Kajian Pustaka keempat berjudul “*Mechanical and Damping Properties of Silica/Natural Rubber Composites Prepared from Latex System*” oleh Prasertsri[6]. Pada penelitian ini dilakukan pembuatan komposit karet alam dengan pengisi silika sebanyak 10-30 bagian per seratus bagian karet (*phr*).

Kajian Pustaka kelima berjudul “Morfologi dan Properti Campuran Karet Alam/Polypropylene yang Divulkanisasi Dinamik dalam Internal Mixer” oleh Bahruddin, dkk[7]. Pada penelitian tersebut dilakukan pembuatan komposit karet alam dengan variasi komposisi sulfur 3 dan 5 *phr*. Dari penelitian tersebut didapatkan bahwa kompon karet alam yang menggunakan komposisi sulfur 5 *phr* memiliki nilai elongation *break* lebih tinggi dibanding dengan komposisi sulfur 3*phr*.

Kajian Pustaka keenam berjudul “*The Effect of Silica on the Properties of Marble Sludge Filled Hybrid Natural Rubber Composites*” oleh Ahmed [8]. Pada penelitian tersebut dilakukan analisa sifat mekanik komposit seperti kekuatan tarik, perpanjangan, modulus elastisitas, kekuatan sobek, kekerasan dan kerapatan ikatan silang sebelum dan sesudah *aging/curing* dari proses vulkanisasi pada suhu 140°C. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa dengan peningkatan muatan pengisi silika pada komposit karet alam (NR) *marble sludge* (MR) dan silika membuat nilai torsi minimum, torsi maksimum, kekuatan tarik, modulus elastisitas, kekuatan sobek, kekerasan, dan kerapatan ikatan silang juga meningkat sedangkan perpanjangan menurun.

Pada penelitian sebelumnya oleh Anggaraksa[9], dilakukan rancang bangun telapak kaki palsu jenis *solid ankle cushion*, hasil dari uji karakteristik tribologi menunjukkan bahwa sifat material dan permukaan telapak kaki palsu akan mempengaruhi gaya gesek dan aus yang dihasilkan.

Dari beberapa kajian pustaka diatas penulis dapat menentukan variasi parameter yang dibutuhkan untuk mengoptimasi pembuatan material komposit karet alam untuk telapak kaki prostetik.

2.2 Dasar Teori

Pada sub bab ini akan membahas beberapa dasar teori yang digunakan sebagai landasan penulis melakukan penelitian, diantaranya sebagai berikut.

2.2.1 Disabilitas

Penyandang disabilitas menurut undang-undang nomor 8 tahun 2016 adalah setiap orang yang mengalami keterbatasan fisik, intelektual, mental dan atau sensorik dalam jangka waktu yang lama yang dalam berinteraksi dengan lingkungan dapat mengalami hambatan dan kesulitan untuk berpartisipasi secara penuh dan efektif dengan warga negara lainnya berdasarkan kesamaan hak[10]. Disabilitas dibagi menjadi 5 kategori sebagai berikut :

- Disabilitas fisik : individu yang mengalami keterbatasan mobilitas atau stamina fisik yang mengganggu sistem otot, pernafasan, atau saraf dan gangguan pad fungsi gerak.
- Disabilitas sensorik : individu yang mengalami keterbatasan pada fungsi alat indera seperti penglihatan dan pendengaran.
- Disabilitas mental : individu yang mengalami gangguan pada fungsi pikir, emosi, dan perilaku sehingga adanya keterbatasan dalam melaksanakan kegiatan.
- Disabilitas intelektual : individu yang mengalami gangguan pada fungsi kognitif karena tingkat kecerdasan dibawah rata-rata.
- Disabilitas multi/ganda : individu yang mempunyai dua atau lebih ragam disabilitas.

2.2.2 Karet Alam

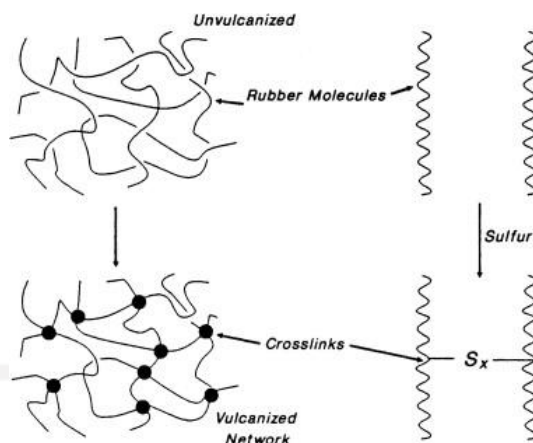
Karet alam merupakan salah satu penghasil devisa negara Indonesia dari komoditi non migas. Karet alam berasal dari getah pohon *Hevea Brasiliensis* yang mempunyai sifat fleksibilitas tinggi. Karet alam dapat digunakan sebagai bahan baku banyak produk seperti alat kesehatan, alat industri, dan alat rumah tangga. Karet alam memiliki beberapa sifat diantaranya [11]:

- Tahan terhadap suhu rendah
- Memiliki ketahanan sobek dan gesek yang tinggi
- Mudah untuk diproses atau diproduksi.
- Tingkat kekerasan dapat diatur dari sangat lembut hingga paling keras (ebonit)
- Warna dan penampilan mudah diatur
- Meredam getaran dan suara

Untuk meningkatkan sifat mekanis dari material karet alam perlu ditambahkan beberapa bahan tambahan seperti filler atau pengisi yang akan meningkatkan sifat mekanis dari karet alam tersebut. Untuk memadatkan material karet alam juga perlu melalui berbagai proses. Proses utama untuk mengubah material karet alam yang tadinya cair menjadi padat adalah proses vulkanisasi.

2.2.3 Vulkanisasi

Vulkanisasi adalah proses dimana molekul karet yang linier mengalami reaksi sambung silang dengan bantuan sulfur (*sulfur-crosslinking*) sehingga menjadi molekul polimer yang membentuk rangkaian tiga dimensi. Reaksi ini merubah karet yang bersifat plastis dan lemah menjadi karet yang elastis, keras dan kuat. Vulkanisasi juga dikenal dengan proses pematangan (*curing*), dan molekul karet yang tersambung silang (*crosslinked rubber*) disebut sebagai vulkanisat karet. Vulkanisat karet tidak lagi bersifat lengket dan tidak melarut tetapi dapat mengembang dengan pelarut tertentu. Adapun ilustrasi proses sambung silang pada molekul karet dapat dilihat pada Gambar 2-1 dibawah ini.



Gambar 2-1 Skema ikatan silang molekul karet.

Vulkanisasi juga biasa dilakukan untuk meningkatkan sifat mekanis dari karet alam. Namun untuk mendukung peningkatan sifat mekanis tersebut perlu dilakukan kajian dengan menambahkan bahan penguat (*filler*) kedalam formulasi kompon karet alam. Dalam proses vulkanisasi juga terdapat beberapa bahan yang perlu ditambahkan seperti zat aktivator untuk membantu mempercepat proses vulkanisasi.

2.2.4 Metode Taguchi

Metode Taguchi terbilang suatu metode baru yang dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas produk yang ditemukan oleh Genichi Taguchi pada tahun 1940. Metode Taguchi adalah metodologi teknik untuk merekayasa atau memperbaiki produktivitas selama penelitian dan pengembangan supaya produk-produk berkualitas tinggi dapat dihasilkan dengan cepat dan dengan biaya rendah. Metode Taguchi merupakan metode perancangan yang berprinsip pada perbaikan mutu dengan memperkecil akibat dari variasi tanpa menghilangkan penyebabnya. Hal ini dapat diperoleh melalui optimasi produk dan perancangan proses untuk membuat unjuk kerja kebal terhadap berbagai penyebab variasi suatu proses yang disebut perancangan parameter[12].

Untuk menggunakan metode Taguchi dalam suatu penelitian terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan. Berikut adalah tahapan dalam menggunakan metode Taguchi menurut [13] :

1. Mendefinisikan proses dari penelitian yang akan dilakukan, seperti menentukan tujuan yang ingin dicapai. Seperti apakah tujuan penelitian

tersebut minimal atau maksimal, contohnya penelitian tentang aus dengan hasil minimumnya yang diinginkan ataupun pengujian kuat sobek dengan hasil maksimum yang diinginkan.

2. Menentukan faktor yang berpengaruh dalam proses penelitian yang dapat divariasikan, seperti contohnya komposisi material, tekanan, suhu, dan lain sebagainya. Kemudian dapat ditentukan level atau variasi dari tiap faktornya. Tentukan juga faktor yang tidak dapat dikontrol yang biasa disebut *noise*, seperti halnya perbedaan tiap produk, kondisi lingkungan, dan lain sebagainya.
3. Membuat matriks *orthogonal array*. *Orthogonal array* adalah matriks yang dibuat oleh Taguchi untuk meningkatkan kualitas produk juga meminimalkan biaya dan waktu penelitian. Pembuatan matriks *orthogonal array* disesuaikan dengan jumlah faktor dan level yang digunakan dalam penelitian. Contoh *orthogonal array* dapat dilihat pada tabel 2-1.

Tabel 2-1 *Orthogonal array* [14]

		Number of parameters								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
Number of levels	2	L4	L4	L8	L8	L8	L8	L12	L12	L12
	3	L9	L9	L9	L18	L18	L18	L18	L27	L27
	4	L16	L16	L16	L16	L32	L32	L32	L32	L32
	5	L25	L25	L25	L25	L25	L50	L50	L50	L50

4. Melakukan proses pembuatan produk dan pengujian produk. Setelah mendapatkan variasi dari matriks *orthogonal array* maka dapat dilakukan pembuatan produk sesuai dengan matriks yang telah ditentukan. Kemudian pada produk dilakukan pengujian untuk mendapatkan data. Contoh pengujian pada produk komposit dapat dilakukan pengujian kekerasan.
5. Menganalisis data yang didapatkan dari pengujian. Dari data pengujian dapat diketahui nilai terbaik dari tiap faktor dan masing-masing levelnya.

Dalam metode Taguchi terdapat beberapa perhitungan dasar yang digunakan untuk melakukan perhitungan sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai yang

(2-2)

disebut *S/N Ratio (Signal to Noise ratio)*. Perhitungan data sampel dapat dilihat pada persamaan berikut :

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n}$$

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}$$

Dimana :

\bar{X} = Rata-rata

S^2 = Varians

$\sum X$ = Jumlah semua nilai data

n = Banyaknya data

X_i = data ke-i

Pada metode Taguchi terdapat tiga karakteristik *S/N ratio* yang dapat digunakan sesuai dengan targetnya seperti sebagai berikut :

a. *Larger the better*

Karakteristik pada rasio ini targetnya adalah nilai menjauhi nol atau semakin besar nilai maka semakin baik. Rumusnya dapat dilihat pada persamaan (2-3).

$$SN_L = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (2-3)$$

b. *Smaller the better*

Karakteristik pada rasio ini targetnya adalah mendekati nol atau semakin kecil nilai maka semakin baik. Rumusnya dapat dilihat pada persamaan (2-4).

$$SN_S = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (2-4)$$

c. *Nominal the best*

Karakteristik pada S/N rasio ini adalah yang mendekati nilai target yang terbaik. Rumusnya dapat dilihat pada persamaan (2-5).

$$SN_N = 10 \log \frac{y^2}{S^2} \quad (2-5)$$

Dimana :

SN_L = Signal to noise ratio Larger the better

SN_S = Signal to noise ratio Smaller the better

SN_N = Signal to noise ratio Nominal the best

Pada metode taguchi terdapat juga perhitungan yang bertujuan untuk mengetahui nilai kontribusi dari tiap faktor dari hasil penelitian. Perhitungan tersebut dinamakan ANOVA (*Analisis Varians*). Rumusnya dapat dilihat pada persamaan (2-6) dan (2-7).

$$SS = \frac{k}{N \times n} \sum_{t=1}^k T_t^2 - \frac{T^2}{N \times n} \quad (2-6)$$

$$SS_t = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^n y_{ij}^2 - \frac{T^2}{N \times n} = SS_A + SS_B + \dots + SS_H + SS_{error} \quad (2-7)$$

Dimana :

SS = The sum of squares

k = number of level

N = number of run

n = number of noise

T_t = The total sum of respons

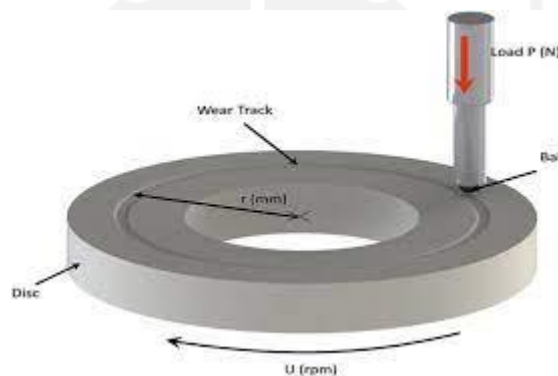
2.2.5 Pengujian Tribologi

Tribologi berasal dari kata *tribos* dari bahas Yunani yang berarti menggaruk (*rubbing*) atau mendorong (*sliding*). Istilah ini dimunculkan pada tahun 1967 oleh *Organization for Economic Cooperation and Development* (OECD) [15]. Tribologi secara istilah adalah ilmu yang mempelajari interaksi pada permukaan yang terjadi dalam gerakan relatif [16]. Sedangkan arti tribologi secara umum adalah ilmu yang mempelajari tentang gesekan, pelumasan dan aus [15].

Pengujian tribologi dilakukan bertujuan untuk mengetahui kondisi material dari komponen-komponen pemesinan, data yang didapat berupa nilai gesekan yang terjadi pada suatu benda. Dari gesekan itu juga yang nantinya akan mengikis benda tersebut atau dapat dibidang aus. Nilai aus suatu benda bisa didapatkan dengan dua

cara, yang pertama dengan menghitung volume benda uji pada sebelum pengujian kemudian dikurangi dengan nilai volume benda setelah pengujian, dan yang kedua dari perhitungan selisih berat/massa benda pada sebelum dan sesudah diuji [17]. Dari nilai gaya gesek dan nilai aus yang didapatkan nantinya dapat diketahui umur benda tersebut.

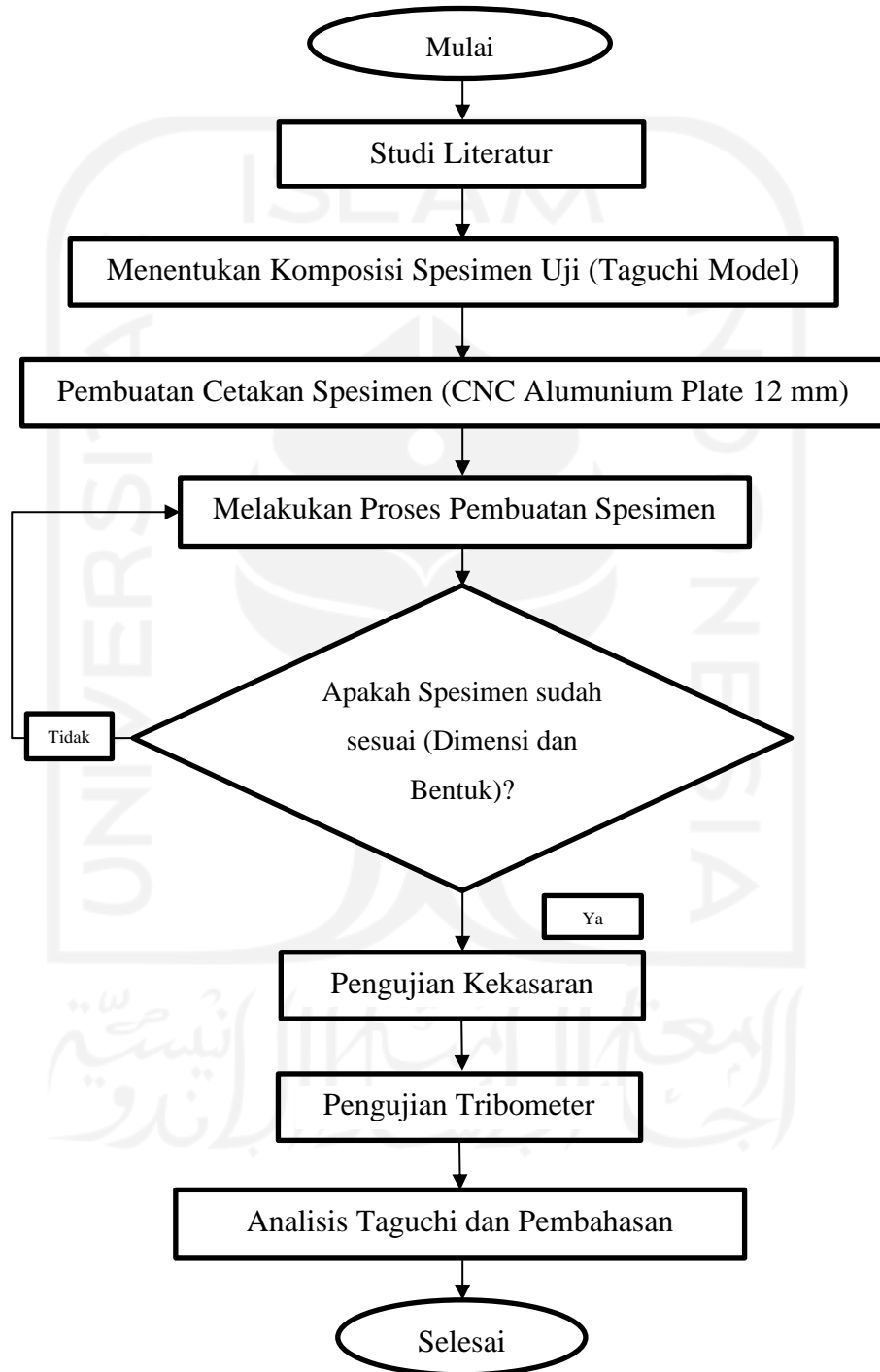
Alat yang biasa digunakan dalam pengujian tribologi adalah Tribometer *Pin on Disc*. Alat uji ini terdiri dari *Pin* yang berbentuk silinder dan *Disc* yang berbentuk piringan berdiameter. *Pin on Disc* merupakan alat dari tribotester yang digunakan untuk mengetahui gaya gesek dan aus suatu material yang saling bersentuhan [18]. Nantinya spesimen uji dapat berbentuk *Pin* ataupun *Disc* yang terbuat dari bahan material yang diinginkan sesuai dengan kebutuhan pengujian. Skema pengujian *Pin on Disc* dapat dilihat pada Gambar 2-2.



Gambar 2-2 Skema pengujian *Pin on Disc*.

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian



Gambar 3-1 Diagram alir penelitian.

Penelitian dilakukan diawali dengan studi literatur terkait materi dan teori yang akan digunakan dalam penelitian ini seperti halnya materi yang menyangkut tentang karet alam, proses vulkanisasi, metode Taguchi, dan pengujian tribologi. Setelah mendapat pengetahuan terkait teori yang dibutuhkan maka selanjutnya dapat dilakukan penentuan variasi komposisi bahan untuk pembuatan spesimen uji dengan menggunakan Taguchi model.

Pada penelitian ini spesimen uji dibuat dari material karet alam melalui proses vulkanisasi yang berfungsi untuk memadatkan karet. Maka dari itu dibutuhkan cetakan spesimen uji yang tahan terhadap panas agar tidak meleleh dalam proses vulkanisasi. Cetakan spesimen uji dibuat menggunakan material plat aluminium dengan ketebalan 12 mm dengan proses pemesian CNC.

Cetakan digunakan sebagai wadah komposit karet alam yang bentuknya menyesuaikan kapasitas dari pencekam yang ada pada alat uji tribometer. Jika spesimen yang dibuat sudah sesuai dimensi dan bentuknya maka dapat dilanjutkan ke tahapan pengujian kekasaran permukaan.

Pengujian kekasaran permukaan dilakukan di tiga titik pada setiap tiga spesimen dari masing-masing variasi. Setelah didapatkan data nilai uji kekasaran maka dilakukan pengujian tribologi untuk mendapatkan nilai gaya gesek dan massa aus. Data nilai gaya gesek dan massa aus yang didapat kemudian dianalisis menggunakan metode taguchi untuk mengetahui variasi yang mendapatkan nilai gaya gesek tertinggi dan variasi yang mempunyai massa aus terendah.

3.2 Metodologi Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode Taguchi yang digunakan untuk mempermudah proses penelitian. Dalam penggunaan metode Taguchi langkah awal yang harus dilakukan adalah menentukan faktor, level factor dan *noise*. Kemudian terdapat *S/N ratio* untuk menyempitkan toleransi kontrol faktor. Sehingga didapat tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini sebagai berikut :

- a. Penentuan kualitas pengujian tribometer.

Hasil dari pengujian tribometer dalam penelitian ini adalah material terbaik untuk telapak kaki prostetik. Terdapat dua karakteristik yang dibutuhkan pada telapak kaki prostetik dalam pendekatan ilmu tribologi, yaitu gaya gesek yang tinggi dan aus yang rendah sehingga produk tidak mudah terkikis dan tidak licin saat digunakan. Jadi kualitas yang diinginkan adalah semakin tinggi nilainya semakin baik (*larger better*) dalam kasus gaya gesek kemudian semakin rendah nilainya semakin baik (*smaller better*) dalam kasus massa aus.

- b. Identifikasi kontrol faktor yang dapat mempengaruhi hasil pengujian dan karakteristik dari material telapak kaki palsu seperti sebagai berikut :

- Jenis karet alam

Karet alam merupakan bahan utama dalam penelitian ini. Jenis karet alam yang digunakan dalam penelitian ini adalah karet alam/lateks hasil getah dari pohon karet langsung dan karet alam instan dalam kemasan dengan merk *Querca*. Variasi tersebut digunakan untuk mengetahui kualitas karet/lateks pekat curah yang harganya lebih terjangkau dengan lateks instan ber-merk yang harganya lebih tinggi. Lateks instan ini biasa digunakan dalam pembuatan umpan pancing *soft frog*.

- Silika

Silika berperan sebagai bahan pengisi dan penguat pada komposit ini. Penggunaan material silika ini ditujukan juga agar produk memiliki warna cerah yang mudah modifikasi. Pada penelitian ini digunakan tiga

variasi jumlah silika yaitu 20, 25, dan 30 phr. Pada penelitian sebelumnya oleh Prasertsri[6] digunakan variasi 10-30 phr silika.

- Sulfur

Sulfur berperan sebagai material vulkanisat atau material pengikat dari molekul karet alam. Pada penelitian ini digunakan tiga variasi jumlah sulfur yaitu 3, 5, dan 7 phr. Penelitian sebelumnya oleh Bahruddin[7] digunakan variasi sulfur 3 dan 5 phr. Karena pada penelitian ini ingin mengetahui pengaruh level pada sulfur maka ditambah nilai 7 phr.

- Temperature vulkanisasi

Temperature vulkanisasi cukup berpengaruh pada kematangan material kompon karet alam yang berdampak juga pada kepadatan spesimen nantinya. Variasi temperature vulkanisasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah 140, 150, dan 160°C. suhu tersebut diambil dari penelitian sebelumnya oleh Kinasih[3].

c. Menentukan *orthogonal array*.

Orthogonal array digunakan bertujuan untuk meringkas penelitian menjadi lebih efisien dan digunakan untuk menganalisis data percobaan. Pemilihan *orthogonal array* sesuai dengan jumlah faktor dan level yang digunakan dalam penelitian. Dari *orthogonal array* dapat diketahui jumlah minimal eksperimen yang dapat memberi informasi sebanyak mungkin terkait faktor-faktor yang mempengaruhi. Adapun model matematis dari *orthogonal array* adalah sebagai berikut :

$$L_a = (b^c)$$

Dimana :

L = Simbol matriks.

a = Jumlah percobaan.

b = Jumlah level.

c = Jumlah kontrol factor.

Tabel 3-1 kontrol faktor dan level

Control Factor	Variation		
	Level 1	Level 2	Level 3
Jenis Karet	NR	NR	NR + Instant NR
Silica	20 phr	25 phr	30 phr
Sulfur	3 phr	5 phr	7 phr
Temperatur	140°C	150°C	160°C

Dari Tabel 3-1 diatas terlihat bahwa kontrol faktor yang digunakan berjumlah 4 dan masing-masing mempunyai 3 level, sehingga *orthogonal array* yang sesuai untuk digunakan adalah *orthogonal array* L9 (3^4). Kemudian masukkan tiap kontrol faktor dan levelnya sesuai dengan matriks *orthogonal array* L9.

Tabel 3-2 Matriks *orthogonal array* L9 basic.

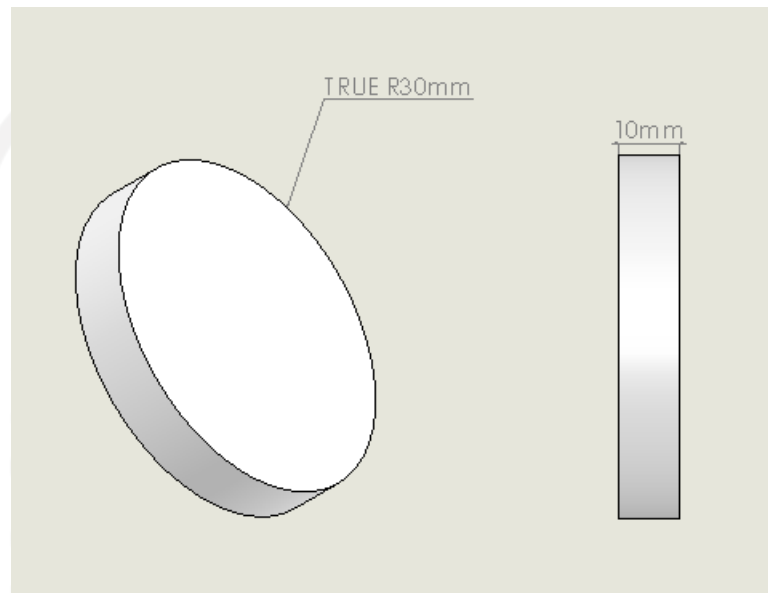
Run	Control factors and levels			
	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

Tabel 3-3 Matriks *orthogonal array* L9.

Run Number	Control Factor			
	Jenis Karet	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

3.3 Objek Penelitian

Objek pada penelitian ini adalah karet alam dengan material tambahan lainnya yang sebelumnya telah ditentukan dengan metode Taguchi, kemudian dilakukan pembuatan spesimen uji untuk mengetahui nilai Tribologinya. Adapun bentuk spesimen yang akan diuji dapat dilihat pada Gambar 3-2.



Gambar 3-2 Spesimen uji tribologi.

Bentuk dan dimensi spesimen uji disesuaikan dengan kapasitas pengecam pada alat uji tribometer.

3.4 Peralatan dan Bahan

Dalam penelitian ini terdapat alat dan bahan yang digunakan pada proses penelitian. Berikut merupakan alat dan bahan yang digunakan.

1. Vakum udara.

Berfungsi sebagai penghisap udara untuk menghilangkan gelembung yang ada pada campuran material.



Gambar 3-3 Vakum udara.

2. Mesin Vulkanisir.

Berfungsi sebagai alat vulkanisir untuk mengeringkan campuran material (kompon) karet alam.



Gambar 3-4 Mesin vulkanisir.

3. Timbangan Digital

Berfungsi untuk mengukur jumlah material yang akan dicampurkan kedalam karet alam sesuai dengan komposisi yang telah ditentukan pada Taguchi Model.



Gambar 3-5 Timbangan digital.

4. Gelas Plastik dan Sumpit.

Berfungsi sebagai wadah dan pengaduk untuk mencampur tiap material yang dibutuhkan.



Gambar 3-6 Gelas plastik dan sumpit

5. Bor tangan

Berfungsi sebagai alat bantu pengaduk untuk mencampur tiap material yang dibutuhkan.



Gambar 3-7 Bor tangan.

6. *Natural Rubber*

Sebagai material utama dalam pembuatan spesimen uji Tribologi. Terdapat 2 jenis material karet alam yang digunakan pada penelitian ini, yaitu lateks pekat dan lateks instan yang sudah diolah oleh pabrik.



Gambar 3-8 Lateks instan & lateks pekat.

7. Sulfur

Sebagai material tambahan yang berfungsi sebagai vulkanisat atau unsur pengikat karet alam.



Gambar 3-9 Sulfur.

8. *Silica Powder*

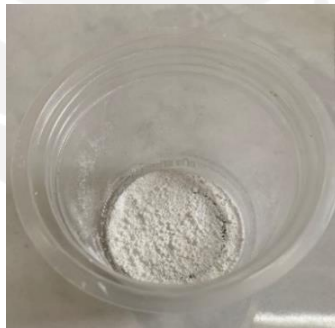
Sebagai material tambahan untuk pengisi atau penguat campuran karet alam.



Gambar 3-10 *Silica powder.*

9. ZnO

Sebagai material aktivator untuk mempercepat proses vulkanisasi campuran material karet alam.



Gambar 3-11 ZnO.

10. Asam stearat

Sebagai material aktivator untuk mempercepat proses vulkanisasi campuran material karet alam.



Gambar 3-12 Asam stearat.

11. Lateks Polymer

Sebagai material tambahan untuk pengental karet alam.

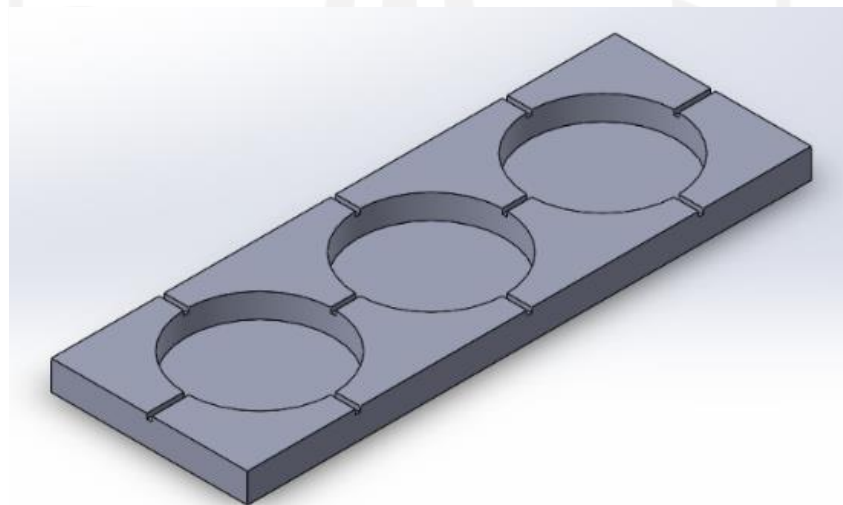


Gambar 3-13 Lateks *polymer*.

3.5 Pembuatan Spesimen Uji Tribologi

Pembuatan spesimen uji tribologi dilakukan bertujuan untuk mengetahui karakteristik tribologi dari setiap campuran material yang pada penelitian ini berbahan dasar karet alam, untuk kemudian nantinya diaplikasikan pada produk telapak kaki prostetik. Berikut adalah langkah-langkah proses pembuatan spesimen uji tribologi :

1. Membuat desain cetakan spesimen uji menggunakan *software Solidworks*.



Gambar 3-14 Desain cetakan spesimen.

2. Membuat cetakan spesimen. Karena adonan karet akan melalui proses vulkanisasi dengan suhu yang cukup tinggi maka cetakan dibuat dari bahan plat alumunium dengan ketebalan dengan proses pemesinan CNC. Cetakan spesimen dapat dilihat pada Gambar 3-15.



Gambar 3-15 Cetakan spesimen.

3. Menyiapkan semua alat dan bahan yang akan digunakan dalam proses pembuatan spesimen. Siapkan bahan dengan komposisi yang sebelumnya sudah ditentukan pada Tabel 3-3. Pengukuran komposisi bahan sesuai dengan yang telah ditentukan menggunakan timbangan digital yang ditunjukkan pada Gambar 3-4. Untuk jumlah silika dan sulfur dituliskan dengan *phr* (*per hundred rubber*) yang artinya adalah per seratus bagian karet. Sebagai contoh silika 20 phr dari 75 gram karet alam maka silika yang digunakan sebanyak 15 gram, begitu juga dengan sulfur 5 phr dari 75 gram karet alam maka sulfur yang digunakan adalah sebanyak 3,75 gram.



Gambar 3-16 Contoh penimbangan bahan.

- Masukkan bahan-bahan sesuai dengan takaran yang telah ditentukan kedalam karet alam secara berurutan. Adapun urutan memasukan bahan yaitu silika, sulfur, ZnO, asam stearat, lateks polymer. Lakukan pengadukan pada setiap penambahan bahan. Proses pengadukan menggunakan alat bantu bor tangan.



Gambar 3-17 Proses pengadukan.

- Masukkan adonan kompon karet kedalam cetakan spesimen seperti ditunjukkan pada gambar 3-18.



Gambar 3-18 Proses penuangan adonan kedalam cetakan.

- Masukkan adonan karet alam yang sudah berada dalam cetakan kedalam vakum udara untuk mengeluarkan gelembung yang ada di dalam adonan karet.



Gambar 3-19 Proses vakum adonan karet.

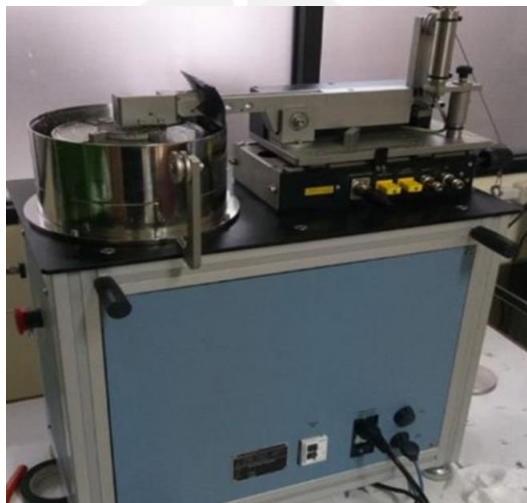
7. Masukkan adonan yang sudah divakum kedalam mesin vulkanisir. Pada mesin atur suhu sesuai dengan variasi yang telah ditentukan dengan waktu tetap 20 menit pada setiap variasi.
8. Keluarkan cetakan dari mesin vulkanisir kemudian keluarkan adonan dari dalam cetakan. Adonan yang telah menjadi spesimen ditunjukkan pada gambar 3-20.



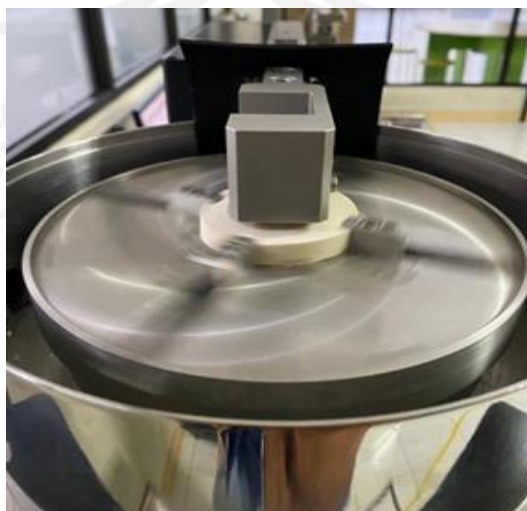
Gambar 3-20 Spesimen uji tribologi.

3.6 Pengujian Tribologi

Pengujian tribologi yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan alat tribometer *Pin on Disc*. Pengujian tribologi ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui perbedaan nilai gaya gesek dan aus yang terjadi pada tiap variasi kontrol faktor dan level dalam pembuatan spesimen. Spesimen uji yang digunakan pada penelitian ini berbentuk *disc* dengan diameter 60mm dan tinggi 10mm dapat dilihat pada Gambar 3-20. Pada proses pengujian nantinya *disc* akan diputar oleh motor servo kemudian diatas *disc* diletakkan *pin* dengan beban yang telah ditentukan. *Pin* yang digunakan dalam pengujian ini berbentuk bola dengan diameter 10mm. Alat uji tribometer *Pin on Disc* dapat dilihat pada Gambar 3-21 dan Proses pengujian dapat dilihat pada Gambar 3-22.



Gambar 3-21 Tribometer *Pin on Disc*.



Gambar 3-22 Pengujian *Pin on Disc*.

Pada pengujian ini terdapat beberapa parameter yang perlu diatur, diantaranya adalah :

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

Pemilihan beban berdasarkan pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya[9] dengan bentuk pin silinder berdiameter 10mm menggunakan beban 7 N. Dengan beberapa asumsi yaitu pada kondisi *midfoot loading* berat yang ditumpu pada kaki sebesar ½ dikali berat tubuh [19]. Dan luas permukaan kaki yang menyentuh pada kondisi *midfoot loading* sebesar 54 cm² [20]. Kemudian untuk menentukan beban yang diaplikasikan didapat dari perhitungan berikut :

$$P = \frac{F}{A}$$
$$P = \frac{500 \text{ N}}{54 \times 10^{-4} \text{ m}^2}$$
$$P = 92592.59259 \text{ N/m}^2$$
$$F = P \cdot A$$
$$F = 92592.59259 \text{ N/m}^2 \times 3.14 \times 0.005^2 \text{ m}$$
$$F = 7.3 \text{ N} \sim 7 \text{ N}$$

Pada penelitian ini digunakan pin berbentuk bola jadi luas permukaan yang akan mengenai *disc* dalam pengujian dapat dihitung dengan *Hertz Theory* namun karena pada persamaan *Hertz Theory* juga memerlukan nilai gaya jadi tidak dapat dilakukan perhitungan. Jika perhitungan didapat pun nilai beban yang didapat akan sangat kecil karena permukaan yang terkena *disc* dalam pengujian hanya ujung bolanya saja, sedangkan jika bebannya terlalu kecil data pengujian akan tidak valid karena material yang diuji merupakan material yang elastis yang nantinya akan membuat pin bola terpantul. Jadi digunakan beban sebesar 5 N agar pengujian yang dilakukan valid dan relevan.

BAB 4

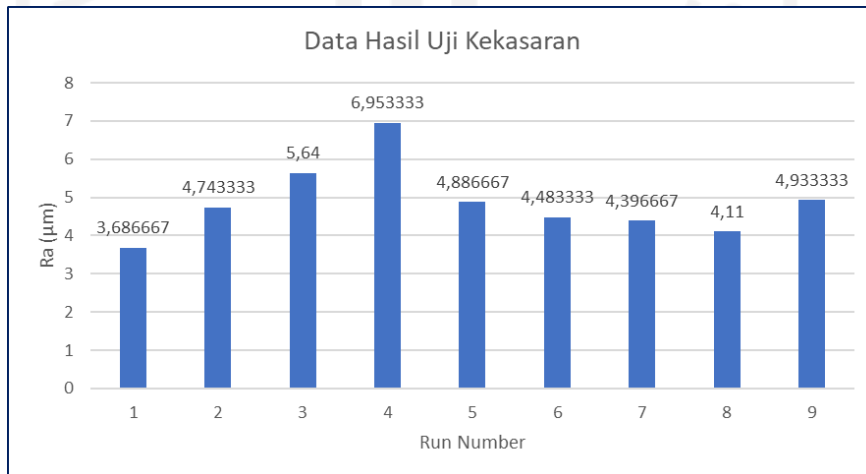
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Kekasaran

Pengujian kekasaran dilakukan pada tiga spesimen pada tiap variasi *run number*. Didapatkan hasil yang berbeda-beda dirasa disebabkan oleh material yang tidak larut sempurna dalam proses pengadukan. Data hasil pengujian kekasaran dapat dilihat pada Tabel 4-1.

Tabel 4-1 Data hasil pengujian kekasaran.

Run Number	Ra			Rata-rata	Standar Deviasi
	1	2	3		
1	3,8	3,76	3,5	3,686667	0,162891
2	4,33	5,35	4,55	4,743333	0,536781
3	5,03	5,96	5,93	5,64	0,528488
4	6,58	7,86	6,42	6,953333	0,789261
5	4,92	4,61	5,13	4,886667	0,261598
6	4,92	4,32	4,21	4,483333	0,382143
7	4,05	4,57	4,57	4,396667	0,300222
8	4,59	3,43	4,31	4,11	0,60531
9	5,61	4,4	4,79	4,933333	0,617603



Gambar 4-1 Grafik data uji kekasaran

Dari Gambar 4-1 diatas terlihat bahwa variasi yang mempunyai nilai kekasaran tertinggi adalah variasi *run number* 4.

4.2 Hasil Pengujian Tribologi

Pengujian tribologi dilakukan untuk mendapatkan nilai gaya gesek dan aus dengan alat tribometer *pin on disc* yang ada di laboratorium Teknik Mesin UII. Pengujian dilakukan pada tiga spesimen dari tiap variasi *run number* untuk mendapatkan rata-rata nilai gaya gesek dan besar massa aus. Data nilai gaya gesek dan massa aus dari pengujian tribologi dapat dilihat pada Tabel 4-2 dan Tabel 4-6.

4.2.1 Nilai Gaya gesek

Tabel 4-2 Data gaya gesek hasil pengujian tribologi.

Run Number	Hasil			Perhitungan		
	Uji ke-1	Uji ke-2	Uji ke-3	Rata-rata	Varians	S/N Larger Better
1	5,46753	5,84068	5,55397	5,620726667	0,03815257	14,98557161
2	6,1762	5,82457	6,23749	6,07942	0,049650508	15,66526241
3	6,10107	4,67201	5,27514	5,349406667	0,514689774	14,41232831
4	5,8671	5,241011	5,77118	5,626430333	0,113711208	14,97207241
5	6,14311	5,596247	4,455434	5,398263667	0,74146062	14,40473445
6	6,5686	6,32189	6,34874	6,413076667	0,018320861	16,13751834
7	6,440817	6,725862	6,420396	6,529025	0,029162858	16,29113948
8	5,06341	5,087448	4,96575	5,038869333	0,004154284	14,04522877
9	6,536358	6,16046	6,66533	6,454049333	0,068804467	16,18195245
Rata-Rata S/N						15,23286758

Nilai rata-rata didapat menggunakan persamaan (2-1), nilai varians didapat menggunakan persamaan (2-2), dan nilai *S/N ratio Larger better* didapat menggunakan persamaan (2-3). Dari data *S/N ratio larger better* yang sudah ada maka dapat diketahui nilai rata-rata *S/N ratio larger better* pada tiap faktor dan levelnya menggunakan persamaan (2-1), sebagai contoh untuk kode A1 adalah jenis karet *natural rubber*/lateks pekat. Sehingga setiap data pengujian yang menggunakan komposisi jenis karet *natural rubber*/lateks pekat (A1) hasil *S/N ratio larger better*-nya di rata-rata. Nilai *S/N ratio larger better* pada tiap faktor dan levelnya dapat dilihat pada Tabel (4-3) dibawah ini.

Tabel 4-3 Rata-rata *S/N Ratio* gaya gesek

<i>S/N Larger better</i>	
A1	15,02105411
A2	15,17144173
A3	15,5061069
B1	15,41626116
B2	14,70507521
B3	15,57726637
C1	15,05610624
C2	15,60642909
C3	15,03606741
D1	15,19075284
D2	16,03130674
D3	14,47654316

Dimana :

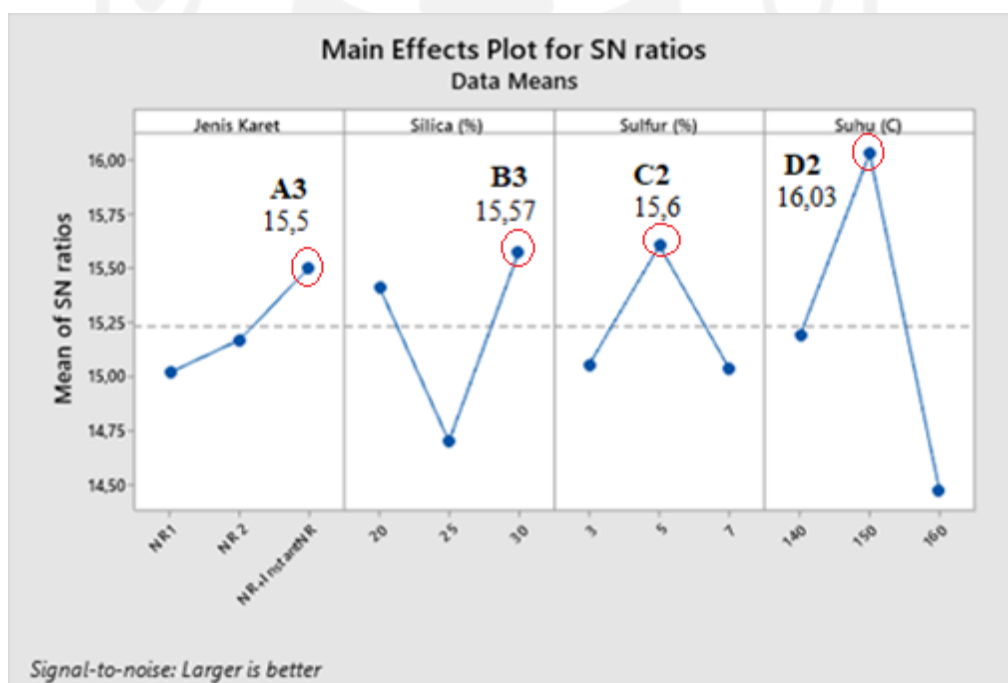
A = Jenis Karet alam

B = Silika

C = Sulfur

D = Temperatur vulkanisasi

1,2,3 = Level dari tiap faktor



Gambar 4-2 Grafik *S/N ratio Larger better* gaya gesek.

Dari Gambar 4-2 diatas dapat dilihat grafik yang menunjukkan level terbaik dari masing-masing faktor. Diketahui komposisi terbaik untuk mendapatkan gaya gesek yang optimum adalah jenis karet alam NR+InstantNR, silika 30 phr, sulfur

5 phr, dan suhu vulkanisasi 150°C. Nilai prediksi dari komposisi tersebut dapat dilihat pada Tabel 4-4.

Tabel 4-4 Prediksi nilai gaya gesek.

Parameter	S/N
Average S/N	15,2328676
A3	15,5061069
B3	15,5772664
C2	15,6064291
D2	16,0313067
Popt	17,0225064

Keterangan :

Popt : Rata-rata jumlah keseluruhan faktor dan level dibagi dengan rata-rata nilai *S/N Ratio*.

Dari komposisi terbaik yang telah didapatkan dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai Popt atau nilai S/N prediksi dari komposisi tersebut. Kemudian untuk mengetahui prediksi nilai gaya gesek dilakukan perhitungan konversi dari Popt menjadi nilai gaya gesek dengan perhitungan sebagai berikut :

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

$$17,02 = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right)$$

$$17,02 = -10 \log \left(\frac{1}{1} \sum \frac{1}{y^2} \right)$$

$$\log \frac{1}{y^2} = -1,702$$

$$\frac{1}{y^2} = 10^{-1,702}$$

$$\frac{1}{y^2} y^2 = 10^{-1,702} y^2$$

$$1 = \frac{1}{10^{-1,702} y^2}$$

$$y = \sqrt{10^{-1,702}}$$

$$y = 7,09 \text{ N}$$

Didapatkan nilai Popt seperti pada Tabel 4-4 kemudian dibulatkan menjadi 17,02 setelah dilakukan perhitungan konversi diatas maka didapatkan prediksi nilai gaya gesek sebesar 7,09 newton. perlu dilakukan pengujian ulang untuk mengkonfirmasi hasil yang didapat. Hasil pengujian ulang dapat dilihat pada Tabel 4-5.

Tabel 4-5 Hasil pengujian ulang gaya gesek optimum.

No	Gaya gesek Optimum (N)
1	6,742
2	6,5209
3	6,84517
Rata-rata	6,70269
S/N ratio	16,51961528

Dari pengujian ulang yang dilakukan didapatkan nilai yang berbeda dari nilai prediksi, namun perbedaan tersebut tidak terlalu signifikan, artinya komposisi terbaik untuk mendapatkan gaya gesek optimum dari pengujian yang dilakukan sudah benar.

4.2.2 Nilai Massa aus

Nilai massa aus didapatkan dari perhitungan selisih nilai massa spesimen sebelum dan setelah dilakukan pengujian. Data pengujian massa aus dapat dilihat pada Tabel 4-6.

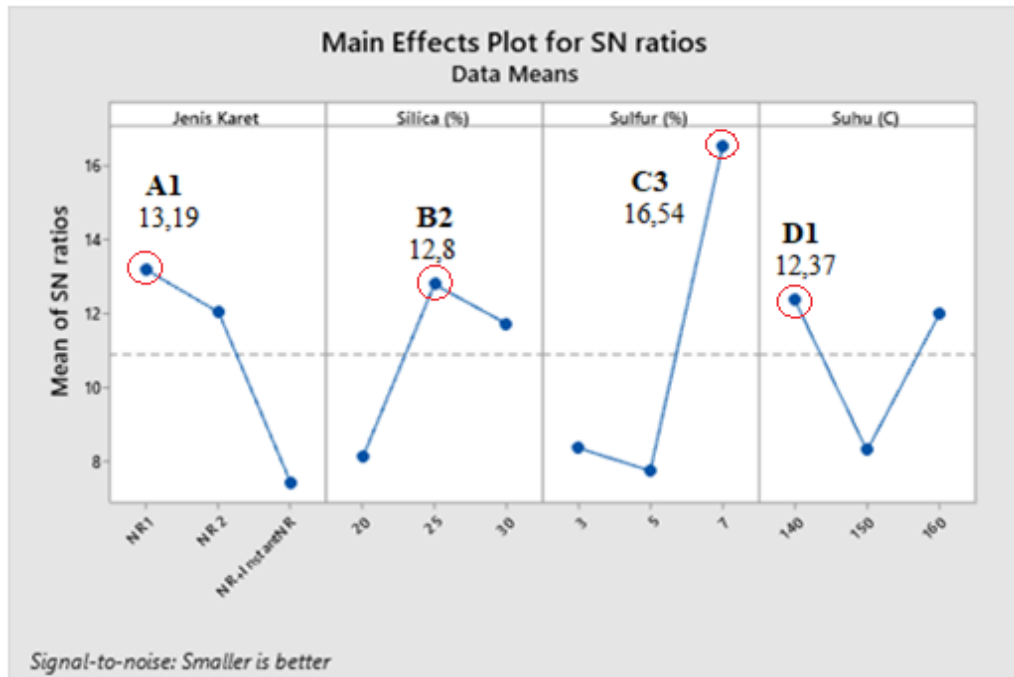
Tabel 4-6 Data massa aus hasil pengujian tribologi.

Run Number	Hasil			Perhitungan		
	Uji ke-1	Uji ke-2	Uji ke-3	Rata-rata	Varians	S/N Smaller better
1	0,43	0,358	0,177	0,321666667	0,016992333	9,400669392
2	0,328	0,296	0,387	0,337	0,002131	9,39341185
3	0,106	0,089	0,076	0,090333333	0,000226333	20,80346718
4	0,486	0,366	0,44	0,430666667	0,003665333	7,260331591
5	0,096	0,081	0,087	0,088	0,000057	21,08908774
6	0,575	0,209	0,351	0,378333333	0,034049333	7,80322059
7	0,323	0,484	0,409	0,405333333	0,006490333	7,730857639
8	0,301	0,517	0,354	0,390666667	0,012672333	7,929889364
9	0,407	0,481	0,504	0,464	0,002569	6,635229214
Rata-Rata S/N						10,89401828

Pada Tabel 4-6 diatas terdapat nilai rata-rata, nilai varians, dan nilai *S/N ratio Smaller better*. Nilai rata-rata didapat menggunakan persamaan (2-1), nilai varians didapat menggunakan persamaan (2-2), dan nilai *S/N ratio Smaller Better* didapat menggunakan persamaan (2-3). Dari data *S/N ratio Smaller Better* yang sudah ada maka dapat diketahui nilai rata-rata *S/N ratio Smaller Better* pada tiap faktor dan levelnya menggunakan persamaan (2-1), sebagai contoh untuk kode A1 adalah jenis karet *natural rubber*/lateks pekat. Sehingga setiap data pengujian yang menggunakan komposisi jenis karet *natural rubber*/lateks pekat (A1) hasil *S/N ratio Smaller Better*-nya di rata-rata. Nilai *S/N ratio Smaller Better* pada tiap faktor dan levelnya dapat dilihat pada Tabel 4-7 dibawah ini.

Tabel 4-7 Rata-rata *S/N ratio* massa aus

	<i>S/N Smaller better</i>
A1	13,19918281
A2	12,05087997
A3	7,431992072
B1	8,130619541
B2	12,80412965
B3	11,74730566
C1	8,377926449
C2	7,762990885
C3	16,54113752
D1	12,37499545
D2	8,30916336
D3	11,99789604



Gambar 4-3 Grafik *S/N ratio Smaller better* massa aus.

Dari Gambar 4-3 diatas dapat dilihat grafik yang menunjukkan level terbaik dari masing-masing faktor. Diketahui komposisi terbaik untuk mendapatkan massa aus yang minimum adalah jenis karet alam *natural rubber*/lateks pekat, silika 25 phr, sulfur 7 phr, dan suhu vulkanisasi 140°C. Nilai prediksi dari komposisi tersebut dapat dilihat pada Tabel 4-8.

Tabel 4-8 Prediksi nilai massa aus

Parameter	S/N
Average S/N	10,8940183
A1	13,1991828
B2	12,8041296
C3	16,5411375
D1	12,3749954
Popt	22,2373906

Dari komposisi terbaik untuk mendapatkan aus minimum yang telah didapatkan dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai Popt atau nilai S/N prediksi komposisi tersebut. . Kemudian untuk mengetahui prediksi nilai massa aus dilakukan perhitungan konversi dari Popt menjadi nilai massa aus dengan perhitungan sebagai berikut :

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

$$22,24 = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right)$$

$$22,24 = -10 \log \left(\frac{1}{1} \sum y^2 \right)$$

$$\log y^2 = -2,224$$

$$y^2 = \frac{1}{10^{-2,224}}$$

$$y = \frac{1}{\sqrt{10^{-2,224}}}$$

$$y = 0,077 \text{ gram}$$

Didapatkan nilai Popt seperti pada Tabel 4-8 kemudian dibulatkan menjadi 22,24 setelah dilakukan perhitungan konversi diatas maka didapatkan prediksi nilai massa aus sebesar 0,077 gram. Perlu dilakukan pengujian ulang untuk mengkonfirmasi hasil yang didapat. Hasil pengujian ulang dapat dilihat pada Tabel 4-9.

Tabel 4-9 Hasil pengujian ulang massa aus minimum

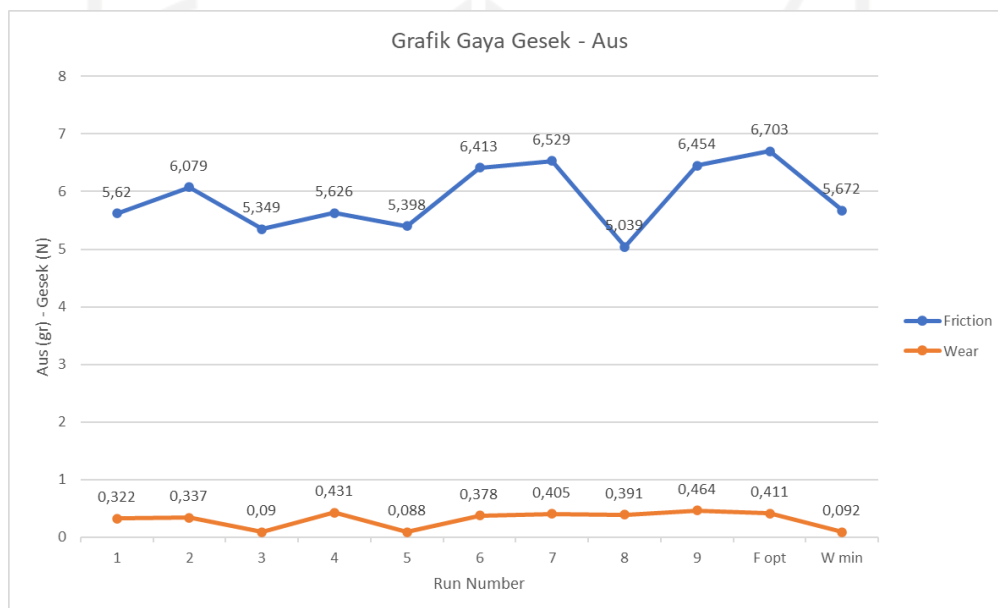
No	Massa aus minimum (gr)
1	0,113
2	0,072
3	0,0924
rata-rata aus	0,092466667
S/N	20,54026837

Dari pengujian ulang yang dilakukan didapatkan nilai yang berbeda dari nilai prediksi, namun perbedaan tersebut tidak terlalu signifikan, artinya komposisi terbaik untuk mendapatkan massa aus minimum dari pengujian yang dilakukan sudah benar.

4.2.3 Perbandingan Gaya gesek dan Massa aus

Dari pengujian tribologi yang dilakukan, didapatkan nilai gaya gesek dan massa aus pada setiap variasi *Run Number*. Kemudian didapatkan variasi baru untuk mendapatkan nilai gaya gesek tertinggi dengan perhitungan *S/N Ratio Larger Better* dan massa aus terendah dengan perhitungan *S/N Ratio Smaller Better*.

Dilakukan pengujian ulang pada kedua variasi tersebut untuk mengkonfirmasi bahwa data yang didapatkan sesuai. Kemudian untuk mengetahui perbandingan nilai gaya gesek dan massa aus dari setiap variasi *Run Number*, gesek tertinggi, dan massa aus terendah dapat dilihat pada Gambar 4-4 dibawah ini.



Gambar 4-4 Grafik Gaya gesek – Massa aus.

Variasi untuk mendapatkan gaya gesek tertinggi dilambangkan dengan Fopt (*Friction Optimum*) dan variasi untuk massa aus terendah dilambangkan dengan Wmin (*Wear Minimum*).

4.2.4 Nilai Kontribusi Faktor

Kontribusi setiap faktor pada setiap pengujian memiliki nilai yang berbeda-beda, bergantung pada pengaruh yang dihasilkan oleh faktor itu sendiri. Untuk mendapatkan nilai kontribusi faktor dilakukan analisis ANOVA dengan menggunakan persamaan yang merujuk pada bab 2 yaitu persamaan (2-6) dan (2-7). Nilai kontribusi faktor yang didapatkan dapat dilihat pada Tabel 4-10 dan 4-11

Tabel 4-10 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%

Tabel 4-11 Nilai kontribusi faktor pengujian massa aus.

Faktor	Kontribusi
Jenis Karet	29,65%
Silica (phr)	12,96%
Sulfur (phr)	49,81%
Suhu Vulkanisasi (°C)	7,59%

Dari Tabel 4-10 diatas dapat dilihat bahwa faktor suhu vulkanisasi mempunyai nilai kontribusi tertinggi pada pengujian gaya gesek dengan nilai 62,58%. Hal ini dikarenakan suhu vulkanisasi sangat berpengaruh pada tingkat kematangan dan kepadatan spesimen karet. Sedangkan pada pengujian massa aus dapat dilihat pada Tabel 4-11 bahwa faktor sulfur mempunyai nilai kontribusi tertinggi dengan nilai 49,81%. Hal ini dikarenakan sulfur adalah material vulkanisat sebagai material pengikat untuk membuat ikatan silang pada molekul karet.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dari tahap studi literatur hingga pengujian dapat disimpulkan bahwa :

1. Pada pengujian kekasaran didapatkan bahwa nilai kekasaran permukaan tertinggi terdapat pada variasi *run number* 4.
2. Pada Pengujian gaya gesek didapatkan komposisi jenis campuran *natural rubber*/lateks pekat dan *natural rubber*/lateks instan dengan perbandingan 50:50, dengan pengisi *silica powder* 30 phr, sulfur 5 phr dan temperatur vulkanisasi 150°C merupakan hasil optimum untuk menghasilkan gaya gesek yang tinggi.
3. Pada pengujian keausan didapatkan komposisi jenis karet *natural rubber*/lateks pekat, *silica powder* 25 phr, sulfur 7 phr, dan temperatur vulkanisasi 140°C merupakan hasil optimum untuk menghasilkan nilai keausan yang kecil.

5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya

Dari penelitian yang telah dilakukan penulis memiliki saran agar penelitian selanjutnya dapat lebih baik, Adapun sarannya adalah sebagai berikut :

1. Proses pengadukan sebaiknya dilakukan dengan alat bantu *mixer* agar seluruh material tercampur merata dan menghasilkan spesimen yang permukaannya halus merata.
2. Untuk penelitian selanjutnya dapat digunakan variasi pada asam stearat sebagai bahan aktivator karena dirasa asam stearat cukup berpengaruh pada hasil kepadatan spesimen.
3. Penelitian selanjutnya dapat dilakukan pengujian tarik dan kuat sobek serta pengujian kekerasan.
4. Penelitian selanjutnya dapat membandingkan karakteristik dengan material telapak kaki palsu yang ada di pasaran.

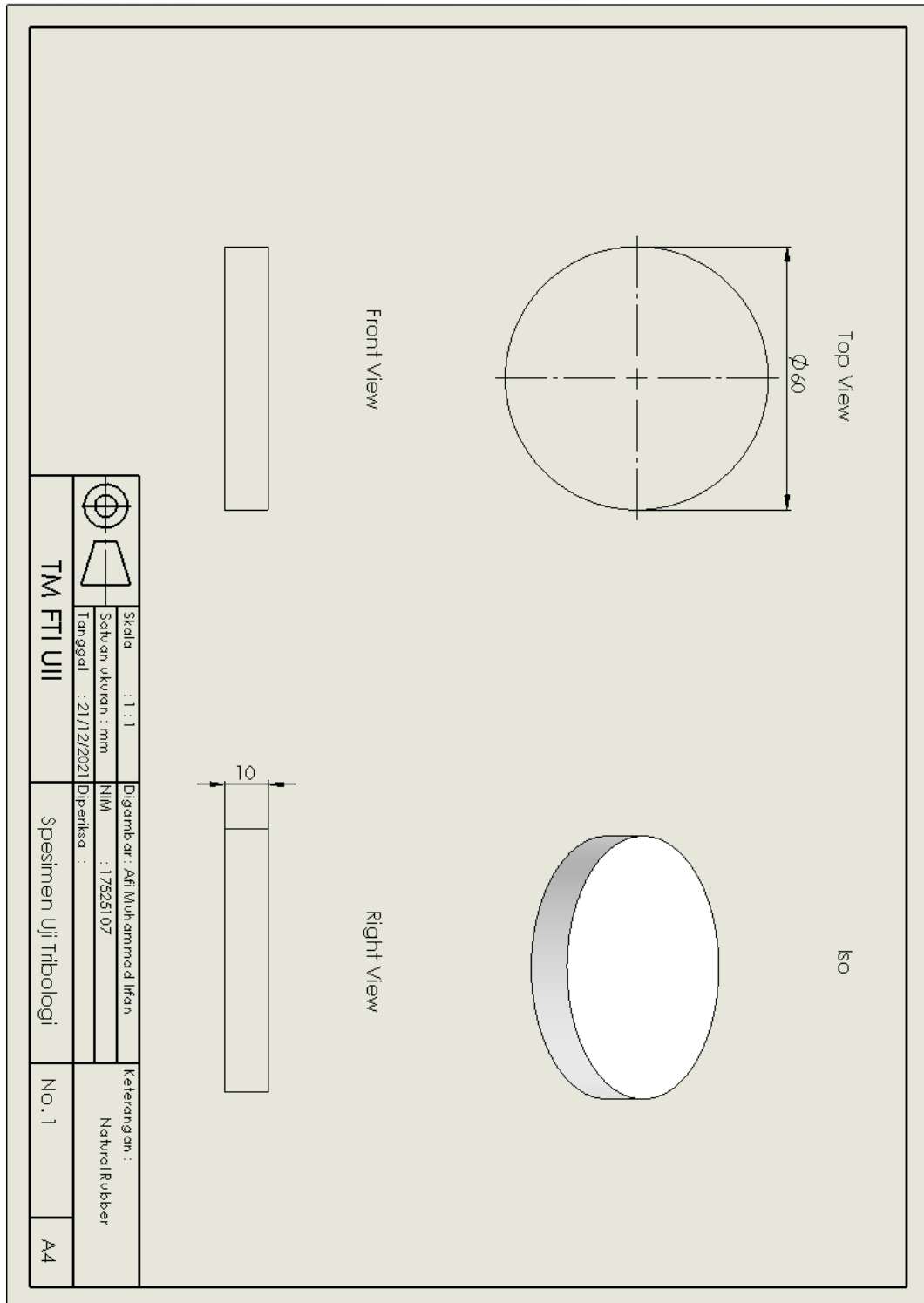
DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rubber Area by Province in Indonesia, 2017-2021 Luas Areal Karet Menurut Provinsi di Indonesia, 2017-2021 n.d. <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:zJd0yQzsFFwJ:https://www.pertanian.go.id/home/index.php%3Fshow%3Drepo%26fileNum%3D228&cd=3&hl=id&ct=clnk&gl=id> (accessed August 30, 2022).
- [2] Kemensos Dorong Aksesibilitas Informasi Ramah Penyandang Disabilitas | Kementerian Sosial Republik Indonesia n.d. <https://kemensos.go.id/kemensos-dorong-aksesibilitas-informasi-ramah-penyandang-disabilitas> (accessed August 30, 2022).
- [3] Kinasih N, Fathurrohman M, Suparto D. Pengaruh suhu vulkanisasi terhadap sifat mekanis vulkanisat karet alam dan karet akrilonitril-butadiena. MKKP 2015;31:65–74. <https://doi.org/10.20543/mkcp.v31i2.504>.
- [4] Ramadhan A, Soegijono B, Fathurrohman M I. Pengaruh Organobentonit dan Asam Stearat terhadap Karakteristik Pematangan dan Sifat Mekanik Karet Alam. 2014 32 (1) : 45-55
- [5] Saputra Fajar A. Pengaruh Karbon Hitam terhadap Hasil Uji Tarik Komposit Karet Alam. 2016
- [6] Prasertsri S, Rattanasom N. Mechanical and damping properties of silica/natural rubber composites prepared from latex system. Polymer Testing 2011;30:515–26. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2011.04.001>.
- [7] Bahruddin B, Sumarno S, Wibowo G, Suwarno N. MORFOLOGI DAN PROPERTI CAMPURAN KARET ALAM/POLYPROPYLENE YANG DIVULKANISASI DINAMIK DALAM INTERNAL MIXER. Reaktor 2007;11:71. <https://doi.org/10.14710/reaktor.11.2.71-77>.
- [8] Ahmed K, Nizami SS, Raza NZ, Habib F. The effect of silica on the properties of marble sludge filled hybrid natural rubber composites. Journal of King Saud University - Science 2013;25:331–9. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2013.02.004>.
- [9] Anggaraksa D. RANCANG BANGUN TELAPAK KAKI PALSU JENIS SOLID ANKLE CUSHION HEEL (SACH) n.d.:107.

- [10] Undang-undang No. 8 tahun 2016 tentang Penyandang Disabilitas.
- [11] Sifat dan Kegunaan Karet Alam. Balai Penelitian Teknologi Karet 2019. <https://www.balitteknologikaret.co.id/elementor-213/> (accessed September 24, 2022).
- [12] Wahjudi D, Pramono Y. Optimasi Proses Injeksi dengan Metode Taguchi n.d.;3:5.
- [13] Sidi P, Wahyudi MT. Aplikasi Metoda Taguchi Untuk Mengetahui Optimasi Kebulatan Pada Proses Bubut Cnc n.d.:8.
- [14] Sobih M, Elseddig Z, Almazy K, Youssef A, Sallam M. Optimization of EBW Parameters for 2219 AL-Alloy Using Grey Relation Method. AMR 2012;591–593:507–14. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.591-593.507>.
- [15] Stachowiak GW, Batchelor AW. Engineering Tribology. Butterworth-Heinemann; 2013.
- [16] Bhushan B. Introduction to Tribology. John Wiley & Sons; 2013.
- [17] Nair RP, Griffin D, Randall NX. The use of the pin-on-disk tribology test method to study three unique industrial applications. Wear 2009;267:823–7. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2009.02.026>.
- [18] Armanto E, Burhanudin A, Krisnandi DD, Prabowo D. PERANCANGAN MESIN UJI TRIBOLOGI PIN-ON-DISC 2012:6.
- [19] GvB, Cochran, "A Primer of Orthopaedic Biomechanics," *New York: Churchill Livingstone*, 1982.
- [20] J. Daniel Lidstone, "Calculating The Area of Compressed Plantar Tissue During Gait," *University Of Nevada, Las Vegas, NV, USA*, 2017.

LAMPIRAN

Desain Spesimen Uji



Desain Cetakan Spesimen Uji

