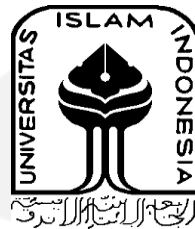


**Optimasi Parameter pada 3D Print Resin untuk Menghasilkan
Karakteristik Tribologi
yang Terbaik menggunakan Metode Taguchi**

TUGAS AKHIR

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



Disusun Oleh :

Nama : Rafi Pandu P.N
No. Mahasiswa : 17525009
NIRM : 1701110002

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

2022

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Rafi Pandu P.N

Nomor Mahasiswa : 17525009

Jurusan : Teknik Mesin

Perguruan Tinggi : Universitas Islam Indonesia

Tahun Akademik : 2022 - 202

Judul Skripsi : Optimasi Parameter pada 3D Print Resin untuk
Menghasilkan Karakteristik Tribologi yang Terbaik
menggunakan Metode Taguchi

Menyatakan dengan sebenar-sebenarnya bahwa skripsi ini disusun dari hasil penelitian yang telah penulis laksanakan. Skripsi ini bukanlah plagiat dari karya ilmiah di suatu perguruan tinggi ataupun hasil karya orang lain.

Yogyakarta, 11 November 2022



Rafi Pandu P.N

NIM : 17525123

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

**Optimasi Parameter pada *3D Print* Resin untuk Menghasilkan
Karakteristik Tribologi
yang Terbaik menggunakan Metode *Taguchi***

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Rafi Pandu P.N

No. Mahasiswa : 17525009

NIRM : 1701110002

Yogyakarta, 20 Oktober 2022

Dosen Pembimbing



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

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

Optimasi Parameter pada *3D Print* Resin untuk Menghasilkan Karakteristik Tribologi yang Terbaik menggunakan Metode Taguchi

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Rafi Pandu P.N


No. Mahasiswa : 17525009

NIRM : 1701110002

Tim Penguji


Dr. Muhammad Khafid, S.T., M.T.

Ketua


Tanggal : 11 November 2022

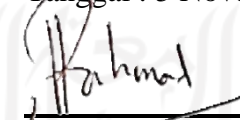
Arif Budi Wicaksono, S.T., M.Eng.

Anggota I


Tanggal : 5 November 2022

Rahmat Riza, S.T., MSc.ME

Anggota II


Tanggal : 11 November 2022

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin




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

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan mengucapkan *Alhamdulillah* segala puji syukur penulis haturkan kepada Tuhan yang Maha Pengasih juga Maha Penyayang yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya. Sholawat serta salam juga penulis haturkan kepada baginda besar, Nabi Agung Muhammad SAW, yang kita nantikan syafaatnya di yaumul akhir kelak. Dengan izin Allah SWT serta ikhtiar yang dilakukan penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Tugas akhir ini saya persembahkan kepada :

Kedua orang tua saya yang saya sayangi dan cintai yaitu Bapak Totok Nugroho dan Ibu Endang Maryani serta tante saya yaitu Retno Dewi Astuti yang selama ini selalu memberikan doa yang tulus, dukungan, perhatian serta kasih sayang yang tak terhingga. Dan kedua adik perempuan saya yaitu Farah Amalia Putri Nugroho dan Faiza Khairina Putri Nugroho yang selalu menjadi penyemangat dalam mengerjakan tugas akhir ini.

HALAMAN MOTTO

“Allah akan meninggikan orang-orang beriman di antaramu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat” (QS Al-Mujadalah : 11)

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

“Rasulullah bersabda : Barangsiapa menempuh jalan untuk mendapatkan ilmu, Allah akan memudahkan baginya jalan menuju surga” HR. Muslim.

“Barangsiapa yang Allah kehendaki kebaikan, maka Allah akan memahamkan dia tentang ilmu agama” HR. Bukhari no. 71 dan Muslim No. 1037

“I’ve never played for a draw in my life.”-Alex Ferguson

“It is what it is, if something bad happens in your life don’t be a loser and blame everyone else but you, take a time to process it and get on with it”-unknown

“Be yourself and never surrender”-Jess No Limit

“Tak ada yang abadi, kita bisa mengubah masa depan”-Alucard

KATA PENGANTAR

Assalamua'laikum warahmatullahi wabarakatuh

Segala puji dan syukur kita panjatkan kepada Allah *Subhanahu Wata'ala* atas berkah dan rahmat yang diberikan-Nya, yang telah memberikan kelancaran dalam pembuatan laporan Tugas Akhir dengan judul “ Optimasi Parameter pada 3D *Print Resin* untuk Menghasilkan Karakteristik Tribologi yang Terbaik menggunakan Metode Taguchi “. Sholawat serta salam penulis haturkan kepada junjungan besar kita Nabi Muhammad SAW. Allah *Subhanahu Wa Ta'ala* selalu memberikan jalan untuk umatnya yang mau berusaha. Laporan Tugas Akhir ini disusun dengan tujuan untuk memenuhi persyaratan menyelesaikan pendidikan sarjana Strata-1 jurusan Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia. Selain itu juga bertujuan sebagai pengaplikasian seluruh ilmu pengetahuan yang didapatkan mahasiswa selama perkuliahan.

Pada proses penyusunan Tugas Akhir ini tak lepas dari banyaknya kendala yang dihadapi penulis, berkat bantuan dukungan yang tiada henti dari berbagai pihak sehingga semua kendala tersebut dapat terselesaikan dengan baik. Untuk itu saya sebagai penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Allah *Subhanahu Wata'ala*, yang telah memberikan kekuatan, ketabahan, keteguhan hati, kesehatan, serta kemudahan dalam menyusun Tugas Akhir dan dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini dengan baik. Serta Baginda Nabi Muhammad SAW yang telah memberikan contoh sifat-sifat yang mulia sehingga penulis dapat meniru sifat keteguhan hati dalam melaksanakan Tugas Akhir ini.
2. Keluarga besar yang penulis amat sangat mencintainya, terkhusus untuk kedua orang tua, Bapak dan Ibu serta Tante yang selalu mendukung baik moril maupun materil serta yang selalu mendoakan agar diberikan kemudahan.
3. Saudari kandung penulis yang selalu mendukung dalam menyelesaikan tugas akhir.
4. Bapak Dr. Muhammad Khafidh S.T., M.T. Selaku Ketua Prodi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia.

5. Bapak Dr. Muhammad Khafidh S.T., M.T. Selaku Dosen Pembimbing yang selalu memberikan banyak bantuan, arahan dan semangat kepada penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Seluruh Dosen Prodi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia yang telah banyak memberikan penulis ilmu pengetahuan dan pengalaman yang baik selama perkuliahan.
7. Seluruh teman-teman Teknik Mesin 2017 yang telah memberikan warna pada kehidupan penulis.
8. Kepada Hismi, Yulian, Fanani, dan Patu selaku abdi sorum yang telah memberikan dukungan moril yang luar biasa yang membuat saya terpacu dalam mengerjakan skripsi saya.
9. Saudari Dyah Hayu yang membantu saya dan memberikan saya semangat dalam mengerjakan skripsi saya

Semoga apa yang telah diberikan kepada penulis mendapat pahala yang berlimpah dari Allah *Subhanahu Wata'ala*. Dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini telah diupayakan sebaik-baiknya. Namun, tidak menutup kemungkinan terdapat adanya kekurangan dan belum sempurnanya laporan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan adanya masukan berupa kritik maupun saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan laporan Tugas Akhir ini.

Penulis berharap dengan terselesaikannya laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat terkhusus bagi penulis kedepan dan umumnya bagi pembaca.

Amiin.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Yogyakarta, 20 Oktober 2022

Penulis,



Rafi Pandu P.N

ABSTRAK

Perkembangan teknologi diiringi dengan berkembangnya proses produksi secara signifikan maka diperlukan produk *single part* untuk itulah digunakan mesin *3D printing* khususnya *3D printer SLA (Stereolithography Apparatus)* yang memproduksi *single part* secara detail. Akan tetapi masih kurangnya penelitian yang mempelajari tentang pengaruh parameter 3D printer dengan karakteristik tribologi.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan menemukan input parameter terbaik agar menghasilkan karakteristik tribologi terbaik atau gaya gesek dan aus yang rendah. Parameter-parameter yang akan divariasikan dalam layer *thickness*, *exposure time*, *uv power*, dan suhu *curing* dengan metode taguchi untuk menghemat penelitian dan mendapat hasil yang diinginkan. Setelah itu dilakukan pengujian tribologi untuk mengetahui nilai gaya gesek dan keausan.

Parameter optimum untuk menghasilkan gaya gesek terkecil adalah *exposure time* 5s, *layer thickness* 0,05 mm, suhu *curing* 70 °C, dan *uv power* 70%. Parameter optimum untuk menghasilkan nilai arus terkecil adalah *exposure time* 10s, *layer thickness* 0,025 mm, suhu *curing* 50 °C, dan *uv power* 70%. Parameter yang paling berpengaruh pada gaya gesek adalah *uv power* dengan kontribusi 32,73%. Parameter yang paling berpengaruh pada nilai keausan adalah *uv power* dengan kontribusi 57,92%.

Kata kunci: *3D printer SLA, Parameter, Taguchi, Gesekan, Keausan, Tribologi*

ABSTRACT

Technological developments are accompanied by the development of the production process significantly, so a single part product is needed for this reason, a 3D printing machine is used, especially the SLA (Stereolithographic Apparatus) 3D printer which produces single parts in detail. However, there is still a lack of research that studies the effect of 3D printer parameters on tribological characteristics.

This study aims to analyze and find the best input parameters in order to produce the best tribological characteristics or low friction and wear. The parameters that will be varied are layer thickness, exposure time, UV power, and curing temperature using the Taguchi method to save research and get the desired results. After that, tribological testing was carried out to determine the value of friction and wear.

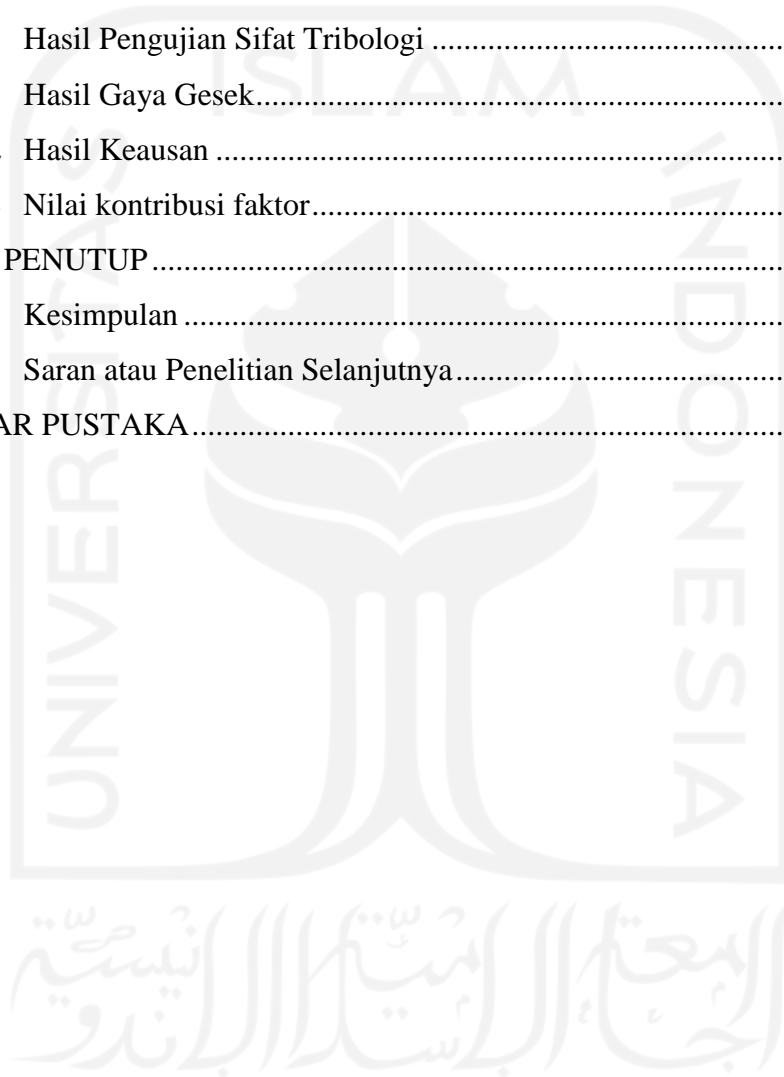
The optimum parameters to produce the smallest frictional force are exposure time 5s, layer thickness 0.05 mm, curing temperature 70°C, and UV power 70%. The optimum parameters to produce the smallest wear value are exposure time 10s, layer thickness 0.025 mm, curing temperature 50°C, and UV power 70%. The most influential parameter on the frictional force is UV power with a contribution of 32.73%. The most influential parameter on the wear value is UV power with a contribution of 57.92%.

Keywords: 3D printer SLA, Parameters, Taguchi, Friction, Wear, Tribology

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING	iii
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	v
HALAMAN MOTTO	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR NOTASI	xv
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Kajian Pustaka	4
2.2 Dasar Teori	5
2.2.1 Mesin 3D Printer SLA	5
2.2.2 Tribologi	6
2.2.3 Metode Taguchi	10
2.2.4 ANOVA.....	15
BAB 3 METODE PENELITIAN	16
3.1 Alur Penelitian	16

3.2	Objek Penelitian.....	17
3.3	Metodologi Penelitian.....	17
3.4	Alat dan Bahan.....	21
3.4.1	Alat dan bahan spesimen tribometer.....	21
3.5	Proses Pembuatan Spesimen Tribometer.....	25
3.6	Pengujian tribologi.....	28
BAB 4.....		30
4.1	Hasil Pengujian Sifat Tribologi	30
4.1.1	Hasil Gaya Gesek.....	30
4.1.2	Hasil Keausan	33
4.1.3	Nilai kontribusi faktor.....	38
BAB 5 PENUTUP		39
5.1	Kesimpulan	39
5.2	Saran atau Penelitian Selanjutnya.....	40
DAFTAR PUSTAKA.....		41



DAFTAR TABEL

Tabel 2- 1	Tabel <i>orthogonal array</i> untuk faktor dan level yang berbeda	10
Tabel 2- 1	Tabel <i>orthogonal array</i> L9.....	10
Tabel 3- 1	Jumlah parameter dan level dari peneltian ini.....	18
Tabel 3- 2	Matriks <i>orthogonal array</i> L9	19
Tabel 4- 1	Hasil pengujian gaya gesek.....	29
Tabel 4- 2	Rata-rata <i>S/N Ratio</i> gaya gesek	30
Tabel 4- 3	Nilai prediksi gaya gesek.....	31
Tabel 4- 4	Hasil pengujian ulang gaya gesek	32
Tabel 4- 5	Hasil pengujian Keausan.....	33
Tabel 4- 6	Rata-rata <i>S/N ratio</i> massa aus	34
Tabel 4- 7	Nilai prediksi nilai massa aus.....	36
Tabel 4- 8	Pengujian ulang massa aus.....	36
Tabel 4- 9	Kontribusi nilai pengujian gaya gesek	37
Tabel 4- 10	Kontribusi nilai pengujian massa aus.....	37

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2- 1	Mesin <i>3D Printing</i> Berbasis <i>SLA</i>	5
Gambar 2- 2	Diagram Skema Prosedur <i>Stereolithography (SLA)</i>	6
Gambar 2- 3	Proses perpindahan dari logam secara adhesi	8
Gambar 2- 4	Proses <i>cutting</i>	8
Gambar 2- 5	Perpindahan karena proses <i>galling</i>	9
Gambar 3- 1	Alur penelitian.....	15
Gambar 3- 2	Spesimen uji tribometer.....	16
Gambar 3- 3	Logo Solid Works	20
Gambar 3- 4	Logo <i>Chitubox</i>	20
Gambar 3- 5	<i>3D Print Photon Mono X</i>	21
Gambar 3- 6	Esun Resin Bio PLA.....	21
Gambar 3- 7	<i>Formlab Washing Machine</i>	22
Gambar 3- 8	<i>Formlab Post Curing</i>	22
Gambar 3- 9	Timbangan digital.....	23
Gambar 3- 10	Desain Cetakan Spesimen.....	24
Gambar 3- 11	<i>Sliced File</i>	24
Gambar 3- 12	Hasil <i>print</i>	25
Gambar 3- 13	Proses pencucian	25
Gambar 3- 14	<i>Proses post curing</i>	26
Gambar 3- 15	Spesimen uji	26
Gambar 3- 16	Alat pengujian <i>pin on disc</i>	27
Gambar 3- 17	Skema dari konfigurasi <i>pin on disc</i>	27
Gambar 3- 18	Spesimen uji tribologi(<i>pin</i>).....	28
Gambar 3- 19	Bandul besi 20 N(<i>disc</i>).....	28
Gambar 4- 1	Grafik S/N ratio smaller better massa aus	31
Gambar 4- 2	Grafik S/N ratio smaller better massa aus	35

DAFTAR NOTASI

S/N	= <i>Signal to noise</i>
N	= <i>Newton</i>
Rpm	= <i>Revolution per minute</i>
C	= <i>Celcius</i>
P_{opt}	= <i>Rata-rata jumlah keseluruhan faktor dibagi rata-rata S/N ratio</i>
\bar{X}	= <i>Rata-rata</i>
S^2	= <i>Varians</i>
$\sum X$	= <i>Jumlah semua nilai data</i>
n	= <i>Banyaknya data</i>
X_i	= <i>data ke-i</i>
SNL	= <i>Signal to noise ratio larger is better</i>
y_i	= <i>Hasil Pengujian</i>
SS	= <i>The sum of squares</i>
k	= <i>number of level</i>
N	= <i>Number of run</i>
n	= <i>Number of noise</i>
Tt	= <i>The total sum of response</i>

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini perkembangan teknologi telah memasuki era Industri 4.0, ditandai dengan *cyber-physical systems*. Era ini memudahkan manusia terhubung dengan manusia lain, dengan mesin-mesin industri, maupun dengan lingkungan disekitarnya. Tentunya, dengan hadirnya revolusi industri 4.0 ini dapat meningkatkan produktivitas secara signifikan. Pada masa ini sering kali dibutuhkan produk single part dimana hanya membutuhkan satu atau beberapa produk yang digunakan tanpa perlu produksi massal atau bersifat *custom design* [1]. Produk yang bersifat *custom design* bisa dibuat dengan menggunakan mesin *3D Printer (3DP)*.

Pertama kalinya mesin *SLA (Stereolithography Apparatus)* diproduksi oleh *3D Systems* pada tahun 1992. Proses pemadatan *photopolymer* pada mesin menggunakan laser *UV (Ultraviolet)*, cahaya *Ultraviolet* yang ditembakkan mengikuti pola yang dibuat pada Software 3DP. Parameter adalah bagian yang sangat mempengaruhi keakuratan dan tingkat kekuatan pada setiap lapisan (*layer*), oleh karena itu pemilihan dan pengaturan parameter ini sangatlah penting [2].

Dengan beberapa keunggulan yang dimilikinya, teknik *3D Printer SLA* telah digunakan di berbagai bidang selama dua dekade terakhir, seperti biomedis, elektronik, teknik mesin dan teknik sipil [3,4]. Meski demikian, kelemahan teknik *SLA* saat ini masih ditemui, antara lain rendahnya sifat mekanis material hasil cetak yang diperoleh [5]. Sifat mekanis material hasil *SLA* dipengaruhi oleh parameter cetak yang digunakan [6]. Selain parameter cetak, *post process* seperti *washing* dan *curing* juga memberikan pengaruh terhadap sifat mekanis spesimen hasil cetak [7]. Salah satu variasi yang digunakan untuk mendapatkan hasil yang optimal yaitu dengan memvariasikan Suhu *curing*

Berdasarkan beberapa penelitian terdahulu, pengujian yang difokuskan adalah uji kekerasan pada umumnya menggunakan uji *Vickers* [8,9]. Akan tetapi, masih kurangnya penelitian yang berfokus pada sifat tribologi. Fokus

penelitian ini pada pengoptimalan parameter *3D print SLA* dengan menggunakan metode taguchi untuk mendapatkan parameter-parameter paling optimal untuk menghasilkan karakteristik tribologi terbaik. Tribologi sendiri adalah bidang ilmu Teknik mesin yang mempelajari gesekan, keausan dan pelumasan. Tribologi banyak ditemukan pada proses permesinan seperti *sliding* dan *rolling* [10].

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan diatas, maka perlu dirumuskan masalah terkait parameter *3D Printer SLA*:

1. Bagaimana cara mengoptimasi multi faktor parameter pada *3D printer SLA* terhadap gesekan menggunakan metode Taguchi ?
2. Parameter apakah yang paling berpengaruh terhadap gesekan menggunakan metode Taguchi?
3. Bagaimana cara mengoptimasi multi faktor parameter pada *3D printer SLA* nilai keausan menggunakan metode Taguchi ?
4. Parameter apakah yang paling berpengaruh terhadap nilai keausan menggunakan metode Taguchi?

1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian parameter *3D Print SLA* ini agar mempermudah serta memfokuskan penelitian maka diberi batasan masalah yaitu :

1. Penelitian dilakukan fokus pada pengujian beberapa spesimen yang dibuat dengan memvariasikan parameter *3D printer*
2. Variasi input parameter pembuatan spesimen pengujian tribometer menggunakan metode *Taguchi*
3. Tidak membahas jenis resin yang digunakan dalam proses 3D print
4. 3D printer yang digunakan adalah *Anycubic Photon Mono X* milik Lab Teknik Mesin UII
5. Pengujian yang dilakukan merupakan pengujian tribologi dengan alat tribometer di Lab Teknik Mesin UII
6. Tidak membahas pengaruh sudut pengeprintan

1.4 Tujuan Penelitian

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

1. Melakukan optimasi multi faktor parameter pada *3D printer SLA* terhadap gesekan menggunakan metode *Taguchi*
2. Mengetahui parameter apakah yang paling berpengaruh terhadap gesekan dan nilai keausan menggunakan metode *Taguchi*
3. Melakukan optimasi multi faktor parameter pada *3D printer SLA* terhadap nilai keausan menggunakan metode *Taguchi*
4. Mengetahui parameter apakah yang paling berpengaruh terhadap nilai keausan menggunakan metode *Taguchi*

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian parameter *3D print SLA* dapat membantu mengoptimalkan hasil print dengan mengetahui parameter-parameter yang paling optimum dalam proses pencetakan.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan pada penelitian telapak kaki palsu ini terdiri dari :

1. BAB I berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat, serta sistematika penulisan.
2. BAB II berisi tentang kajian pustaka serta 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

Kajian pustaka pertama yang digunakan sebagai dasar dalam melakukan penelitian ini berjudul “Pengaruh Parameter Proses 3D Printer Teknologi *Digital Light Processing* Terhadap Geometris Poros” oleh [11]. Penelitian tersebut bertujuan untuk membandingkan pengaruh parameter mesin *3D printer* dengan kesilindrisan poros. Dari penelitian diketahui faktor yang berpengaruh terhadap kesilindrisan poros, yaitu *layer thickness*: 41%, *exposure time*: 1%, interaksi *layer thickness* dan *exposure time*: 52%.

Kajian pustaka yang kedua adalah penelitian yang berjudul “Studi Eksperimental Keausan Permukaan Material Akibat Adanya *Multi-Directional Contact Friction*” oleh [12]. Pada jurnal tersebut meneliti tentang ilmu tribologi pada pengereman menggunakan material komposit, penelitian tersebut menguji sampel komposit yang divariasikan faktor dan level-nya menggunakan metode *Taguchi* untuk mencari nilai optimum dari *hardness* dan *density*. Pengujian ini menggunakan alat *tribometer* yaitu *pin on disc*. Pada penelitian ini didapatkan hasil terbaik variasi faktor pembuatan sampel komposit adalah dengan *pressure* 25.5 MPa, waktu pemanasan 35 menit, dan 10% *plasticizer*.

Kajian pustaka yang ketiga adalah penelitian berjudul “Meningkatkan Mutu Produk Plastik Dengan Metode *Taguchi*” oleh [13]. Penelitian tersebut bertujuan meningkatkan kualitas plastik pada proses *injection moulding* menggunakan metode *taguchi* dan diperoleh hasil campuran 70% plastik murni dan 30% plastik daur ulang merupakan campuran yang paling optimum.

Kajian pustaka yang keempat adalah penelitian berjudul “Analisa Keausan *Cylinder Bearing* Menggunakan *Tribotester Pin-On-Disc* Dengan Variasi Kondisi Pelumas” oleh [14]. Penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui keausan pada *bearing* dengan uji *tribometer pin on disk* dengan hasil nilai volume keausan nya paling tinggi terletak pada pengujian dengan nilai volume keausan $0,011 \text{ cm}^3$ sedangkan nilai volume keausan kondisi pemakaian pelumas adalah sama yaitu $0,0038 \text{ cm}^3$. Semakin tinggi viskositas maka volume keausannya mengecil.

2.2 Dasar Teori

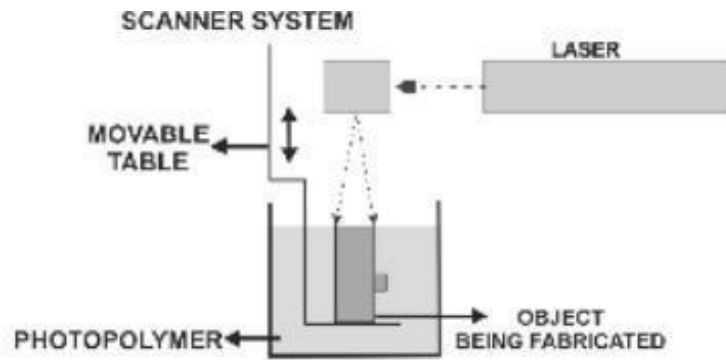
Pada sub bab ini membahas tentang teori yang mendasari penelitian dan menjadi landasan dalam melakukan penelitian ini, diantaranya adalah.

2.2.1 Mesin 3D Printer SLA



Gambar 2-1 Mesin 3D Printing Berbasis SLA[15]

SLA (*Stereolithography*) merupakan teknik pertama kali yang digunakan pada 3D printing. Prinsip kerja dari teknik ini adalah dengan memadatkan cairan berupa resin dengan menggunakan sinar *UV* (*Ultraviolet*). Teknologi ini mengubah cairan menjadi padat dengan cara menambahkan lapisan demi lapisan, teknologi ini memerlukan wadah *photopolymer resin* yang kemudian terdapat *platform* yang dapat digerakan kebawah dan keatas lalu sinar *uv* membangun objek lapisan demi lapisan saat platform menempelkan pada wadah resin[15]. Skema prosedur *stereolithography* (*SLA*) dapat dilihat pada gambar 2-2



Gambar 2-2 Diagram Skema Prosedur *Stereolithography (SLA)* [16]

beberapa kelebihan dari *3D printing* dengan menggunakan teknologi *SLA (stereolithography)* adalah memiliki keakuratan hasil yang sangat tinggi, memiliki hasil kekuatan mekanik yang tinggi, dan memiliki hasil permukaan yang sangat halus. Namun *3D printing* ini juga terdapat kelemahan, diantara kelemahannya adalah memerlukan proses *curing*, bahan baku yang dibutuhkan relatif mahal dan peralatan yang dibutuhkan juga termasuk mahal [16].

2.2.2 Tribologi

Ilmu tribologi muncul pada tahun 1966, pelopor tersebut adalah menteri pendidikan Inggris yaitu H.P. Jost yang menyampaikan laporan terhadap parlemen tentang pemborosan yang diakibatkan besarnya energi yang terbuang percuma karena pengaruh gesekan. Dari situ muncullah istilah tentang ilmu tribologi yang mempelajari gesekan dan bagaimana cara untuk menguranginya [17]

Tribologi sendiri berasal dari kata Yunani, *tribos* yang mempunyai arti menggaruk atau mendorong. Dengan kata lain ilmu tribologi adalah ilmu yang mempelajari tentang interaksi permukaan dalam gerak relatifnya. Tribologi juga bisa disebut dengan pengetahuan tentang pelumasan (*lubrication*), gesekan (*friction*), dan aus (*wear*).

1. Gesekan

Diawali oleh Da Vinci hukum fisika tentang gesekan dikembangkan lagi oleh dua ilmuwan secara terpisah yaitu Amontons (1699) dan Coulomb (1759), dan lebih dikenal dengan hukum gesekan Amontons-Coulomb berisi tentang :

- Gaya gesek yang terjadi pada permukaan yang bersentuhan berbanding lurus dengan gaya tegak lurus yang terjadi pada permukaan tersebut
- Gaya gesekan tidak bergantung pada luas permukaan yang bersentuhan
- Gaya gesekan tidak ada hubungannya dengan kecepatan dorong (*sliding*) permukaan
- Gaya gesek statis lebih besar dibandingkan dengan gaya gesek dinamis

Gaya gesekan dipengaruhi oleh besarnya koefisien gesek atau besaran yang dipengaruhi kekasaran permukaan kedua benda yang bersentuhan dan gaya normal atau massa dikali gravitasi. Berikut rumus dari gaya gesek :

$$f = \pi_f \times N \quad (2-1)$$

Dimana

f = Gaya gesek

π_f = Koefisien gesek

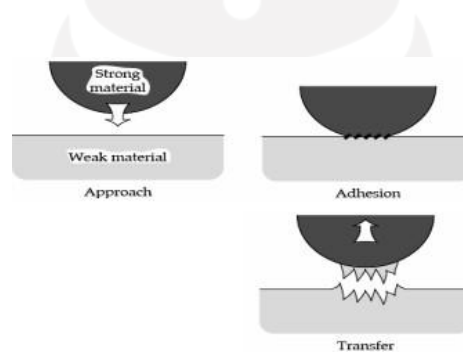
N = Gaya normal

2. Aus

Berdasarkan KBBI aus memiliki arti susut karena tergosok sehingga dapat disimpulkan bahwa keausan adalah ketika suatu material yang bersentuhan mengalami perubahan permukaan seperti terkikis, berkurangnya massa, dan adanya perubahan sifat material. Pada tribologi, keausan pasti akan terjadi dikarenakan dua permukaan yang saling bergesekan. Aus dibagi menurut jenis jenisnya seperti *adhesive wear*, *abrasive wear*, dan *tribo chemical wear* [18].

a) *Adhesive wear*

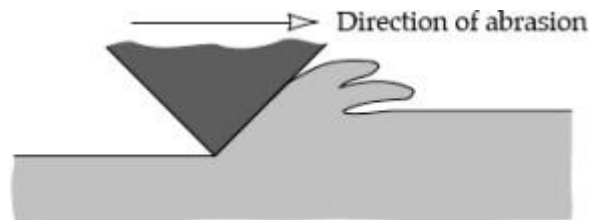
Keausan jenis ini disebabkan oleh berpindahnya material yang lemah ke material yang mempunyai nilai kekerasan yang lebih tinggi, kemudian partikel yang bergesekan saling mengikat. *Adhesive wear* biasa disebut dengan *galling*, *scoring*, *seizing*.



Gambar 2- 3 Proses perpindahan dari logam secara adhesi [17]

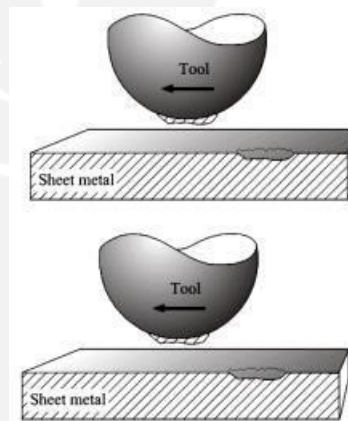
a) *Abrasive wear*

Keausan ini disebabkan oleh hilangnya material sebuah permukaan karena bersinggungan dengan material yang lebih keras. Terdapat dua jenis keausan ini yaitu *two body abrasion* dan *three body abrasion*. *Two body abrasion* diakibatkan dari proses *rubbing* atau penggarukan yang dilakukan oleh material yang lebih keras terhadap material yang lebih lunak, contoh keausan ini dapat ditemukan pada proses pemesinan *cutting* dan *turning*, yang dapat dilihat pada Gambar 2-4.



Gambar 2- 4 Proses *cutting* [17]

Sedangkan untuk three body abrasion disebabkan oleh proses *galling* sehingga serpihan yang ditimbulkan akibat gesekan (debris) mengeras dan berperan dalam hilangnya material akibat proses gesekan yang terjadi terus menerus. Hal tersebut terlihat pada Gambar 2-5.



Gambar 2- 5 Perpindahan karena proses *galling* [17]

b) Tribochemical wear

Keausan ini disebabkan oleh kondisi kimiawi seperti proses mekanis atau proses termal yang terjadi pada lingkungannya. Contoh proses keausan ini akibat proses oksidasi pada *sliding contact* antar logam. Perubahan suhu dan perubahan sifat mekanik pada asperiti merupakan akibat yang ditimbulkan dari keausan kimiawi.

2.2.3 Metode Taguchi

Metode Taguchi merupakan sebuah metodologi yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas suatu produk dan serta dapat menekan biaya dan waktu penelitian seminimal mungkin. Metode Taguchi banyak digunakan untuk berbagai macam penelitian seperti bidang pertanian, peternakan, teknologi, kesehatan, manufaktur dan masih banyak bidang lainnya yang menggunakan metode ini dalam penelitiannya. Metode ini ditemukan oleh ilmuwan Jepang bernama Genichi Taguchi yang bertujuan mengukur kualitas berdasarkan dari karakteristik terhadap nilai targetnya [19].

Untuk membuat metode Taguchi ada beberapa Langkah yang harus dilakukan oleh seorang peneliti untuk melakukan penelitian. Berikut Langkah-langkah dalam membuat metode Taguchi menurut jurnal dari [20] :

1. Definisikan proses penelitian yang akan dilakukan, lebih spesifiknya seperti menentukan target yang akan dicapai. Seperti menentukan apakah target proses tersebut maksimal atau minimal, contohnya penelitian tentang pengujian tarik dengan hasil paling maksimal, atau penelitian tentang kecacatan produk yang harus dikurangi, maka target dari penelitian tersebut adalah hasil dengan minimal kecacatan produk.
2. Tentukan parameter desain yang berpengaruh pada proses, parameter adalah variabel yang berpengaruh dan dapat diatur seperti suhu, kecepatan, tekanan dan lain sebagainya. Selain itu tentukan juga level tiap parameternya seperti untuk parameter suhu akan divariasikan dengan suhu 80 °C, 90 °C, dan 100 °C. Tentukan pula parameter yang tidak dapat diatur atau disebut *noise*, seperti lingkungan, perbedaan tiap spesimen dan lain sebagainya.

3. Membuat *orthogonal array* untuk desain parameter yang mengindikasikan kondisi tiap penelitian. Pemilihan *orthogonal array* didasarkan dengan banyaknya jumlah parameter dan level yang digunakan pada saat melakukan penelitian. *Orthogonal array* merupakan matriks yang dibuat oleh Taguchi untuk memudahkan pada saat penelitian sehingga dapat menghemat waktu dan biaya penelitian. Contoh *orthogonal array* dapat dilihat pada Tabel 2-1 dibawah ini

Tabel 2- 1 Tabel *orthogonal array* untuk faktor dan level yang berbeda [21]

Orthogonal Arrays (OA)	Number of factors	Levels of factors	Number of experiment for OA	Number of experiment for full factorial design
L4 (2^3)	3	2	4	8
L8 (2^7)	7	2	8	128
L9 (3^4)	4	3	9	81
L12 (2^{11})	11	2	12	2048
L16 (2^{15})	15	2	16	32768
L16 (4^3)	5	4	16	1024
L18 ($2^1 \times 3^7$)	1	2	18	4374
	7	3		

Tabel 2- 2 Tabel *orthogonal array* L9 [21]

Experimental trial	Process parameters			
	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

4. Lakukan pengujian dari setelah mendapatkan variasi dan level yang ditentukan sebelumnya. Contoh pada penelitian material komposit, lakukan pengujian Tarik untuk mengetahui besar maksimal pada tiap spesimen.
5. Melengkapi data analisis dari hasil pengujian yang didapatkan untuk mendapat parameter terbaik dari faktor dan level yang telah ditentukan sebelumnya. Kemudian bandingkan juga dengan kondisi lain seperti ekonomi, produk yang telah ada dipasaran, dan kondisi lainnya.

Pada metode Taguchi terdapat beberapa rumus dasar yang digunakan untuk melakukan perhitungan target yang akan dicapai atau biasa disebut dengan *S/N Ratio (Signal to Noise ratio)*. Sebelum mencari nilai *S/N Ratio (Signal to Noise ratio)* perlu mencari rumus dasar perhitungan data sampel, berikut rumus yang digunakan dalam penelitian ini :

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} \quad (2-2)$$

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{N} \quad (2-3)$$

Dimana :

\bar{X} = Rata-rata

S^2 = Varians

$\sum X$ = Jumlah semua nilai data

n = Banyaknya data

X_i = data ke-i

Terdapat tiga karakteristik *S/N ratio* yaitu *Normal is better*, *larger is better*, dan *smaller is better*. Berikut penjelasan mengenai ketiga karakteristik tersebut :

a) *Normal is better*

Pada *S/N ratio* ini berkarakteristik nominal yang mendekati nilai target yang terbaik, atau bersifat kontinyu, rumus tersebut dapat dilihat pada (2-4).

$$SN_t = 10 \log \frac{y^2}{s^2} \quad (2-4)$$

b) *Larger is better*

S/N ratio ini berkarakteristik yaitu semakin besar hasil maka semakin baik, atau nilai targetnya menjauhi nol, rumus tersebut dapat dilihat pada (2-5).

$$SN_l = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (2-5)$$

Dimana :

SN_l = *Signal to noise ratio larger is better*

n = Jumlah total perulangan tiap pengujian

y_i = Hasil Pengujian

c) *Smaller is better*

S/N ratio ini berkarakteristik yaitu nilai target yang ingin dicapai adalah nol atau semakin kecil semakin baik, rumus tersebut dapat dilihat pada (2-6).

$$SN_t = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (2-6)$$

Dimana :

SN_s = *Signal to noise ratio smaller is better*

n = Jumlah total perulangan tiap pengujian

y_i = Hasil Pengujian

2.2.4 ANOVA

ANOVA adalah sebuah analisis statistik yang menguji perbedaan rerata antar grup. Grup disini bisa berarti kelompok atau jenis perlakuan. *ANOVA* ditemukan dan diperkenalkan oleh seorang ahli statistik bernama Ronald Fisher. *ANOVA* merupakan singkatan dari *Analysis of variance*. Merupakan prosedur uji statistik yang mirip dengan *t test*. Namun kelebihan dari *ANOVA* adalah dapat menguji perbedaan lebih dari dua kelompok. Berbeda dengan *independent sample t test* yang hanya bisa menguji perbedaan rerata dari dua kelompok saja. Metode *Taguchi* juga menggunakan *ANOVA* yang bertujuan untuk mengetahui nilai kontribusi dari tiap parameter yang diteliti dari hasil pengujian[21]. Berikut model matematisnya untuk mencari nilai kontribusi tiap faktor (2-6) dan (2-7) :

$$SS = \frac{k}{N \times n} \sum_{t=1}^k \left(Tt^2 - \frac{T^2}{N \times n} \right) \quad (2-7)$$

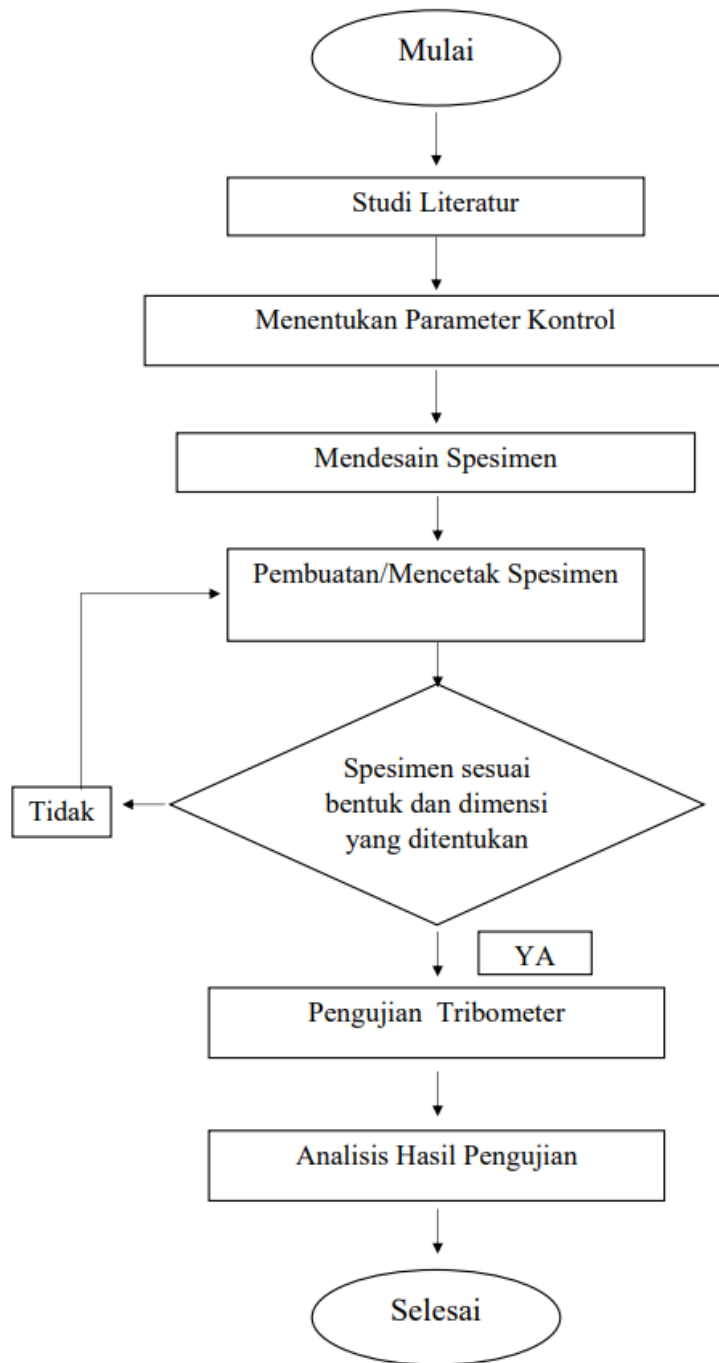
$$SS = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^n \frac{T}{N \times n} = SS_A + SS_B + \dots + SS_H + SS_{error} \quad (2-8)$$

Dimana :

- SS = *The sum of squares*
- k = *number of level*
- N = *Number of run*
- n = *Number of noise*
- Tt = *The total sum of response*

BAB 3 METODE PENELITIAN

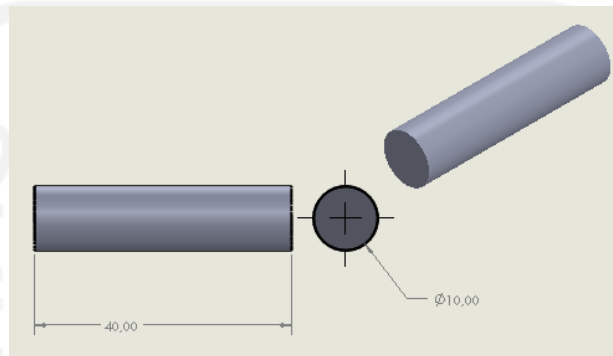
3.1 Alur Penelitian



Gambar 3- 1 Alur penelitian

3.2 Objek Penelitian

Objek penelitian ini hasil print 3D yang telah ditentukan dengan metode *Taguchi*, kemudian dibuat spesimen uji untuk mengetahui nilai tribologinya. Berikut bentuk dari spesimen yang akan diuji sifat tribologinya pada Gambar 3-2



Gambar 3- 2 Spesimen uji tribometer

3.3 Metodologi Penelitian

Pada penelitian ini metodologi yang digunakan sebagai acuan dan digunakan untuk memudahkan proses penelitian adalah metode *Taguchi*. Metode *Taguchi* perlu dilakukan penentuan faktor *noise* dan *level* faktor, pasangan untuk *S/N Ratio* atau desain toleransi berfungsi untuk menyempitkan toleransi parameter sehingga dapat mengurangi variasi [18] sehingga didapat langkah-langkah yang dilakukan dalam merencanakan penelitian tentang parameter *3D Printer SLA* sebagai berikut :

a) Pemilihan Karakteristik *Taguchi* yang Diinginkan

Hasil pengujian tribometer pada penelitian ini yang akan dijadikan sebagai outputnya adalah membuat robot dengan menggunakan part *3D Print SLA* untuk itu nilai tribologi yang terbaik adalah nilai gaya gesek yang terkecil supaya gerakan robot lebih *smooth* dan nilai keausan yang terkecil agar robot lebih awet. Maka karakteristik metode *taguchi* yang digunakan adalah semakin kecil semakin baik (*smaller is better*)

b) Identifikasikan faktor–faktor yang dapat mempengaruhi hasil pengujian untuk parameter *3D printer*.

➤ *Exposure time*

Kualitas cetak untuk setiap *3D printer SLA* juga dipengaruhi oleh kekuatan cahaya dan waktu pencahayaan. *Exposure time* adalah jumlah waktu sumber cahaya akan mengekspos setiap lapisan selama pencetakan [22]. *Exposure time* yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu 5s, 10s, dan 15s.

➤ *Layer Thickness*

Layer thickness adalah ketebalan yang tepat dari setiap lapisan yang dicuring. *Layer thickness* tidak hanya mempengaruhi kecepatan (waktu pencetakan) meskipun relatif, ketinggian Menentukan kualitas pengepintan[22]. *Layer thickness* yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu 0,025mm, 0,5 mm, dan 0,75mm.

➤ *Suhu Curing*

Suhu Curing adalah suhu yang diatur pada saat proses *post curing*. *Suhu curing* sangat berpengaruh terhadap sifat mekanis[23]. *Suhu curing* yang akan digunakan pada penelitian ini adalah 50°C, 60°C, dan 70°C.

➤ *UV Power*

UV Power adalah tingkat kekuatan sinar ultraviolet yang akan dipancarkan selama proses pengepintan yang mempengaruhi sifat mekanis benda [24]. *UV Power* yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu 70%, 80%, dan 90%.

c) *Orthogonal array*

Orthogonal array merupakan matriks dari susunan angka yang mempunyai makna khusus. Dalam menentukan matriks *orthogonal array* perlu memperhatikan jumlah faktor dan level yang digunakan dalam melakukan penelitian. Bentuk umum model matriks *orthogonal array* sebagai berikut :

$L_a (b^c)$

Dimana :

L = simbol latin dari matriks

a = Banyaknya jumlah percobaan

b = banyaknya level

c = banyaknya faktor

Tabel 3- 1 Jumlah parameter dan level dari penelitian ini

Faktor	Variasi		
	Level 1	Level 2	Level 3
Kontrol			
<i>exposure time</i>	5s	10s	15s
<i>layer thickness</i>	0.025 mm	0,05mm	0,075mm
Suhu <i>Curing</i>	50 °C	60 °C	70 °C
<i>UV Power</i>	70%	80%	90%

Pada tabel 3-2 menentukan *orthogonal array* yang digunakan dalam penelitian ini, dengan jumlah 4 faktor dan 3 level, sehingga menggunakan *orthogonal array* L9 (3^4). Setelah itu masukan tiap – tiap faktor kedalam matriks umum dari *orthogonal array* L9, dapat ditunjukkan pada Tabel 3-3

Tabel 3- 3 Matriks *orthogonal array* L9

Run Number	Control Factor			
	<i>exposure time</i>	<i>layer thickness</i>	<i>Suhu Curing</i>	<i>UV Power</i>
1	5s	0,025mm	50 °C	70%
2	5s	0,05mm	60 °C	80%
3	5s	0,075mm	70 °C	90%
4	10s	0,025mm	60 °C	90%
5	10s	0,05mm	70 °C	70%
6	10s	0,075mm	50 °C	80%
7	15s	0,025mm	70 °C	80%
8	15s	0,05mm	50 °C	90%
9	15s	0,075mm	60 °C	70%

3.4 Alat dan Bahan

Penelitian ini terdapat alat dan bahan yang dilakukan untuk melakukan penelitian pembuatan spesimen tribometer.

3.4.1 Alat dan bahan spesimen tribometer

1. Solidwork 2019

Membuat desain spesimen untuk pengujian tribometer.



The image shows the SolidWorks logo, which consists of a red stylized 'S' followed by the word 'SOLIDWORKS' in red.

Gambar 3- 3 Logo *Solidworks*

2. *Chitubox*

Software yang digunakan untuk mengatur posisi pengeprintnan



Gambar 3- 4 Logo *Chitubox*

3. 3D Printer Photon Mono X

3D Printer SLA yang digunakan untuk mencetak spesimen.



Gambar 3- 5 3D Print Photon Mono X

4. Esun Resin Bio PLA

Resin yang digunakan dalam 3D printing SLA.



Gambar 3- 6 Esun Resin Bio PLA

5. *Formlab Washing Machine*

Untuk mencuci hasil print dengan larutan alkohol.



Gambar 3- 7 *Formlab Washing Machine*

6. *Formlab Post Curing Machine*

Untuk mengeringkan hasil print dengan pancaran sinar UV.



Gambar 3- 8 *Formlab Post Curing*

7. Timbangan digital

Berfungsi untuk menimbang spesimen sebelum dan setelah dilakukan pengujian.

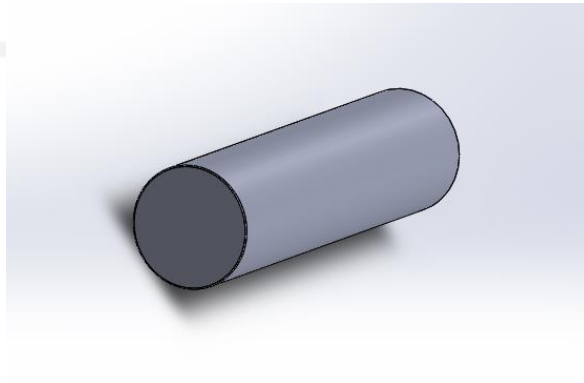


Gambar 3- 9 Timbangan digital

3.5 Proses Pembuatan Spesimen Tribometer

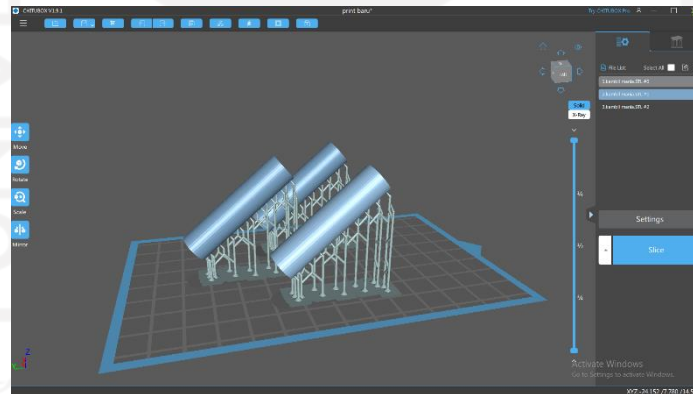
Proses pembuatan spesimen dilakukan di lab Teknik Mesin UII dengan proses sebagai berikut:

1. Membuat desain cetakan untuk nantinya sebagai wadah spesimen menggunakan *software solidworks 2019*.



Gambar 3- 10 Desain cetakan spesimen

2. Mengubah file stl menjadi sliced file dengan chitobox serta dapat digunakan sebagai pengatur *layer thickness* dan *exposure time* nya



Gambar 3- 11 Sliced File

3. Mencetak desain spesimen dengan mesin *3D print* resin yang diatur *uv power* sesuai yang ditentukan



Gambar 3- 12 Hasil *print*

4. Cuci hasil print menggunakan *formlab washing machine* selama 20 menit



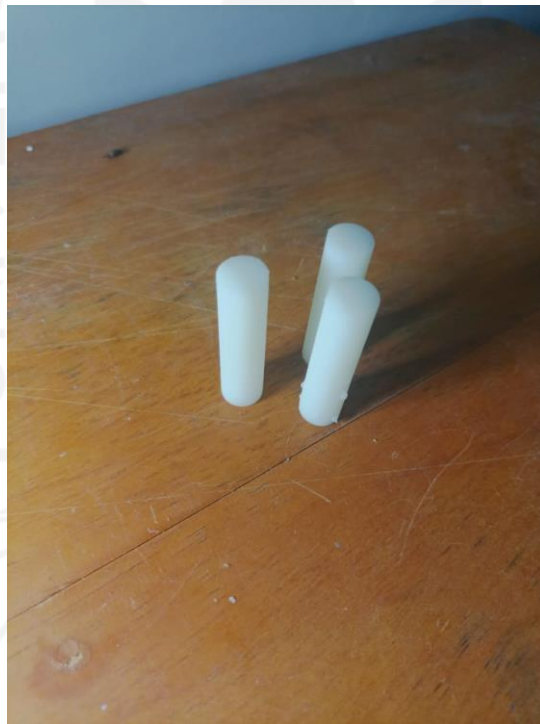
Gambar 3- 13 Proses pencucian

5. Setelah dicuci kemudian masukan hasil print ke dalam mesin *post curing* atur suhu sesuai yang ditentukan dan dengan waktu 60 menit.



Gambar 3- 14 Proses *Post Curing*

6. Berikut hasil akhir spesimen



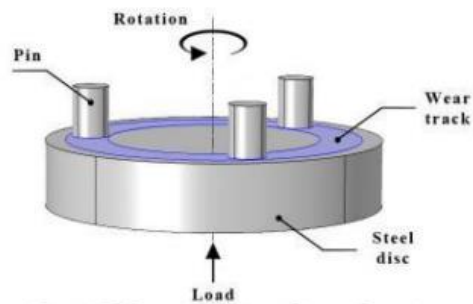
Gambar 3- 15 Spesimen uji

3.6 Pengujian tribologi

Pengujian tribologi pada penelitian ini menggunakan alat tribometer yaitu *pin on disc*. *Pin on disc* merupakan alat dari tribotester yang ditunjukkan pada Gambar 3-16 yang digunakan untuk mengetahui gesekan dan keausan suatu bahan material yang saling bersentuhan, sistem atau skema alat ini adalah *disc* berupa piringan akan diputar oleh motor servo kemudian diletakan *pin* diatas *disc* dengan beban yang telah ditentukan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3-17.



Gambar 3-16 Alat pengujian *pin on disc*



Gambar 3-17 Skema dari konfigurasi *pin on disc* [4]

Penelitian ini yang menjadi bagian *pin* yang ditunjukkan pada Gambar 3-18 adalah spesimen yang telah dibuat menggunakan *3D print photon mono x*, dan yang menjadi *disc* adalah yang ditunjukkan pada Gambar 3-19. Ukuran spesimen disamakan dengan ukuran *pin* yang ada dengan diameter 10 mm dan tinggi 40 mm, sedangkan untuk ukuran *disc* berbentuk lingkaran dengan diameter 60 mm.



Gambar 3- 18 Spesimen uji tribologi (*pin*)



Gambar 3- 19 Disc Besi(*disc*)

Terdapat beberapa parameter yang digunakan dalam melakukan pengujian *pin on disc*, seperti beban, kecepatan, *disc* untuk berputar, dan lama pengujian tersebut berlangsung. Untuk parameter tersebut didapatkan asumsi-asumsi yang akan digunakan sebagai landasan dalam melakukan penelitian. Berikut beberapa asumsi yang digunakan dalam melakukan pengujian :

- Berat beban 20 N
- Kecepatan putar 200 Rpm
- Lama pengujian 10 menit

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Sifat Tribologi

Setelah dilakukan pengujian maka didapatkan hasil dari pengujian sifat tribologi yaitu gaya gesek dan besar aus yang terjadi pada tiap variasi komposisi metode Taguchi. Berikut hasil pengujian sifat tribologi

4.1.1 Hasil Gaya Gesek

Pengujian dilakukan tanpa menggunakan pelumas. Pada setiap komposisi atau *running number* dilakukan pengulangan pengujian sebanyak tiga kali untuk mendapatkan rata-rata nilai gaya gesek dan massa ausnya. Hasil pengujian (gaya gesek) rumus (2-1). Tabel 4-1. Nilai mean (rata-rata) didapatkan dari rumus (2-2), nilai *variance* didapatkan dari rumus (2-3), dan nilai *S/N ratio smaller better* dari rumus (2-6).

Tabel 4- 1 Hasil pengujian gaya gesek

Hasil (N)			Calculation		
1	2	3	Mean	Variance	S/N Smaller Better
10,47784	10,6745	10,79098	10,64777	0,02505	-20,54581565
10,94451	11,08247	11,72332	11,2501	0,172711	-21,0270766
10,08205	10,86378	10,67498	10,54027	0,166387	-20,46136939
12,22168	12,2213	12,10743	12,18347	0,004337	-21,71550548
10,42973	10,85702	10,26602	10,51759	0,093109	-20,44076059
10,86418	11,36853	10,89442	11,04238	0,080011	-20,8631516
11,71782	11,29702	11,52574	11,51353	0,044379	-21,2251371
12,53552	11,60424	11,118	11,75259	0,51885	-21,41353129
10,18939	10,99375	10,99375	10,72563	0,215665	-20,61387792
				Rata-Rata S/N	-20,92291396

Nilai *S/N ratio smaller better* yang telah diketahui kemudian dibuat rata rata setiap komposisinya menggunakan rumus (2-2) yang merujuk pada bab 2, sebagai contoh

untuk kode A1 adalah *exposure time*-nya 5 s, Sehingga setiap komposisi material yang menggunakan *exposure time* 5 s hasil *signal to noise ratio smaller better* dirata-ratakan. Hal tersebut dilakukan agar mempermudah melihat nilai yang paling berpengaruh dalam mengurangi gaya gesek. Pembuatan tabel bertujuan untuk memudahkan membuat grafik tiap-tiap komposisi, hal tersebut dapat dilihat pada Tabel 4-2

Tabel 4- 2 Rata-rata *S/N Ratio* gaya gesek

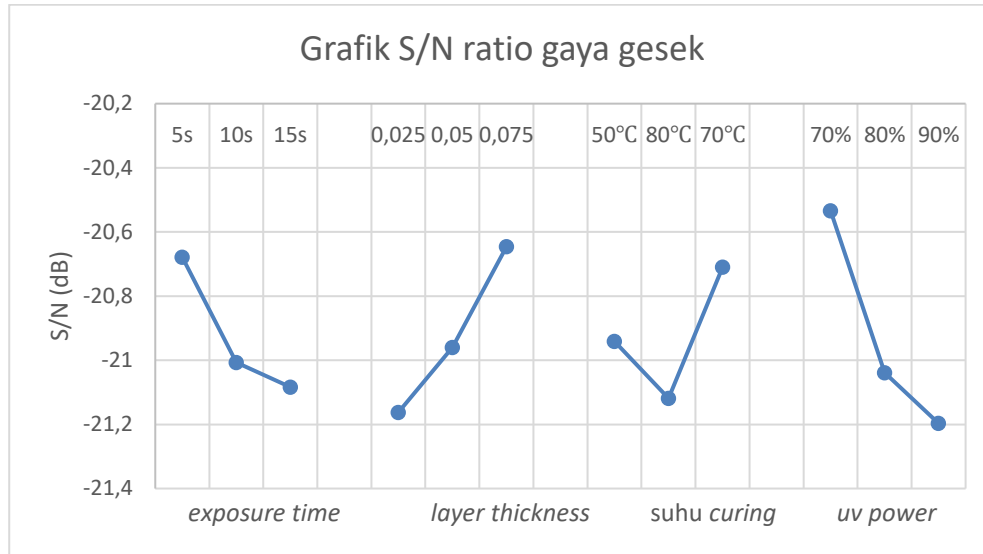
S/N SB Gaya Gesek	
A1	-20,67
A2	-21,01
A3	-21,08
B1	-21,16
B2	-20,96
B3	-20,64
C1	-20,94
C2	-21,11
C3	-20,70
D1	-20,53
D2	-21,03
D3	-21,19

A = *Exposure time* B = *Layer thickness*

C = *Suhu Curing* D = *Uv power*

Angka 1,2,3 = Level dari tiap faktor/parameter

Contoh : B3 = *Layer thickness* 0,075 mm



Gambar 4- 1 Grafik *S/N ratio smaller better* gaya gesek

Pada Gambar 4-1 dilihat grafik yang menunjukkan hasil level terbaik dari setiap faktor. Untuk grafik gaya gesek pada Gambar 4-1 exposure time 5s, layer *thickness* 0,075 mm, suhu *curing* 70 °C, dan *uv power* 70% merupakan hasil level tertinggi dibanding level lainnya untuk memperkecil nilai gaya gesek, Untuk mengetahui faktor dan level yang berpengaruh pada pengujian tribometer gaya gesek ditunjukkan pada Tabel 4-3

Tabel 4- 3 Nilai prediksi gaya gesek

Parameter	S/N
Average S/N	-20,92
A1	-20,67
B3	-20,64
C3	-20,70
D1	-20,53
P_{opt}	-19,79

Keterangan :

P_{opt} : Rata-rata jumlah keseluruhan faktor dan level kemudian dibagi dengan rata-rata nilai *S/N ratio*

Dari hasil nilai terbaik tiap faktor dan level pada masing-masing pengujian gaya gesek maupun massa aus perlu dilakukan kembali pengujian ulang atau disebut dengan konfirmasi hasil. Hal ini bertujuan untuk memastikan apakah hasil terbaik tiap faktor dan level itu benar. Berikut hasil pengujian ulang yang dilakukan untuk mengetahui nilai gaya gesek.

Tabel 4- 4 Hasil pengujian ulang gaya gesek

Nomer	Gaya gesek Optimum(Newton)
1	9,79
2	9,80
3	10,10
Rata-rata	9,90
S/N ratio	-19,92

Hasil pengujian ulang gaya gesek ditunjukkan pada Tabel 4- 4 terdapat perbedaan nilai *S/N ratio* maupun masing-masing nilai gaya gesek `pada pengujian sebelumnya, namun perbedaan nilai tersebut tidak terlalu signifikan, yang artinya hasil pengujian tersebut sudah benar.

4.1.2 Hasil Keausan

Pengujian ini. Pada setiap komposisi atau *running number* dilakukan pengulangan pengujian sebanyak tiga kali untuk mendapatkan rata-rata massa ausnya. Hasil pengujian gaya gesek dan keausan dari keramik halus ditunjukkan pada Tabel 4-5 , nilai mean (rata-rata) didapatkan dari rumus (2-2), nilai *variance* didapatkan dari rumus (2-3), nilai *S/N ratio smaller better* dari rumus (2-6).

Tabel 4-5 Hasil pengujian Keausan

Hasil (gram)			Calculation			
1	2	3	Mean	Variance	S/N Smaller Better	
0,001	0,002	0,002	0,001667	3,33E-07	55,22878745	
0,005	0,004	0,004	0,004333	3,33E-07	47,21246399	
0,003	0,003	0,004	0,003333	3,33E-07	49,45642338	
0,002	0,003	0,002	0,002333	3,33E-07	52,46672333	
0,002	0,002	0,001	0,001667	3,33E-07	55,22878745	
0,003	0,002	0,003	0,002667	3,33E-07	51,34698574	
0,004	0,003	0,003	0,003333	3,33E-07	49,45642338	
0,003	0,003	0,002	0,002667	3,33E-07	51,34698574	
0,002	0,001	0,002	0,001667	3,33E-07	55,22878745	
Rata- Rata S/N					51,88581866	

Nilai *S/N ratio smaller better* yang telah diketahui kemudian dibuat rata rata setiap komposisinya menggunakan rumus (2-2) yang merujuk pada bab 2, sebagai contoh untuk kode A1 adalah *exposure timenya* 5 s, sehingga setiap komposisi material yang menggunakan *exposure time* 5 s hasil *signal to noise ratio smaller better* dirata-ratakan. Hal tersebut dilakukan agar mempermudah melihat nilai yang paling berpengaruh dalam mengurangi massa aus .Pembuatan tabel bertujuan untuk memudahkan membuat grafik tiap-tiap komposisi, hal tersebut dapat dilihat pada Tabel 4-6

Tabel 4- 6 Rata-rata *S/N ratio* massa aus

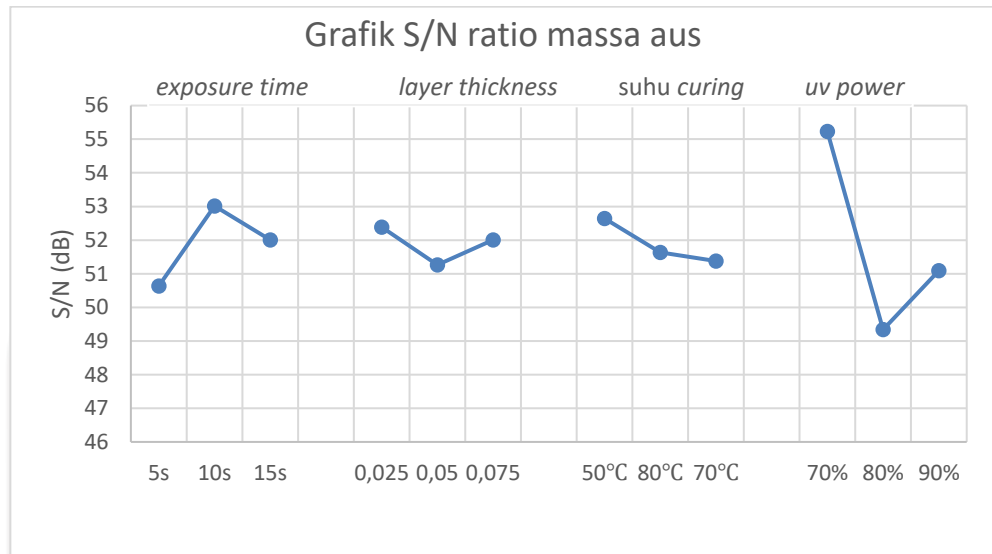
S/N SB Nilai Keausan	
A1	50,63
A2	53,01
A3	52,01
B1	52,38
B2	51,26
B3	52,01
C1	52,64
C2	51,63
C3	51,38
D1	55,22
D2	49,33
D3	51,09

A = Exposure time B = Layer thickness

C = Suhu Curing D = Uv power

Angka 1,2,3 = Level dari tiap faktor/parameter

Contoh : D3 = *Uv power 90%*



Gambar 4- 2 Grafik *S/N ratio smaller better* massa aus

Grafik massa aus pada gambar 4-2 exposure time 10s, *layer thickness* 0,025 mm, suhu *curing* 50 C, dan *uv power* 70%, merupakan level tertinggi dibanding level lainnya untuk memperkecil massa aus. Untuk mengetahui faktor dan level yang berpengaruh pada pengujian tribometer massa aus ditunjukkan pada Tabel 4-7.

Tabel 4- 7 Nilai prediksi nilai massa aus

Parameter	S/N
Average S/N	51,88
A2	53,01
B1	52,38
C1	52,64
D1	55,22
P_{opt}	57,61

Dari hasil nilai terbaik tiap faktor dan level pada masing-masing pengujian gaya gesek maupun massa aus perlu dilakukan kembali pengujian ulang atau disebut dengan konfirmasi hasil. Hal ini bertujuan untuk memastikan apakah hasil terbaik tiap faktor dan level itu benar. Berikut hasil pengujian ulang yang dilakukan untuk mengetahui nilai gaya gesek dan massa aus.

Tabel 4- 8 Pengujian ulang masa aus

Nomer	Massa aus
	optimum (gram)
1	0,001
2	0,001
3	0,002
Rata-rata	0,0013
S/N ratio	56,989

Hasil pengujian ulang gaya gesek maupun massa aus yang ditunjukkan pada Tabel 4- 8 terdapat perbedaan nilai *S/N ratio* maupun masing-masing nilai massa ausnya dari pengujian sebelumnya, namun perbedaan nilai tersebut tidak terlalu signifikan, yang artinya hasil pengujian tersebut sudah benar.

4.1.3 Nilai kontribusi faktor

Nilai kontribusi faktor pada tiap pengujian memiliki nilai yang berbeda-beda, tergantung pada pengaruh yang dihasilkan dari faktor tersebut. Berikut hasil nilai kontribusi faktor menggunakan analisis *variance* atau ANOVA dengan menggunakan rumus merujuk pada bab 2 yaitu (2-7) dan (2-8) :

Tabel 4- 9 Kontribusi nilai pengujian gaya gesek

Faktor	Kontribusi %
<i>Exposure Time</i>	12,67%
<i>Layer Thickness</i>	19,08%
<i>Suhu Curing</i>	11,50%
<i>Uv Power</i>	32,74%
<i>Error</i>	21,04%

Tabel 4- 10 Kontribusi nilai pengujian massa aus

Faktor	Kontribusi %
<i>Exposure Time</i>	9,61%
<i>Layer Thickness</i>	4,94%
<i>Suhu Curing</i>	6,49%
<i>Uv Power</i>	57,92%
<i>Error</i>	24,01%

Hasil nilai kontribusi faktor pada tiap pengujian gaya gesek dapat dilihat pada Tabel 4-9, faktor *Uv power* paling tinggi nilainya pada pengujian gaya gesek dengan nilai 32,74% , sedangkan pada pengujian massa aus yang dapat dilihat pada Tabel 4-10, faktor *Uv power* mempunyai nilai yang tinggi pada pengujian massa aus dengan nilai 57,92%. Error yang terjadi dikarenakan kesalahan penulis dalam penelitian.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

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

1. Pada Pengujian gaya gesek didapatkan parameter optimum untuk menghasilkan gaya gesek terkecil adalah exposure time 5s, *layer thickness* 0,05 mm, suhu *curing* 70 C, dan *uv power* 70%
2. Pada pengujian keausan didapatkan parameter optimum untuk menghasilkan nilai aus terkecil adalah exposure time 10s, *layer thickness* 0,025 mm, suhu *curing* 50 C, dan *uv power* 70%,
3. Parameter yang paling berpengaruh pada gaya gesek adalah *uv power* dengan kontribusi 32,73%
4. .Parameter yang paling berpengaruh pada nilai keausan adalah *uv power* dengan kontribusi 57,92%

5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya

Pada penelitian ini terdapat beberapa saran agar penelitian ini lebih baik kedepannya, berikut saran untuk penelitian selanjutnya :

1. Pada proses pengeprintan agar lebih diperhatikan jumlah resin yang digunakan setiap proses agar resin tidak terbuang akibat mengering.
2. Menggunakan *3D printer* model lain yang ada di laboratorium terpadu teknik mesin uii .
3. Penelitian selanjutnya dapat membandingkan permukaan hasil *3D print*
4. Perlu dilakukan optimasi agar mendapat suatu formulasi yang gesekan dan keausannya kecil.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Setiawan, A. A., Karuniawan, B. W., & Arumsari, N. (2018). Optimasi Parameter 3D Printing Terhadap Keakuratan Dimensi dan Kekasaran Permukaan Produk Menggunakan Metode Taguchi Grey Relational Analysis. *Proceedings Conference on Design Manufacture Engineering and Its Application Program*, 2654.
- [2] Romli, Seprianto, D., Putra, D. P., Zamheri, & Rasid, M. (2020). The Effect of Parameters on the Process of Making Objects with Rapid Prototyping Digital Light Processing Technology on the Bending Stress. *Journal of Physics: Conference Series*, 1500(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1500/1/012027>.
- [3] S Singh and S Ramakrishna “Biomedical applications of additive manufacturing: Present and future” *Curr Opin Biomed Eng* vol 2 pp 105–115 Jun 2017 doi: 10.1016/j.cobme.2017.05.006
- [4] Z-X Low, Y T Chua, B M Ray, D Mattia, I S Metcalfe, and D A Patterson “Perspective on 3D printing of separation membranes and comparison to related unconventional fabrication techniques” *J Memb Sci* vol 523 no May 2016 pp 596–613 Feb 2017 doi: 10.1016/j.memsci.2016.10.006
- [5] J Frketic, T Dickens, and S Ramakrishnan “Automated manufacturing and processing of fiber reinforced polymer (FRP) composites: An additive review of contemporary and modern techniques for advanced materials manufacturing” *Addit Manuf* vol 14 pp 69–86 Mar 2017 doi: 10.1016/j.addma.2017.01.003.
- [6] R B S Gowda, C S Udayagiri, and D D Narendra “Studies on the Process Parameters of Rapid Prototyping Technique (Stereolithography) for the Betterment of Part Quality” *Int J Manuf Eng* vol 2014 pp 1–11 Dec 2014 doi: 10.1155/2014/804705
- [7] G Hu et al “Optimizing the hardness of SLA printed objects by using the neural network and genetic algorithm” *Procedia Manuf* vol 38 no Faim 2019 pp 117–124 2019 doi: 10.1016/j.promfg.2020.01.016.

- [8] B Nowacki, P Kowol, M Koziol, P Olesik, J Wieczorek, and K Waclawiak “Effect of post-process curing and washing time on mechanical properties of mSLA printouts” *Materials (Basel)* vol 14 no 17 pp 1–13 2021 doi: 10.3390/ma14174856.
- [9] S Aati et al “Effect of post-curing light exposure time on the physico-mechanical properties and cytotoxicity of 3D-printed denture base material” *Dent Mater* vol 38 no 1 pp 57–67 2022 doi: 10.1016/j.dental.2021.10.011.
- [10] Michel Urbakh, J. K. (2004). The nonlinear nature of friction. *Nature*..
- [11] Triawan Cahya Persada¹), Muchtar Ginting²), Dicky Seprianto³), “Pengaruh Parameter Proses 3D Printer Teknologi Digital Light Processing Terhadap Geometris Poros” Politeknik Negeri Sriwijaya.
- [12] J. J. A. P. B. W D Lestari, "The von Mises stress distribution on the surface of UHMWPE with texture-shaped," Department of Mechanical Engineering, University of Diponegoro, 2017.
- [13] Moh. Hartono, " Meningkatkan Mutu Produk Plastik Dengan Metode Taguchi," *Jurnal Teknik Industri*, Vol. 13, No. 1, Februari 2012: 93–100 Politeknik Negeri Malang .
- [14] Darmanto¹), Wahid Nasruddin²) dan Imam Syafa'at³), " Analisa Keausan *Cylinder Bearing* Menggunakan Tribotester *Pin-On-Disc* Dengan Variasi Kondisi Pelumas," Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang.
- [15] Laksono, S. P. (2016). Kajian Penerapan Printer 3D Untuk Membuat Wahana Roket. *Media Dirgantara*, 11.
- [16] Cahyandari, D. (2016). Rapid Prototyping Technology Untuk Aplikasi Pembuatan Implan Tulang dan Gigi. *TRAKSI*, 16.

- [17] JOP, "Jenis telapak kaki palsu Madiun," Kaki palsu, Tangan Palsu dan Alat Rehabilitasi Medik, 2014. [Online]. Available: <http://jop.co.id/>. [Accessed 09 05 2022].
- [18] I. Syafaat, "Tribologi, Daerah Pelumasan dan Keausan," *Sejarah Tribologi*, pp. 21-26, 2008.
- [19] P. Carlsson, "Surface Engineering in Sheet Metal Forming," *Digital Comrehensive summaries of Uppsala Dessertation*, 2005.
- [20] M. T. W. Purnowo Sidi, "Aplikasi Metoda Taguchi untuk Mengetahui Optimasi Kebulatan Pada Proses Bubut CNC," *Jurnal Rekayasa Mesin*, pp. 101-108, 2013.
- [21] M. O. B. T. J. Z. Stephanie Fraley, "Design of Experiments via Taguchi Methods - Orthogonal Arrays," (*Chemical Engineering*) at *University of Michigan*, 2021.
- [22] P.A.Sasongko "Pemanfaatan 3D Printing Tipe SLA Untuk Pembuatan Action Figure Gatotkaca". Teknik Mesin UII, Yogyakarta, 2021
- [23] "A Guide to Post-Curing Formlabs Resins," *Formlabs.com*, Diakses tanggal 12 Maret 2022
- [24] "Any cubic Photon Mono X User Manual", *Anycubic.com*, Diakses tanggal 12 Maret 2022