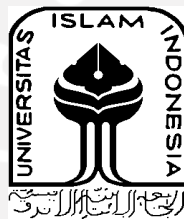


**ANALISIS GESEKAN DAN KEAUSAN PADA PRODUK
PRINTER 3D STEREOLITHOGRAPHY (SLA) DENGAN
REKAYASA TEKSTUR PERMUKAAN YANG TERINSPIRASI
OLEH ALAM**

TUGAS AKHIR

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



Disusun Oleh :

Nama : Muhammad Imaduddin

No. Mahasiswa : 18525122

NIRM : 2018052184

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

2023

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

**ANALISIS GESEKAN DAN KEAUSAN PADA PRODUK
PRINTER 3D STEREOLITHOGRAPHY (SLA) DENGAN
REKAYASA TEKSTUR PERMUKAAN YANG TERINSPIRASI
OLEH ALAM**

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Muhammad Imaduddin

No. Mahasiswa : 18525122

NIRM : 2018052184

Yogyakarta, 15 Maret 2023

Pembimbing,



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

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

ANALISIS GESEKAN DAN KEAUSAN PADA PRODUK PRINTER 3D STEREOLITHOGRAPHY (SLA) DENGAN REKAYASA TEKSTUR PERMUKAAN YANG TERINSPIRASI OLEH ALAM

TUGAS AKHIR


Disusun Oleh :

Nama : Muhammad Imaduddin
No. Mahasiswa : 18525122
NIRM : 2018052184

Tim Penguji

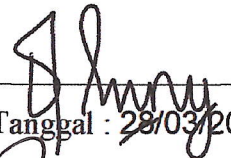
Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T., M.T., IPP

Ketua


Tanggal : 30/3/2023 .

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

Anggota I


Tanggal : 29/03/2023

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

Anggota II


Tanggal : 30/03/2023

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin



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

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini, saya menyatakan bahwa karya tulis ilmiah yang saya hasilkan merupakan hasil karya saya sendiri dan bukan merupakan plagiarisme dari karya tulis milik orang lain. Saya telah menyertakan sitasi dan sumber pustaka untuk semua referensi dan kutipan yang digunakan dalam karya tulis ini. Jika di kemudian hari terbukti bahwa saya melakukan pelanggaran hak kekayaan intelektual atau bahwa apa yang saya tulis dalam karya ilmiah ini tidak benar, saya siap menerima konsekuensi dan sanksi yang diberlakukan oleh Universitas Islam Indonesia.

Yogyakarta, 15 Maret 2023



Muhammad Imaduddin

18525122

HALAMAN PERSEMBAHAN

Segala puji bagi Allah *Azza Wa Jalla*, Tuhan semesta alam, yang telah memberikan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad *Shallallaahu Alaihi Wasallam*, utusan Allah *Azza Wa Jalla* yang menjadi teladan bagi seluruh umat manusia.

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, bantuan, dan doa dalam proses pembuatan Tugas Akhir ini. Tanpa dukungan kalian semua, Tugas Akhir ini tidak akan terwujud. Berikut adalah orang-orang yang ingin penulis berikan penghargaan khusus:

Pertama-tama, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada keluarga penulis, yang telah memberikan dukungan moral dan motivasi dalam setiap tahap pembuatan Tugas Akhir ini. Tanpa dukungan kalian, penulis tidak akan pernah bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan sukses.

Penulis juga ingin berterima kasih kepada dosen pembimbing penulis, yang telah memberikan panduan, bimbingan, dan masukan yang sangat berharga dalam setiap tahap penulisan Tugas Akhir ini. Penulis sangat beruntung memiliki dosen yang begitu berdedikasi dan sabar dalam membimbing penulis.

Penulis juga ingin berterima kasih kepada teman-teman penulis, yang telah memberikan dukungan moral dan inspirasi dalam setiap tahap penulisan Tugas Akhir ini. Penulis sangat berterima kasih atas dukungan kalian yang begitu luar biasa.

Sekali lagi, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam pembuatan Tugas Akhir ini. Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi banyak orang dan dapat memberikan inspirasi bagi pembaca.

HALAMAN MOTTO

“Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan.”

(QS. Al-Insyirah: 5-6)

"Boleh jadi kamu membenci sesuatu, padahal dia amat baik bagimu, dan boleh jadi (pula) kamu menyukai sesuatu, padahal dia amat buruk bagimu; Allah mengetahui, sedang kamu tidak mengetahui."

(QS. Al Baqarah: 216)

"Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya. Ia mendapat pahala (dari kebaikan) yang diusahakannya dan ia mendapat siksa (dari kejahatan) yang dikerjakannya."

(QS. Al-Baqarah: 286)

"Tidak ada dua hal yang digabungkan lebih baik dari pada pengetahuan dan kesabaran."

(Nabi Muhammad *Shallallaahu Alaihi Wasallam*)

"Raihlah ilmu, dan untuk meraih ilmu belajarlah tenang dan sabar."

(Umar bin Khattab)

“Janganlah kamu lemah dan lengah untuk terus menjalaninya. Janganlah sekali-kali engkau angkat jadi pegawaimu mereka yang tidak peduli dengan agama, yang tidak menjauhi dosa besar dan yang tenggelam dalam dosa.”

(Sultan Muhammad Al Fatih)

KATA PENGANTAR ATAU UCAPAN TERIMA KASIH



Alhamdulillah Puji dan syukur hanya bagi Allah *Azza Wa Jalla* yang Maha Pengasih dan Penyayang, yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul " Analisis Gesekan dan Keausan Terhadap Produk Printer 3D SLA dengan Tekstur Permukaan yang Terinspirasi oleh Ular, Hiu, dan Daun *Salvinia* " dengan lancar. Penulis juga tidak lupa untuk mengirimkan shalawat dan salam kepada Nabi Muhammad *Shallallaahu Alaihi Wasallam*, yang telah mengubah kegelapan dunia menjadi terang benderang bagi semua manusia yang berpikir dan belajar.

Penulis menyusun Tugas Akhir ini sebagai persyaratan untuk memperoleh gelar sarjana Teknik dari Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia. Dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini, penulis tentunya mendapat banyak doa dan dukungan dari berbagai pihak, sehingga pada kesempatan ini penulis hendak menyampaikan rasa syukur dan banyak terima kasih kepada:

1. Allah *Azza Wa Jalla*, yang telah memberikan kekuatan, ketahanan, tekad yang kuat, kesehatan, dan kemudahan dalam penyusunan Tugas Akhir sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan dengan baik. Penulis juga mengambil contoh sifat-sifat mulia dari Baginda Nabi Muhammad *Shallallaahu Alaihi Wasallam*, yang telah menunjukkan keteguhan hati dan ketabahan dalam menjalankan tugasnya, sehingga penulis juga dapat meniru sifat-sifat tersebut dalam melaksanakan Tugas Akhir.
2. Kedua orang tua dan seluruh keluarga yang sangat dicintai, yang selalu memberikan dukungan dan doa dalam setiap langkah penulis dalam menempuh pendidikan. Dukungan dan doa mereka telah memberikan

motivasi dan semangat bagi penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan lancar.

3. Bapak Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T., M.T., IPP selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T., M.T., IPP selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan bimbingan dan ilmu yang sangat bermanfaat kepada penulis selama pelaksanaan Tugas Akhir dan penyusunan Laporan Tugas Akhir ini. Bimbingan, pengarahan, serta masukan dan ilmu yang diberikan oleh Bapak telah membantu penulis dalam memahami materi dan menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.
5. Seluruh dosen dan staf Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan kontribusi dan dukungan selama penulis menempuh pendidikan di program studi tersebut. Terima kasih atas ilmu, bimbingan, serta pengalaman berharga yang telah diberikan, yang sangat membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini dan meningkatkan kualitas penulis.
6. Seluruh rekan-rekan mahasiswa Teknik Mesin UII yang telah memberikan dukungan selama penulis menempuh pendidikan di program studi tersebut, terutama selama penyusunan Tugas Akhir ini.

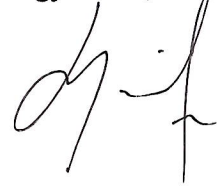
Penulis mengucapkan doa dan harapan yang tulus kepada semua pihak yang telah membantu dan mendukung dalam pelaksanaan Tugas Akhir serta penyusunan Laporan Tugas Akhir ini. Semoga Allah Azza Wa Jalla membalas semua kebaikan dan amal baik yang telah dilakukan dengan kebaikan yang jauh lebih besar. Penulis juga berdoa semoga Allah Azza Wa Jalla senantiasa memberikan kesehatan dan kemudahan dalam segala urusan kepada semua pihak yang telah membantu dan mendukung dalam proses penyelesaian Tugas Akhir ini. *Allaahumma Aamiin ya Rabbal'aalamiin.*

Penulis ingin menyampaikan bahwa dalam penyusunan laporan ini, penulis menyadari bahwa masih terdapat kesalahan-kesalahan yang perlu diperbaiki agar laporan ini menjadi lebih baik dan berkualitas. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak, terutama dari

Dosen Pembimbing, agar penulis dapat memperbaiki kekurangan-kekurangan tersebut dan mencapai hasil yang lebih baik pada kesempatan yang akan datang.

Penulis berharap laporan ini dapat bermanfaat bagi semua yang membacanya, khususnya bagi penulis sendiri untuk meningkatkan pemahaman dan pengalaman dalam bidang Teknik Mesin. Sekali lagi, penulis mengucapkan terima kasih atas semua dukungan dan bantuan yang diberikan dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini.

Yogyakarta, 15 Maret 2023

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized cursive letters that appear to read 'M. I.' followed by a vertical line.

(Muhammad Imaduddin)

ABSTRAK

Beberapa aktivitas manusia tidak terlepas dari fenomena gesekan dan keausan seperti berjalan, mencukur rambut, menggunakan pensil dan karet penghapus, gesekan antara kampas rem dan cakram rem, dan masih banyak lagi. Besar kecilnya gaya gesek dan keausan memiliki keunggulan masing-masing dan dapat diatur sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai pada suatu benda atau sistem. Salah satu cara untuk merekayasa nilai gesekan dan keausan dapat dilakukan dengan melakukan rekayasa pada tekstur permukaan yaitu dengan merekayasa bentuk tekstur permukaan. Bentuk tekstur permukaan dapat terinspirasi dari alam, baik hewan maupun tumbuhan, karena di alam banyak terdapat aktivitas hewan dan tumbuhan yang berkaitan dengan ilmu tribologi (gesekan dan aus) dan memiliki hasil yang baik dalam memenuhi kebutuhan pada aspek tribologi. Sehingga penelitian ini ditujukan agar mengetahui pengaruh rekayasa tekstur permukaan yang terinspirasi alam terhadap nilai gaya gesek dan keausan serta mengaplikasikan tekstur permukaan terinspirasi alam ke suatu prototipe produk.

Untuk memperluas penelitian dan aplikasi tekstur permukaan, pengaruh bentuk tekstur permukaan terhadap sifat tribologi telah dianalisis dalam makalah ini dengan fabrikasi menggunakan printer SLA 3D berbasis resin. Seiring dengan berkembangnya teknologi Printer 3D SLA, tidak hanya digunakan untuk pembuatan prototipe produk tetapi sudah digunakan untuk membuat produk akhir untuk langsung digunakan. Oleh karena itu, untuk mendukung kemajuan industri 4.0 dan manufaktur yang pesat, printer 3D SLA digunakan dalam penelitian ini sebagai metode fabrikasi yang direkayasa untuk membentuk spesimen dengan tekstur permukaan yang terinspirasi dari alam. Pada penelitian ini tekstur permukaan terinspirasi alam yang digunakan adalah tekstur sisik punggung dan perut ular, mikro-riblet dentikel buatan pada kulit hiu serta tekstur buatan daun salvinia.

Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah pengujian gaya gesek serta keausan yang terjadi pada spesimen uji dengan berbagai variasi tekstur permukaan terinspirasi alam. Setelah pengujian didapatkan data hasil pengujian

yang menunjukkan spesimen dengan tekstur punggung ular asli memiliki nilai keausan terkecil sedangkan spesimen dengan tekstur daun salvinia memiliki nilai keausan terbesar. Selanjutnya untuk nilai gaya gesek didapat data hasil pengujian yang menunjukkan spesimen dengan tekstur perut ular memiliki nilai gaya gesek terkecil sedangkan nilai gaya gesek terbesar dimiliki oleh spesimen dengan tekstur mikro-riblet hiu. Kemudian contoh produk yang dibuat adalah *foregrip airsoft gun* dengan tekstur mikro-riblet hiu pada sisi genggamannya karena memiliki nilai gaya gesek terbesar di antara tekstur permukaan yang lain sehingga dapat memberikan grip yang baik dan tidak mudah bergeser.

Kata kunci: tribologi, tekstur permukaan, terinspirasi alam, printer 3D SLA



ABSTRACT

Some human activities are inseparable from phenomena such as friction and wear, such as walking, shaving hair, using pencils and erasers, friction between brake pads and rotors, and many more. The magnitude of frictional forces and wear has its own advantages and can be adjusted according to the desired purpose of an object or system. One way to engineer frictional and wear properties is to engineer surface texture, by manipulating the shape of the surface texture. Surface texture shapes can be inspired by nature, both from animals and plants, as there are many animal and plant activities related to tribology (friction and wear) that have good results in meeting tribological needs. Therefore, this research aims to investigate the effect of natural-inspired surface texture engineering on frictional and wear properties, as well as to apply natural-inspired surface textures to a prototype product.

To expand the research and application of surface texture, the effect of surface texture shape on tribological properties has been analyzed in this paper by fabrication using a resin-based SLA 3D printer. As SLA 3D printer technology continues to evolve, it is not only used for prototyping but is also being used to produce final products for immediate use. Therefore, to support the advancement of Industry 4.0 and rapid manufacturing, a SLA 3D printer is used in this study as an engineered fabrication method to form specimens with surface textures inspired by nature. In this study, natural-inspired surface textures used include snake skin scales, micro-riblet denticles on shark skin, and artificial textures on Salvinia leaves.

The testing conducted in this study is the testing of frictional forces and wear that occur on test specimens with various natural-inspired surface texture variations. After testing, the data showed that specimens with the original snake skin scale texture had the smallest wear value, while specimens with Salvinia leaf texture had the largest wear value. Furthermore, for the frictional force value, the data showed that specimens with the snake belly texture had the smallest frictional force value, while the largest frictional force value was possessed by specimens with micro-riblet shark texture. Then, an example product created is

an airsoft gun foregrip with micro-riblet shark texture on the gripping side, as it has the highest frictional force value among other surface textures, providing a good grip and preventing slippage.

Keywords: tribology, surface texture, nature inspired, SLA 3D printer



DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing	ii
Lembar Pengesahan Dosen Penguji	iii
Pernyataan Keaslian	iv
Halaman Persembahan	v
Halaman Motto	vi
Kata Pengantar atau Ucapan Terima Kasih	vii
Abstrak	x
<i>Abstract</i>	xii
Daftar Isi	xiv
Daftar Tabel	xvi
Daftar Gambar	xvii
Daftar Notasi	xix
Bab 1 Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	5
1.5 Manfaat Penelitian	5
1.6 Sistematika Penulisan	5
Bab 2 Tinjauan Pustaka	7
2.1 Kajian Pustaka	7
2.2 Dasar Teori	11
2.2.1 Tribologi	11
2.2.1.1 Tekstur Permukaan	12
2.2.1.2 Gaya Gesek	12
2.2.1.3 Aus	13
2.2.1.4 Bio-Tribologi	15
2.2.2 <i>Computer Aided Design (CAD)</i>	17
2.2.3 3D Print SLA	18

Bab 3 Metode Penelitian	20
3.1 Alur Penelitian	20
3.2 Peralatan dan Bahan.....	21
3.3 Pemodelan Desain Spesimen	26
3.3.1 Pemodelan 2D Spesimen.....	26
3.3.2 Pemodelan 3D Spesimen.....	33
3.4 Pembuatan Spesimen	34
3.4.1 Pengaturan Pencetakan.....	34
3.4.2 Proses Pencetakan dan Post Curing.....	37
3.4.3 Hasil Pencetakan.....	38
3.5 Pengujian Spesimen.....	39
Bab 4 Hasil dan Pembahasan	42
4.1 Hasil Pengujian	42
4.2 Analisis dan Pembahasan.....	43
Bab 5 Penutup.....	50
5.1 Kesimpulan	50
5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya.....	50
Daftar Pustaka	51
Lampiran.....	55

DAFTAR TABEL

Tabel 3-1	Ukuran asli sisik ular.	29
Tabel 3-2	Ukuran Model 2D spesimen PeU.	30
Tabel 3-3	Dimensi tekstur buatan daun salvinia.	32
Tabel 3-4	Dimensi Model 2D spesimen DSM.	32
Tabel 3-5	Parameter <i>support</i>	35
Tabel 3-6	Parameter <i>print</i>	36
Tabel 3-7	Jumlah Pembuatan Spesimen	39
Tabel 3-8	Parameter pengujian pada <i>tribometer pin on disc</i>	40
Tabel 4-1	Hasil pengujian keausan.	44
Tabel 4-2	Hasil pengujian gaya gesek.	48



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1	Dentikel kulit hiu buatan berbahan busa EPS.....	8
Gambar 2-2	Cetakan mikro riblet hiu berbahan nikel.....	9
Gambar 2-3	Hasil 3D <i>print</i> sisik perut ular berbahan 420 <i>stainless steel</i>	10
Gambar 2-4	Keausan adhesif	13
Gambar 2-5	<i>Two body abrasion</i>	14
Gambar 2-6	<i>Three body abrasion</i>	14
Gambar 2-7	Keausan kelelahan permukaan.....	15
Gambar 2-8	Keausan tribo-kimia.....	15
Gambar 2-9	Prinsip kerja 3D <i>print</i> SLA.....	18
Gambar 2-10	Dua tipe implementasi dari SLA untuk <i>rapid prototyping</i>	19
Gambar 2-11	3D <i>print</i> SLA Formlabs form 2	19
Gambar 3-1	Alur penelitian	20
Gambar 3-2	Laptop	21
Gambar 3-3	<i>Smartphone</i>	21
Gambar 3-4	Printer 3D SLA Anycubic Photon Mono X.....	22
Gambar 3-5	Formlabs Form Wash <i>Washing Machine</i>	22
Gambar 3-6	Formlabs Form Cure <i>Post Curing Machine</i>	23
Gambar 3-7	Timbangan Digital Fujitsu <i>High Precision Balance</i>	23
Gambar 3-8	<i>Tribometer Pin on Disc</i> Neo TR-20 Series.....	24
Gambar 3-9	CorelDraw X7.....	24
Gambar 3-10	SOLIDWORKS 2018	24
Gambar 3-11	CHITUBOX Basic.....	25
Gambar 3-12	Photon Workshop V24.....	25
Gambar 3-13	eSun Standard Resin	25
Gambar 3-14	<i>Isopropyl Alcohol</i>	26
Gambar 3-15	Bentuk asli sisik punggung ular.....	27
Gambar 3-16	Model 2D spesimen PU1	28
Gambar 3-17	Bentuk buatan sisik punggung ular.....	28
Gambar 3-18	Model 2D spesimen PU2	29
Gambar 3-19	Bentuk asli sisik perut ular.....	29

Gambar 3–20	Model 2D spesimen PeU	30
Gambar 3–21	Model 2D spesimen MRH	31
Gambar 3–22	Bentuk asli dan buatan tekstur daun salvinia	31
Gambar 3–23	Model 2D tekstur buatan daun salvinia	32
Gambar 3–24	Model 3D dari tekstur permukaan terinspirasi alam.....	33
Gambar 3–25	Pengaturan <i>raft</i> pada aplikasi <i>slicer printer</i> 3D.....	35
Gambar 3–26	Pengaturan posisi dan parameter <i>print</i>	36
Gambar 3–27	Proses pencetakan spesimen	37
Gambar 3–28	Proses <i>wash</i>	38
Gambar 3–29	Proses <i>cure</i>	38
Gambar 3–30	Hasil 3D <i>print</i> spesimen uji.....	39
Gambar 3–31	Penimbangan spesimen sebelum dan sesudah pengujian	41
Gambar 4–1	Tampilan antarmuka <i>tribometer pin on disc</i>	42
Gambar 4–2	Grafik hasil pengujian gaya gesek dan keausan	43
Gambar 4–3	Data mentah <i>tribometer pin on disc</i>	43
Gambar 4–4	Grafik perbandingan massa aus	45
Gambar 4–5	Hasil <i>Tribometer</i> dari Spesimen PU1	45
Gambar 4–6	Hasil <i>Tribometer</i> dari Spesimen PU2	46
Gambar 4–7	Hasil <i>Tribometer</i> dari Spesimen PeU	46
Gambar 4–8	Hasil <i>Tribometer</i> dari Spesimen MRH	46
Gambar 4–9	Hasil <i>Tribometer</i> dari Spesimen DSM.....	47
Gambar 4–10	Grafik perbandingan gaya gesek.....	48
Gambar 4–11	Contoh aplikasi produk.....	49



DAFTAR NOTASI

μ	= Koefisien Gesek
μm	= mikrometer
δ	= Ketebalan
2D	= 2 Dimensi
3D	= 3 Dimensi
C	= Celsius
CAD	= <i>Computer Aided Design</i>
CFD	= <i>Computational Fluid Design</i>
Cr	= <i>Carbon</i>
CV	= <i>Center Ventral</i>
DLP	= <i>Direct Laser Lithography</i>
DSM	= Spesimen Daun <i>Salvinia Molesta</i>
EPS	= <i>Expanded Polystyrene Foam</i>
F	= Gaya Gesek
Fe	= Ferum
h	= <i>height</i>
IP-DiLL	= <i>Ion Implanted Dip-in Laser Lithography</i>
L-PBF	= <i>Laser-Powder Bed Fusion</i>
N	= Gaya Normal
N	= Newton
mm	= milimeter
mm/s	= milimeter per second
MRH	= Spesimen Mikro Riblet Hiu
PET	= Polyethylene Terephthalate
PeU	= Spesimen Perut Ular
PU1	= Spesimen Punggung Ular Asli
PU2	= Spesimen Punggung Ular Buatan
PVC	= Polyvinyl Chloride
r	= Jari-jari
RPM	= <i>Rotation Per Minute</i>

s = Sekon
SLA = *Stereolithography*
SV = *Side Ventral*
UV = Ultra Violet
UV-LiGa = *Ultraviolet Lithografi Galvanoformung*
VAT = *Vertical Axis Tank*
w = *width*



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Setiap permukaan benda yang saling bersinggungan akan mengalami fenomena gesekan. Fenomena gesekan akan menyebabkan terkikisnya material permukaan suatu benda yang sering disebut dengan *wear* atau aus. Umumnya, kondisi yang diinginkan adalah gesekan dan aus sekecil mungkin seperti yang diharapkan terjadi pada *gear* dan *bearing*. Akan tetapi terdapat pula membutuhkan gesekan dan aus yang besar seperti dalam penggunaan penghapus. Jadi faktor besar kecilnya nilai gesekan dan aus dipengaruhi oleh tujuan yang ingin dicapai pada suatu benda atau sistem. Untuk merekayasa nilai gesekan dan aus maka dilakukan rekayasa pada permukaan, seperti melapisi permukaan, memberikan pelumas, rekayasa tekstur serta kekasaran permukaan, dan lain-lain. Salah satu bentuk untuk merekayasa tekstur permukaan adalah dengan cara membuat tekstur permukaan yang terinspirasi dari alam.

Seiring perkembangan zaman sudah banyak penelitian dan perancangan mengenai tekstur permukaan yang terinspirasi dari alam baik terinspirasi dari hewan maupun terinspirasi dari tumbuhan [1–11]. Terdapat beberapa penelitian dan perancangan tekstur permukaan yang terinspirasi dari hewan seperti *dentikel* hiu [1], [4], [6], [8], sisik ular [2], [3], [5], [12], cangkang kerang [9-10], kaki tokek/cecak/kadal [7], dan lain-lain. Sedangkan untuk penelitian dan perancangan yang terinspirasi tumbuhan diambil dari daun lotus, daun padi, kiambang [9-10], *Salvinia molesta* [11], dan lain-lain. Dari beberapa penelitian dan perancangan tersebut memiliki fokus tujuan yang berbeda-beda. Tekstur permukaan *dentikel* hiu untuk menganalisis sifat pengurangan hambatan [1], sisik ular untuk meneliti pergerakan serta gesekan [2-3], kaki tokek untuk mengetahui sifat adhesi kering [7], *Salvinia molesta* untuk mendapatkan sifat hidrofilik, dan lainnya [11].

Berbagai metode fabrikasi dan material yang berbeda-beda digunakan pada penelitian dan perancangan tekstur permukaan. Sebagai contoh mendapatkan tekstur *dentikel* hiu menggunakan *robotic hot-wire cutting* dengan

material busa EPS [1], metode UV-LiGa dengan material nikel, *roller embossing* dengan material film PET serta PVC [6], *Polymer Additive Grafting Synthesis* dengan material karet dan resin [4]. Kemudian untuk mendapatkan tekstur permukaan kulit ular menggunakan metode dua tahap pencetakan polimer *epoxy resin* [2-3], dan laser *surface texturing* dengan material *Bearing steel 100Cr6* (Fe with 1.5% Cr and 1.0% carbon) [5]. Tekstur permukaan dari kaki tokek juga didapatkan dengan fabrikasi menggunakan metode pemotongan laser yang banyak digunakan pada aplikasi manufaktur industri dengan material cetakan PTFE yang banyak di pasaran serta jenis spesimen menggunakan material PDMS berbagai pola [7]. Selanjutnya untuk mendapatkan tekstur permukaan tumbuhan *Salvina molesta* menggunakan metode 3D *Direct Laser Lithography* dengan material *hydrophilic material (a cross-linked epoxy-based IP-DiLL photoresist)* [11].

Berbagai metode fabrikasi dan produk pada penelitian dan perancangan tekstur permukaan masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan. Metode *robotic hot-wire cutting* dapat membuat produk dengan tekstur yang sudah menyerupai *dentikel* hiu. Proses UV-LiGa serta *roller embossing* dapat memproduksi menyerupai ukuran asli *dentikel* hiu dalam ukuran mikron akan tetapi dengan bentuk yang hanya menyerupai pola *dentikel* bukan permukaan *dentikel*. Metode *Polymer Additive Grafting Synthesis* dapat membuat tekstur yang serupa dengan *dentikel* hiu pada ukuran mikron akan tetapi membutuhkan banyak proses dan waktu dan pembuatan.

Meskipun demikian terdapat beberapa permasalahan yang dapat diambil dari kekurangan metode fabrikasi atau produk yang sudah ada. Seperti, apabila ingin mendapatkan ukuran menyerupai aslinya dengan proses yang singkat harus mengorbankan bentuk yang tidak menyerupai aslinya. Begitu pula bila ingin mendapatkan bentuk dan ukuran yang menyerupai aslinya membutuhkan beberapa proses fabrikasi dalam waktu yang lama. Terdapat juga bentuk yang menyerupai aslinya dengan fabrikasi cukup sederhana akan tetapi terbatas dengan ukuran produk yang besar dan material lunak seperti busa sebagai prototipe dan cetakan bukan aplikasi langsung. Dari berbagai penelitian dan perancangan

produk yang dihasilkan masih sebatas prototipe dan cetakan bahkan hanya sebagai produk analisis bukan untuk aplikasi langsung.

Selama ini produk yang dihasilkan oleh 3D *Print* hanya digunakan sebatas produk prototipe yang tidak digunakan dan diterapkan langsung penggunaannya. Akan tetapi seiring kemajuan teknologi 3D *Print* terkhusus 3D *Print* SLA, belakangan ini produk hasil 3D *Print* SLA mulai ramai digunakan langsung sebagai produk akhir. Beberapa produk hasil 3D *Print* SLA digunakan untuk bagian robot [13-14] seperti tangan penggenggam [15], lalu digunakan juga dalam dunia medis seperti alat swab COVID-19 [16], jarum mikro [17-18], pengantar obat [19-20] serta dalam dunia *ortodontik* untuk pembuatan dan penggunaan langsung *retainer* [21], juga digunakan dalam membuat pompa peristaltik dalam penggunaan laboratorium [22]. Di samping penelitian mengenai penggunaan langsung produk 3D *Print* SLA dan penelitian untuk meningkatkan performanya secara mekanika [23-24], maka dibutuhkan juga penelitian mengenai properti tribologi dari produk hasil 3D SLA ketika akan digunakan langsung sebagai produk akhir atau produk pakai karena besar kemungkinannya produk akan bersinggungan dengan material, benda atau bahan lainnya.

Menghadapi permasalahan yang terdapat pada metode fabrikasi dan produk dihasilkan yang sudah ada dapat menggunakan metode fabrikasi 3D *Print* SLA. Untuk penelitian dan perancangan tekstur permukaan terinspirasi alam belum banyak menggunakan metode 3D *Print* SLA. Dahulu produk dari hasil 3D *Print* SLA hanya digunakan sebatas prototipe, akan tetapi saat ini sudah ada beberapa yang menjadikannya sebagai aplikasi langsung. Sehingga penelitian dan perancangan tekstur permukaan terinspirasi alam yang akan dilakukan menggunakan metode 3D *Print* SLA sebagai aplikasi langsung dan analisisnya terhadap perilaku

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan sebelumnya, terdapat inti permasalahan yang dapat diambil suatu rumusan masalah berupa bagaimana

pengaruh variasi tekstur permukaan terhadap sifat tribologi berupa koefisien gesekan dan keausan pada produk printer 3D SLA.

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka dapat dirumuskan suatu permasalahan inti yang menjadi fokus kajian, yaitu:

1. Bagaimana pengaruh berbagai variasi rekayasa tekstur permukaan yang terinspirasi oleh ular, hiu dan daun salvinia terhadap hasil pengujian gaya gesek?
2. Bagaimana pengaruh berbagai variasi rekayasa tekstur permukaan yang terinspirasi oleh ular, hiu dan daun salvinia terhadap hasil pengujian keausan?
3. Bagaimana aplikasi rekayasa tekstur permukaan yang terinspirasi dari alam ke suatu prototipe produk?

1.3 Batasan Masalah

Dalam proses penelitian atau perancangan, sulit untuk menyelesaikan semua masalah yang telah dirumuskan sebelumnya. Oleh karena itu, pembatasan masalah diperlukan agar pembahasan dalam penelitian tidak meluas dan terfokus pada hal-hal yang relevan. Beberapa batasan masalah dalam penelitian ini meliputi:

1. Penelitian difokuskan pada pengujian beberapa spesimen dengan tekstur permukaan yang berbeda-beda.
2. Desain model spesimen menggunakan perangkat lunak CorelDraw X7 dan SOLIDWORKS 2018.
3. Dimensi spesimen mengikuti kemampuan perangkat lunak memproses desain dan perangkat keras memproduksi spesimen.
4. Fabrikasi dan pengujian menggunakan alat berupa Printer 3D SLA, *wash & cure*, timbangan dan *tribometer* yang tersedia di Laboratorium UII.
5. Bahan yang digunakan untuk fabrikasi adalah resin standar.
6. Tidak membahas parameter printer 3D, *washing*, *curing* dan jenis resin yang digunakan pada proses pembuatan spesimen.
7. Tidak membahas parameter pengujian pada *tribometer* ketika pengujian spesimen.

8. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah pengujian tribologi berupa uji aus dan gaya gesek.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh dari berbagai variasi rekayasa tekstur permukaan yang terinspirasi oleh ular, hiu dan daun salvinia terhadap nilai gaya gesek.
2. Mengetahui pengaruh dari berbagai variasi rekayasa tekstur permukaan yang terinspirasi oleh ular, hiu dan daun salvinia terhadap nilai keausan.
3. Mengaplikasikan rekayasa tekstur permukaan yang terinspirasi dari alam ke suatu prototipe produk.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penelitian ini dapat menjadi salah satu referensi dalam pengembangan produk *3D Print* SLA
2. Penelitian ini dapat memperkenalkan ilmu dan karakteristik tribologi pada produk *3D Print* SLA dengan tekstur permukaan yang terinspirasi dari alam, sehingga diharapkan akan ada pengembangan tekstur permukaan untuk dapat menghasilkan karakteristik yang diinginkan.
3. Penelitian ini sebagai bentuk respons Jurusan Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia terhadap perkembangan penelitian mengenai tribologi serta produk *3D Print* SLA.

1.6 Sistematika Penulisan

Pada bagian ini dituliskan urutan dan sistematika penulisan yang dilakukan. Berikan ringkasan mengenai isi masing-masing bab.

Pada bagian ini berisikan urutan dan sistematika penulisan pada laporan tugas akhir ini. Setiap bab pada laporan tugas akhir ini akan dijabarkan secara

umum sehingga dapat mengetahui gambaran dari masing-masing bab secara berurutan. Penulisan bagian sistematika laporan tugas akhir ini dimaksudkan untuk mempermudah dalam pembahasan dari laporan tugas akhir ini. Sistematika penulisan pada laporan tugas akhir ini dapat dijabarkan sebagai berikut :

Bab I PENDAHULUAN

Bagian ini menjelaskan tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, dan sistematika penulisan.

Bab II TINJAUAN PUSTAKA

Bagian ini berisi kajian pustaka dan menjelaskan dasar teori yang digunakan dalam penelitian dan perancangan yang dilakukan.

Bab III METODOLOGI PENELITIAN

Bagian ini menjelaskan langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian dan metode penelitian yang digunakan.

Bab IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini berisi tentang hasil dan pembahasan berdasarkan penelitian dan perancangan yang telah dilakukan.

Bab V PENUTUP

Bagian ini berisi tentang kesimpulan dari pembahasan yang dilakukan serta saran-saran untuk penelitian selanjutnya.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Penelitian mengenai tekstur permukaan yang terinspirasi dari alam telah dibahas dalam beberapa penelitian sebelumnya, sehingga penelitian terdahulu yang tersedia secara daring menjadi acuan penulis dalam melakukan penelitian pada kajian pustaka ini. Beberapa penelitian terdahulu meneliti tekstur permukaan yang terinspirasi dari alam yang berbeda-beda, baik terinspirasi dari flora maupun terinspirasi dari fauna. Beberapa penelitian tersebut juga memiliki hasil pengujian sifat tribologi yang berbeda pula seperti pengujian *drag reduction*, adhesi kering, *superhydrophobic*, serta pelumasan. Beberapa penelitian tersebut telah dirangkum dalam jurnal milik Malshe, dkk [10] dan Liu, dkk [9] yang memudahkan dalam memahami berbagai fenomena tribologi pada alam dan proses fabrikasi serta pengujian dalam membuat tekstur permukaan yang terinspirasi alam tersebut.

Pada tahun 2017 dilakukan penelitian Fu, dkk [25] mengenai permukaan *riblet* yang terinspirasi dari kulit hiu. Permukaan dengan *riblet* yang terinspirasi dari kulit hiu sudah diketahui memiliki efek reduksi hambatan selama lebih dari 40 tahun. Pada penelitian tersebut mendiskusikan teknologi kelautan dalam mengurangi hambatan yang berbeda-beda, dan tinjauan studi kinerja *riblet* juga diberikan. Parameter eksperimental meliputi geometri *riblet*, konfigurasi kontinu dan segmen, kecepatan fluida (aliran laminar dan turbulen), kekentalan fluida (air, minyak, dan gas), dan kelembaban dianalisis. Namun, gaya diperoleh dengan integral berbobot luas distribusi tekanan geser. Oleh karena itu, luas permukaan *riblet* merupakan faktor penting yang belum dipertimbangkan dalam banyak penelitian sebelumnya. Sebuah eksperimen diberikan untuk membahas dampak dari luas permukaan tersebut. Makalah tersebut bertujuan tidak hanya untuk memberikan kontribusi dalam pemahaman yang lebih baik tentang reduksi hambatan di laut, tetapi juga menawarkan perspektif baru untuk meningkatkan kriteria evaluasi reduksi hambatan pada *riblet* yang ada.

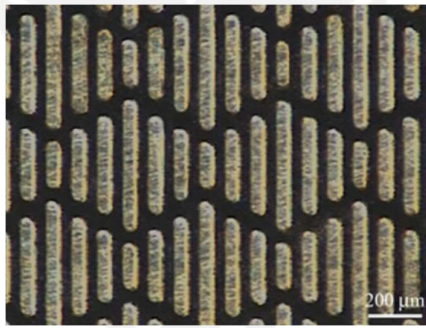
Penelitian pertama yang dijadikan sebagai acuan adalah penelitian yang dilakukan oleh Bajanski, dkk [1]. Penelitian ini bertujuan mengaplikasikan geometri dari *dentikel* kulit hiu digunakan untuk desain dan fabrikasi pagar pemecah angin. Pagar pemecah angin pada area terbuka perkotaan digunakan mengurangi kecepatan angin secara efektif yang pada jurnal tersebut menguji bagaimana bentuk geometrik dari pagar pemecah angin secara optimal memitigasi kecepatan angin. Geometri *dentikel* kulit hiu yang sudah diperbesar digunakan sebagai dasar desain bentuk pagar dan dibandingkan dengan bentuk datar dan bentuk bergelombang sederhana berupa piramida tiga serta enam sisi pada pagar. Hasil dari analisis *Computational Fluid Design* (CFD) menunjukkan pagar dengan permukaan terinspirasi *dentikel* kulit hiu memiliki kinerja lebih baik dalam mengurangi kecepatan di sekeliling dan belakang pagar daripada permukaan datar dan bergelombang tersebut. Dalam penelitian tersebut fabrikasi pagar pemecah angin dibuat dari bahan busa berupa *Expanded Polystyrene Foam* (EPS) menggunakan lengan robotika dengan kabel yang dipanaskan dikarenakan bentuk geometrik yang kompleks dari permukaan terinspirasi *dentikel* kulit hiu. Bahan EPS digunakan sebagai cetakan panel pagar *dentikel* kulit hiu sehingga berbagai material dapat dibuat pada desain akhir serta memiliki efisiensi yang lebih tinggi dan desain atraktif yang lebih banyak. Gambar 2–1 menunjukkan *dentikel* kulit hiu buatan berbahan busa EPS.



Gambar 2–1 Dentikel kulit hiu buatan berbahan busa EPS [1].

Penelitian selanjutnya yang menjadi acuan adalah penelitian yang dilakukan oleh Guo, dkk pada tahun 2017 [6] yang membahas kulit hiu memiliki struktur *riblet* yang berfungsi untuk mengurangi hambatan, namun sulit untuk membuat permukaan kulit hiu buatan dengan akurasi tinggi dan biaya rendah. Penelitian ini mengukur struktur mikro-*riblet* kulit hiu asli dan

menyederhanakannya untuk membuat mikro-*riblet* yang terinspirasi dari kulit hiu. Simulasi numerik dilakukan untuk mengeksplorasi efek reduksi hambatan dari permukaan mikro-*riblet*. Kemudian, dibuat cetakan nikel dengan struktur mikro negatif menggunakan teknik *lithografi* ultraviolet, *galvanoformung*, dan *abformung*. Proses *roller embossing* digunakan untuk mereplika mikro-*riblet* yang terinspirasi dari kulit hiu ke film *Polyvinyl Chloride* (PVC) dan *Polyethylene Terephthalate* (PET). Dalam percobaan *embossing*, pengaruh parameter-proses seperti suhu cetakan, tekanan *rolling*, dan kecepatan *rolling* terhadap kedalaman *riblet* pada film polimer dievaluasi. Hasil menunjukkan bahwa proses *roller embossing* adalah metode yang efektif untuk mereplika mikro-*riblet* yang terinspirasi dari kulit hiu secara berkelanjutan pada substrat polimer. Selain itu, parameter-proses yang optimal telah ditentukan, termasuk suhu cetakan 70°C (untuk PVC) dan 60°C (untuk PET), rasio kompresi 1,22 (untuk PVC) dan 1,53 (untuk PET), serta kecepatan *rolling* 1 r/min. Gambar 2–2 menunjukkan cetakan mikro-*riblet* hiu berbahan nikel



Gambar 2–2 Cetakan mikro-*riblet* hiu berbahan nikel [6].

Terdapat penelitian yang membahas tentang masalah gesekan, keausan, dan disipasi energi pada sistem yang mengandung bagian-bagian yang bergerak, serta pendekatan bio-inspirasi untuk mengatasi masalah ini yang diteliti oleh Greiner & Schäfer pada tahun 2015 [5]. Penelitian terbaru dalam bidang ini mencoba untuk menciptakan tekstur permukaan morfologis yang terinspirasi dari alam untuk mengurangi gesekan, keausan, dan disipasi energi. Salah satu penelitian yang dibahas adalah pengembangan tekstur permukaan dengan laser yang terinspirasi dari sisik pada kulit ular dan beberapa jenis kadal tertentu. Penelitian ini menunjukkan bahwa morfologi permukaan yang terinspirasi dari alam dapat mengurangi gaya gesekan geser kering lebih dari 40% dan memiliki

potensi untuk memiliki dampak yang signifikan pada semua kontak gesek kering. Oleh karena itu, penelitian ini merupakan kontribusi yang penting untuk memahami lebih baik mengenai pengurangan gesekan pada sistem yang mengandung bagian-bagian yang bergerak dan menawarkan perspektif baru untuk meningkatkan kriteria evaluasi pengurangan gesekan.

Tiner, dkk pada tahun 2019 [12] mengkaji konvergensi antara proses pencetakan 3D dengan tekstur kulit ular yang terinspirasi untuk traksi mekanis. Penelitian ini mempelajari atribut desain sisik kulit ular, terutama pada sisi ventrikel, yang terdiri dari pola sisik heksagonal dengan *denticulations* dan fibril sebagai struktur hierarkis desain. Teknik pencetakan 3D dengan menggunakan teknik manufaktur *Laser-Powder Bed Fusion* (L-PBF) pada *Stainless Steel 420* menghasilkan kekasaran permukaan yang meniru tekstur mikro hierarkis sisik kulit ular dengan sangat dekat. Studi tribologi pada permukaan yang dicetak 3D menunjukkan sifat traksi *directional*. Makalah ini menyajikan perbandingan tekstur yang dicetak 3D dengan permukaan kulit ular yang terkelupas dan memberikan gambaran mengenai potensi penerapan dari teknologi ini [12]. Gambar 2–3 menunjukkan hasil 3D *print* sisik perut ular berbahan 420 *stainless steel*



Gambar 2–3 Hasil 3D *print* sisik perut ular berbahan 420 *stainless steel* [5].

Kemudian terdapat penelitian mengenai tribologi pada tumbuhan yang membahas tentang pembuatan permukaan fungsional *biomimetic* yang terinspirasi dari daun *Salvinia molesta* dengan menggunakan teknik 3D laser *lithography* yang dilakukan oleh Tricinci, dkk [11]. Permukaan buatan tersebut meniru rambut bujur sangkar pada daun *Salvinia molesta* dengan skala yang diperkecil sekitar 100 kali lipat. Permukaan tersebut memiliki sifat hidrofobik dan dapat mempertahankan udara ketika terendam oleh air, bahkan jika dibuat

dengan bahan yang hidrofilik. Selain itu, berhasil ditunjukkan bahwa permukaan tersebut mampu mempromosikan kondensasi lokal tetesan air dari kelembaban di atmosfer. Kajian pustaka terkait menunjukkan bahwa imitasi struktur daun *Salvinia molesta* dapat menghasilkan sifat hidrofobik dan superhidrofobik, dengan karakteristik yang diinginkan untuk aplikasi anti-bakteri, anti-korosi, dan anti-embun.

2.2 Dasar Teori

Dalam sub bab ini akan membahas beberapa dasar teori yang akan menjadi landasan untuk mendukung penelitian, di antaranya sebagai berikut.

2.2.1 Tribologi

Tribologi adalah bidang ilmu baru yang ditetapkan pada tahun 1967 oleh komite Organisasi untuk Kerja sama Ekonomi dan Pembangunan, yang berfokus pada gesekan, keausan, dan pelumasan permukaan yang berinteraksi dalam gerakan relatif. Tribologi berasal dari kata Yunani 'tribos' yang berarti menggosok atau mendorong [26]. Pada kegiatan manusia sehari-hari juga tak lepas dari ilmu tribologi berupa gesekan seperti menyikat gigi, memotong kumis, berjalan kaki, pergesekan antar sendi, gesekan antara pensil dan karet penghapus dengan kertas dan masih banyak lagi [27]. Sehingga tribologi juga merupakan teknik menerapkan analisis operasional pada masalah yang sangat penting secara ekonomi mulai dari peralatan rumah tangga hingga pesawat antariksa berupa keandalan, pemeliharaan, dan keausan peralatan teknis. Interaksi permukaan dalam antarmuka tribologi sangat kompleks, dan pemahamannya membutuhkan pengetahuan dari berbagai disiplin ilmu, termasuk fisika, kimia, matematika terapan, mekanika padat, mekanika fluida, termodinamika, perpindahan panas, ilmu material, reologi, pelumasan, desain mesin, performa, dan keandalan [28]. Terdapat beberapa jangkauan ilmu tribologi yang dibahas dalam penelitian ini yakni berupa tekstur permukaan, gaya gesek dan *wear* atau aus.

2.2.1.1 Tekstur Permukaan

Tekstur permukaan memainkan peran penting selama bergeser (*sliding*) serta mengontrol koefisien gesekan permukaan yang lebih keras dari dua permukaan yang bertemu [29]. Tekstur permukaan merupakan deviasi lokal suatu permukaan dari bidang datar sempurna. Ukuran tekstur permukaan umumnya ditentukan dalam bentuk kekasaran, gelombang dan bentuknya [28]. Pengaruh tekstur permukaan pada gesekan belum diketahui dengan baik. Penelitian awal dalam arah ini sebagian besar berurusan dengan aspek-aspek seperti bidang kontak nyata dan pelumasan [29].

2.2.1.2 Gaya Gesek

Sebelum memahami definisi dari gaya gesek diperlukan pemahaman akan definisi gesekan terlebih dahulu. Gesekan adalah resistensi terhadap gerakan relatif dari dua benda yang bersentuhan. Lebih khusus lagi, gesekan disebabkan oleh gaya yang bekerja pada antarmuka antara permukaan benda yang bersentuhan. Besarnya gaya-gaya ini terkait dengan sifat permukaan dari dua permukaan yang bersentuhan dan kepatuhan relatif bahan yang bersentuhan [29]. Sifat gesekan dari sepasang material biasanya ditunjukkan dengan koefisien gesek, μ , yang dirumuskan sebagai berikut:

$$\mu = \frac{F}{N} \quad (2-1)$$

μ menunjukkan koefisien gesek, F adalah gaya gesek dalam N , dan N adalah gaya normal dalam N .

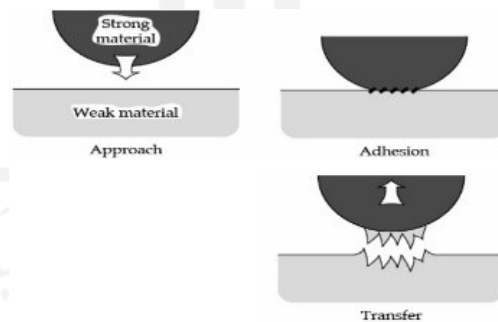
Sehingga dapat disimpulkan gaya gesek merupakan gaya yang terjadi di antara dua benda yang saling bersentuhan atau secara spesifik gaya gesek adalah gaya yang disebabkan karena adanya gaya yang berarah melawan gerak benda akibat sentuhan antara dua benda [30]. Faktor penting yang memengaruhi gesekan adalah tekstur permukaan, beban normal, kecepatan geser, kondisi lingkungan seperti suhu dan pelumas, dan sifat material [31].

2.2.1.3 Aus

Dalam suatu situasi di mana dua permukaan bergesekan, terjadilah suatu fenomena tribologi yang tidak dapat dihindari, yaitu aus. Menurut definisi KBBI, aus terjadi ketika suatu material mengalami susut karena terus-menerus tergesek. Oleh karena itu, aus dapat diartikan sebagai suatu keadaan ketika material terkikis karena adanya gesekan, yang dapat menyebabkan berkurangnya massa, sifat material, serta perubahan pada permukaan benda yang bergesekan tersebut. Namun, aus pada permukaan bisa dikurangi atau bahkan dihilangkan dengan beberapa cara, seperti melakukan *surface coating*, memberikan pelumasan, dan sebagainya. Dalam ilmu tribologi, ada beberapa jenis keausan yang berbeda, termasuk keausan adhesif, keausan abrasif, keausan kelelahan permukaan, dan keausan tribo-kimia [32].

1. Keausan Adhesif

Keausan adhesif adalah jenis keausan yang terjadi ketika ada ikatan atau gaya tarik-menarik antara dua permukaan benda dan partikel dari material yang lebih lemah berpindah ke material yang lebih keras. Jenis keausan ini juga dikenal dengan istilah *galling*, *scuffing*, *seizure*, atau *seizing* [33]. Berikut merupakan ilustrasi dari keausan adhesif yang dapat dilihat pada Gambar 2–4.

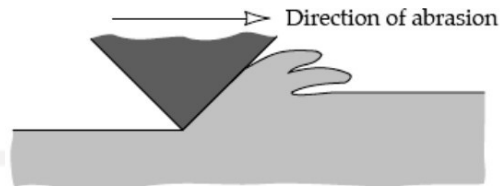


Gambar 2–4 Keausan adhesif [34].

2. Keausan abrasif

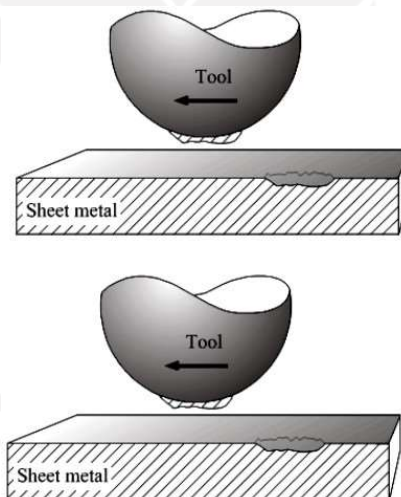
Umumnya, keausan abrasif terjadi ketika material benda yang lebih lunak terkikis oleh material benda lain yang lebih keras. Ada dua kategori keausan abrasif, yaitu *two-body abrasion* dan *three-body abrasion*. Pada *two-body abrasion*, keausan terjadi karena gesekan atau

penggarukan antara dua permukaan sehingga material yang lebih lunak terkikis oleh material yang lebih keras. Berikut merupakan ilustrasi dari *two-body abrasion* yang dapat dilihat pada Gambar 2-5.



Gambar 2-5 *Two body abrasion* [34].

Pada *three-body abrasion*, keausan terjadi karena proses *galling* yang menghasilkan partikel-partikel debris yang keras dan ikut terlibat dalam gesekan antara dua permukaan, menyebabkan hilangnya material secara terus-menerus. Debris tersebut dapat memperburuk keausan dengan menambahkan gesekan dan abrasi pada permukaan benda yang bergesekan. Berikut merupakan ilustrasi dari *three-body abrasion* yang dapat dilihat pada Gambar 2-6.

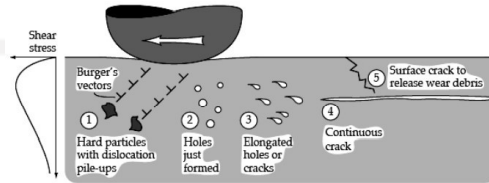


Gambar 2-6 *Three body abrasion* [32].

3. Keausan kelelahan permukaan

Keausan secara kimiawi disebabkan oleh kombinasi proses mekanis dan proses termal yang terjadi pada permukaan suatu benda dengan lingkungan sekitarnya. Adapun akibat dari keausan kimiawi adalah meningkatnya suhu dan perubahan sifat mekanis pada *asperity*. Korosi merupakan salah satu contoh keausan secara kimiawi yang

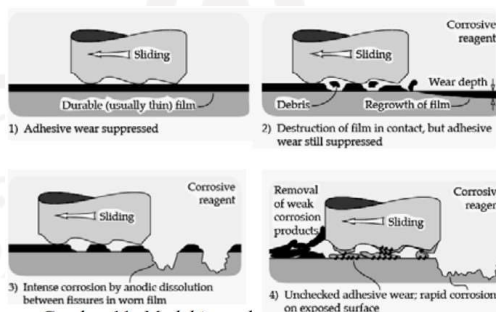
disebabkan oleh material logam yang diawali oleh terjadinya keausan adhesif, dengan keausan adhesif tersebut akan merusak lapisan film kemudian dikarenakan adanya material yang reaktif terhadap lingkungan sekitar maka korosi akan terjadi. Berikut merupakan ilustrasi dari Keausan kelelahan permukaan yang dapat dilihat pada Gambar 2–7.



Gambar 2–7 Keausan kelelahan permukaan [34].

4. Keausan Tribo-Kimia

Keausan kimiawi terjadi karena proses mekanis dan termal yang terjadi pada permukaan benda yang berinteraksi dengan lingkungan sekitarnya. Dampak dari keausan kimiawi adalah peningkatan suhu dan perubahan sifat mekanis pada permukaan benda tersebut. Salah satu contoh dari keausan kimiawi adalah korosi pada material logam. Proses korosi dimulai dari keausan adhesif yang merusak lapisan film pelindung pada permukaan logam. Kemudian, jika material tersebut reaktif terhadap lingkungan sekitarnya, maka akan terjadi korosi pada permukaan logam tersebut. Berikut merupakan ilustrasi dari Keausan Tribo-Kimia yang dapat dilihat pada Gambar 2–8.



Gambar 2–8 Keausan tribo-kimia [34].

2.2.1.4 Bio-Tribologi

Biotribologi menangani semua aspek dari tribologi yang berkaitan dengan sistem biologis. Ini adalah salah satu area tribologi yang paling menarik dan

berkembang pesat. Hal ini diakui sebagai salah satu pertimbangan terpenting dalam banyak sistem biologis dalam memahami bagaimana sistem alami kita bekerja serta bagaimana penyakit berkembang dan bagaimana intervensi medis harus diterapkan. Studi tribologi yang terkait dengan sistem biologis dikaji dalam makalah ini. Sejarah singkat, klasifikasi, serta fokus saat ini pada penelitian biotribologi dianalisis berdasarkan artikel-artikel khas dari jurnal-jurnal terpilih dan presentasi dari sejumlah konferensi penting di area ini. Kemajuan dalam tribologi sendi, tribologi kulit, dan tribologi oral serta sistem biologis representatif lainnya disajikan. Beberapa catatan diambil dan prospek dibahas [35].

Makhluk hidup memiliki kemampuan gerak yang luar biasa di lingkungan yang beragam dengan desain tribologi yang sangat baik, yang terbagi menjadi empat aspek yaitu gesekan, adhesi, keausan, dan pelumasan, dan ditinjau dalam makalah ini. Desain gesekan anisotropik, seperti pada cakar hewan dan serangga, sisik ular, lidah hewan *felid*, dan ujung *fascicle* nyamuk betina, sangat membantu dalam mencapai gerakan cepat atau memperoleh makanan melalui kunci mekanik. Kadal dan serangga *ortooptera* dapat melekat pada dinding vertikal atau terbalik dengan menggunakan gaya *van der Waals* berdasarkan adhesi, berbeda dengan adhesi kapiler katak pohon, dan sedotan air dari gurita. Namun, permukaan superhidrofobik seperti daun teratai memiliki afinitas yang sangat rendah terhadap bahan lain untuk mencegah polusi. Struktur komposit secara hierarkis pada trenggiling, jangkrik tikus, cangkang, ikan pasir, kayu, dan bambu dapat memberikan ketahanan aus yang luar biasa. Di lingkungan air, ikan, belut, dan sidat berenang cepat dengan lendir licin mereka, tetapi hiu memiliki sisik berbentuk khusus untuk mengubah medan aliran lokal. Berdasarkan desain tribologi yang luar biasa ini di alam, berbagai permukaan dan material bionik telah ditemukan untuk mewujudkan atau melebihi fungsionalitas spesifik pada makhluk hidup. Namun, studi fundamental yang lebih komprehensif dan teknik fabrikasi yang canggih masih sangat dibutuhkan [9].

Tekstur secara melimpah dieksploitasi di alam untuk mengamankan fungsionalitas unggul, termasuk adhesi, manipulasi warna, anti-refleksi, dan pengelolaan gesekan. Selama jutaan tahun, sifat-sifat canggih ini diberikan

kepada berbagai organisme di planet ini untuk bertahan hidup dan beradaptasi di kondisi lingkungan yang keras. Karakteristik tekstur seperti ukuran, bentuk, periodisitas, rasio aspek, orientasi, dan hierarki sangat kritis dalam "kotak peralatan" alam. Pembuatan produk *cutting-edge* memerlukan multifungsionalitas untuk efisiensi, daya tahan, dan keberlanjutan untuk meningkatkan kualitas hidup populasi yang berkembang [10].

2.2.2 Computer Aided Design (CAD)

Computer Aided Design (CAD) adalah perangkat lunak yang digunakan dalam proses desain produk selama fase teknik. Perangkat lunak ini menyediakan berbagai fitur yang memudahkan proses desain bagi pengguna, seperti pilihan material, proses, dimensi, dan toleransi. Desain yang dibuat melalui CAD dapat berupa 2 dimensi atau 3 dimensi dan dapat dilihat melalui berbagai proyeksi. Dengan sistem CAD, insinyur tidak perlu lagi menggambar secara manual untuk merancang produk, melainkan cukup menggunakan komputer. Pemanfaatan CAD dalam proses desain dapat meningkatkan kualitas desain, produktivitas insinyur, serta memperbaiki komunikasi antara desainer dan pembaca desain [36].

Penerapan CAD sangat luas pada perangkat berbasis komputer yang membantu insinyur teknik, arsitek, dan profesional desain yang terlibat dalam kegiatan perancangan. CAD adalah perangkat geometri utama dalam siklus manajemen produksi yang mencakup perangkat lunak dan perangkat keras. Terdapat berbagai paket CAD yang tersedia, mulai dari vektor 2 dimensi berbasis gambar hingga pemodelan solid para metrik 3 dimensi. CAD digunakan untuk mendesain dan mengembangkan produk yang dapat digunakan secara efektif oleh pengguna akhir atau pengguna yang lebih berpengalaman [37].

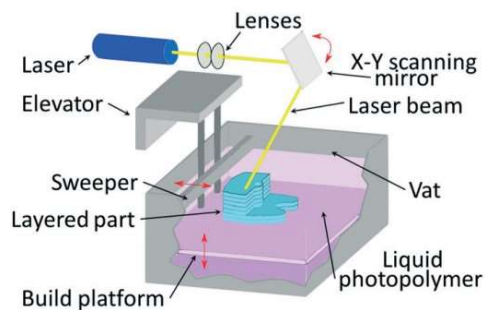
Penggunaan aplikasi CAD dalam teknik mesin sudah umum dan diperlukan untuk menciptakan produk berkualitas tinggi dengan biaya produksi yang lebih rendah melalui penggunaan prototype. Hampir 80.000 perusahaan di seluruh dunia saat ini menggunakan SolidWorks, sebuah perangkat lunak CAD yang dibuat oleh DASSAULT SYSTEMES, untuk merancang bagian mesin atau susunan bagian mesin dalam bentuk perakitan dengan tampilan 3D guna merepresentasikan bagian sebelum bagian aslinya dibuat atau tampilan 2D [38].

2.2.3 3D Print SLA

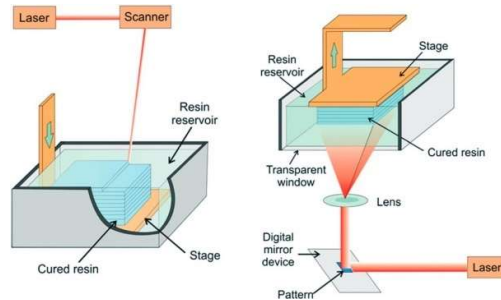
3D *Printing* juga disebut sebagai *rapid prototyping* atau *additive manufacturing* adalah metode pembuatan objek lapis demi lapis menggunakan perencanaan perangkat lunak tiga dimensi dan teknik pengendapan material. Sebaliknya, banyak teknik pembuatan tradisional seperti penggilingan atau penggilingan bersifat subtraktif; yaitu, mereka mengandalkan pemindahan material untuk membentuk objek jadi. Prosesnya melibatkan serangkaian operasi mulai dari konseptualisasi CAD hingga pengaturan parameter yang tepat dan akhirnya menghasilkan model tiga dimensi akhir dari desain virtual. Pencetakan 3D telah memengaruhi hampir semua industri termasuk makanan, mobil, pertahanan, seni, kedirgantaraan, konstruksi, kedokteran, kedokteran gigi, prostetik, dan seterusnya [39].

Stereolithography (SLA) dianggap sebagai teknik SFF pertama yang dikembangkan oleh 3D Systems, Inc. pada tahun 1988. Proses SLA didasarkan pada foto-polimerisasi monomer cair menggunakan radiasi ultra violet (UV). Laser UV dipindai di atas lapisan monomer cair untuk memadatkan monomer di area tertentu seperti yang ditentukan oleh geometri bagian (atau jalur alat yang dihasilkan komputer). Setelah menyelesaikan satu lapisan, lapisan resin lainnya dilapisi di atas lapisan yang diawetkan, dan prosesnya diulang sampai bagian tersebut selesai. Meskipun banyak teknik lain telah dikembangkan sejak saat itu, SLA adalah salah satu teknik AM yang paling kuat dan serbaguna dari semua teknik polimer. Ini memiliki akurasi fabrikasi tertinggi, dan semakin banyak bahan yang dapat diproses tersedia [40]

Stereolithography



Gambar 2-9 Prinsip kerja 3D *print* SLA [41].



Gambar 2–10 Dua tipe implementasi dari SLA untuk *rapid prototyping* [41].

Teknologi SLA menggunakan resin foto-curable dan sinar UV untuk mencetak objek 3D secara bertahap yang dapat dilihat pada Gambar 2–9 dan Gambar 2–10. Proses dimulai dengan wadah atau nampan yang diisi dengan resin yang dapat terpolimerisasi melalui sinar. Kemudian, platform atau pelat pembangunan diturunkan ke dalam wadah resin, dan sinar UV digunakan untuk menandai bentuk bagian pertama pada pelat pembangunan, sehingga membuat resin mengeras. Setelah pelat pembangunan naik, sebuah alat penggosok atau gerakan miring digunakan untuk menyebarkan resin segar dalam wadah, dan proses diulang. Lapisan berikutnya menempel pada lapisan sebelumnya, menghasilkan pembangunan objek secara bertahap. 3D Systems adalah salah satu produsen utama mesin berbasis SLA, sementara perusahaan seperti Anycubic dan Formlabs juga menyediakan printer 3D SLA desktop yang berkualitas dan terjangkau bagi pengguna yang bisa dilihat pada Gambar 2–11. Mereka menawarkan berbagai jenis bahan, termasuk resin berwarna standar, resin teknik (fleksibel, tahan, tahan suhu tinggi, tahan lama), resin kedokteran gigi (untuk membuat produk gigi seperti *retainer* dan *aligner*), dan resin dapat dicetak (untuk membuat perhiasan kustom) [39].

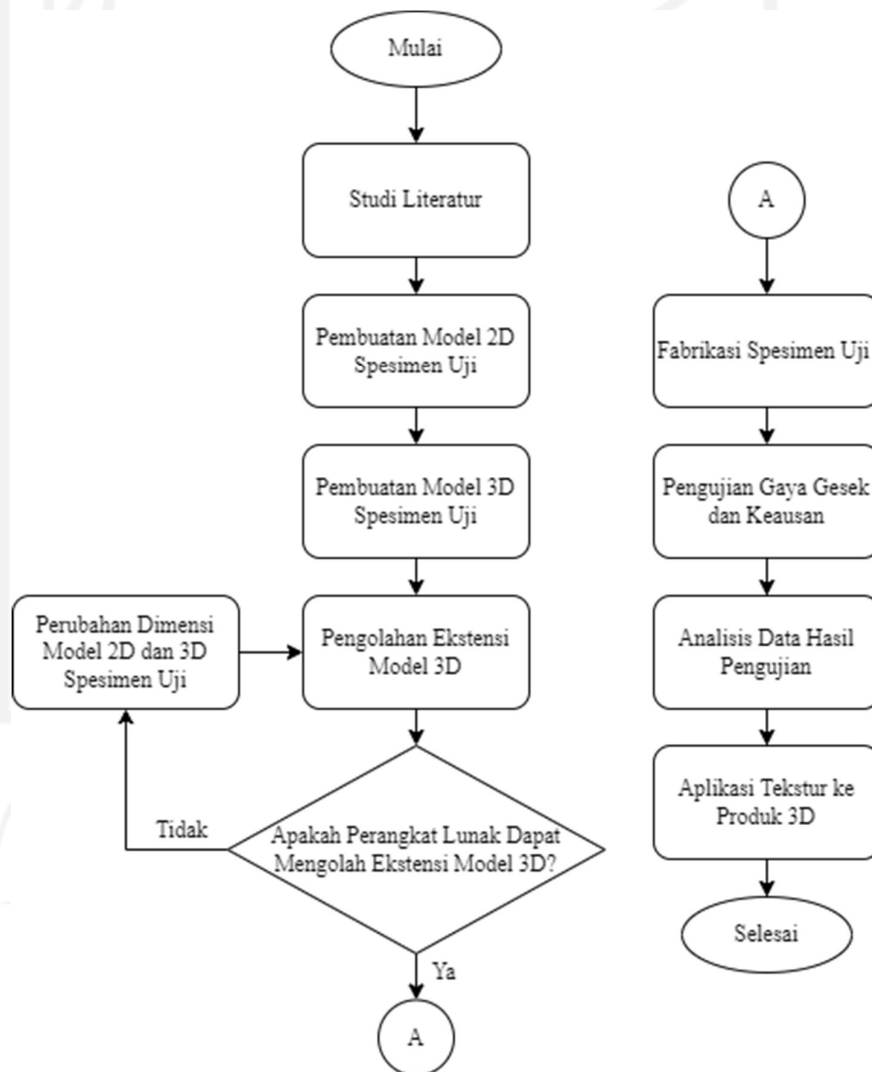


Gambar 2–11 3D *print* SLA Formlabs form 2 [41].

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

Berikut merupakan alur penelitian dalam judul Analisis Gesekan dan Keausan Terhadap Produk Printer 3D SLA Dengan Tekstur Permukaan yang Terinspirasi oleh Ular, Hiu Dan Daun Salvinia. Alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 3-1.



Gambar 3-1 Alur penelitian.

3.2 Peralatan dan Bahan

Pada penelitian ini terdapat beberapa alat dan bahan yang dibutuhkan dalam proses fabrikasi spesimen uji *tribometer*, yaitu:

1. Laptop

Laptop merupakan perangkat utama dalam pembuatan model spesimen, pengaturan *print* dan pengolahan data yang dapat dilihat pada Gambar 3–

- 2.



Gambar 3–2 Laptop.

2. *Smartphone*

Smartphone merupakan perangkat keras untuk mendokumentasikan penelitian yang dapat dilihat pada Gambar 3–3.



Gambar 3–3 *Smartphone*.

3. Printer 3D SLA Anycubic Photon Mono X

Printer 3D SLA merupakan perangkat yang digunakan untuk mencetak spesimen yang dapat dilihat pada Gambar 3-4.



Gambar 3-4 Printer 3D SLA Anycubic Photon Mono X.

4. Formlabs Form Wash *Washing Machine*

Formlabs Form Wash merupakan perangkat yang digunakan untuk membersihkan hasil pencetakan dari residu resin yang dapat dilihat pada Gambar 3-5.



Gambar 3-5 Formlabs Form Wash *Washing Machine*.

5. Formlabs Form Cure *Post Curing Machine*

Formlabs Form Cure merupakan perangkat yang digunakan untuk mengeringkan serta menguatkan hasil cetakan dengan sinar UV yang dapat dilihat pada Gambar 3-6.



Gambar 3–6 Formlabs Form Cure *Post Curing Machine*.

6. Timbangan Digital Fujitsu *High Precision Balance*

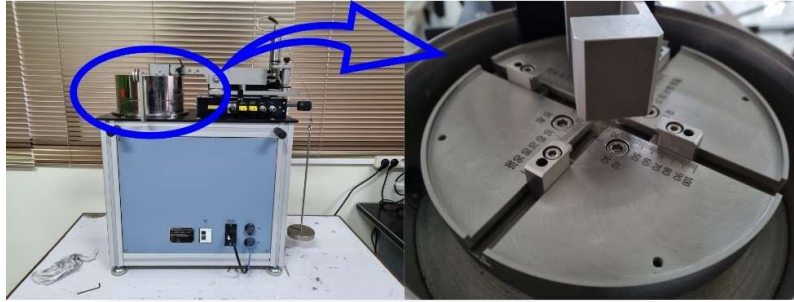
Timbangan digital merupakan perangkat yang digunakan untuk mengetahui massa spesimen sebelum dan sesudah pengujian yang dapat dilihat pada Gambar 3–7.



Gambar 3–7 Timbangan Digital Fujitsu *High Precision Balance*.

7. *Tribometer Pin on Disc Neo TR-20 Series*

Tribometer Pin on Disc merupakan perangkat yang digunakan untuk melakukan pengujian gesek dan aus yang dapat dilihat pada Gambar 3–8.



Gambar 3–8 Tribometer Pin on Disc Neo TR-20 Series.

8. CorelDraw X7

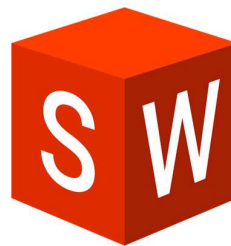
CorelDraw merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk membuat sketsa model 2D dari spesimen yang dapat dilihat pada Gambar 3–9.



Gambar 3–9 CorelDraw X7 [43].

9. SOLIDWORKS 2018

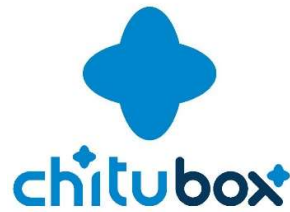
SOLIDWORKS merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk membuat sketsa model 2D dan 3D dari spesimen yang dapat dilihat pada Gambar 3–10.



Gambar 3–10 SOLIDWORKS 2018 [44].

10. CHITUBOX Basic

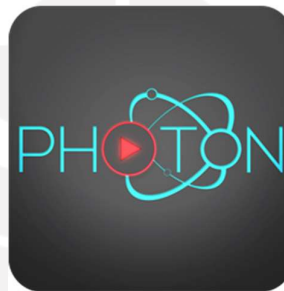
CHITUBOX merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk mengatur support printer 3D yang dapat dilihat pada Gambar 3–11.



Gambar 3–11 CHITUBOX Basic [45].

11. Photon Workshop V24

Photon Workshop merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk mengatur parameter pencetakan printer 3D yang dapat dilihat pada Gambar 3–12.



Gambar 3–12 Photon Workshop V24 [46].

12. eSun Standard Resin

eSun Standard Resin merupakan jenis bahan resin yang digunakan untuk membuat spesimen pada printer 3D SLA yang dapat dilihat pada Gambar 3–13.



Gambar 3–13 eSun Standard Resin.

13. *Isopropyl Alcohol*

Isopropyl Alcohol merupakan cairan yang digunakan untuk membersihkan hasil pencetakan dari residu resin yang dapat dilihat pada Gambar 3–14.



Gambar 3–14 *Isopropyl Alcohol*.

3.3 Pemodelan Desain Spesimen

Pada penelitian ini terdapat lima tekstur permukaan yang akan digunakan yaitu tekstur permukaan punggung ular asli, geometri sederhana punggung ular, perut ular, *dentikel* hiu, serta daun. Spesies ular yang menjadi acuan penelitian ini mengacu dari penelitian sebelumnya yaitu spesies ular *Python regius*. Kemudian untuk tekstur *dentikel* hiu mengacu dari ukuran mikro riblet *dentikel* hiu pada penelitian sebelumnya. Terakhir tekstur permukaan daun terinspirasi dari daun *salvinia* (*Salvinia molesta*) dengan ukuran mengacu pada penelitian sebelumnya. Pada penelitian ini dilakukan penyesuaian ukuran dari ukuran acuan penelitian sebelumnya agar dapat menyesuaikan kemampuan perangkat lunak membuat desain dan mesin dalam memproduksi spesimen uji serta menjaga kerapatan tekstur permukaan menyesuaikan ukuran spesimen uji.

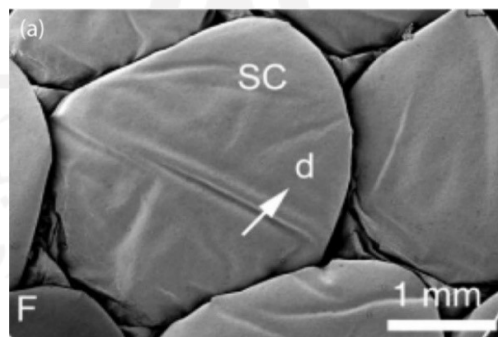
3.3.1 Pemodelan 2D Spesimen

Tahapan awal dalam membuat desain spesimen uji adalah membuat sketsa model 2D dari acuan ukuran yang didapat dari penelitian sebelumnya dan

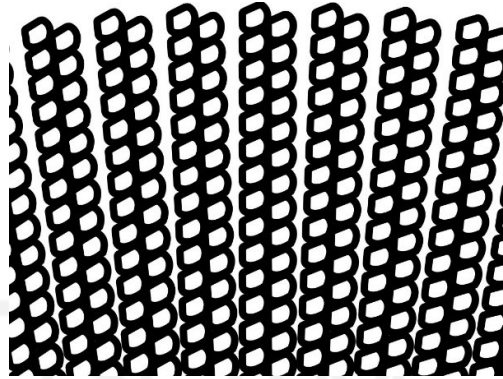
melakukan penyesuaian ukuran. Setelah membuat sketsa model 2D tekstur permukaan dari masing-masing tekstur permukaan, tahapan selanjutnya adalah membuat desain model 3D spesimen uji dengan tekstur permukaan dari sketsa 2D yang sudah dibuat. Sketsa model 2D dibuat menggunakan perangkat lunak CorelDraw X7 dan SOLIDWORKS 2018 sedangkan desain model 3D dibuat menggunakan perangkat lunak SOLIDWORKS 2018. Sebagaimana yang telah dijelaskan sebelumnya, berikut adalah kelima tekstur permukaan yang diteliti:

1. Spesimen Punggung Ular Asli (PU1)

Mengacu dari data penelitian sebelumnya yang dilakukan Greiner & Schäfer [5], dimensi satu sisik bagian punggung ular spesies *Python regius* memiliki ukuran sekitar $\pm 3\text{mm}$ yang dapat dilihat pada Gambar 3–15. Karena bentuk asli sisik punggung ular tidak simetris, apabila menggunakan ukuran yang sama dengan aslinya akan menyebabkan tekstur permukaan tidak rapat ketika dibuat menjadi spesimen uji. Sehingga pada spesimen PU1 dilakukan penyesuaian ukuran agar dapat menjaga kerapatan antar tekstur permukaan sisik pada spesimen uji agar tidak ada ruang kosong pada spesimen uji yang dapat memengaruhi hasil pengujian. Penyesuaian ukuran spesimen PU1 dilakukan dengan memperkecil dimensi bentuk asli sisik punggung ular menjadi empat kali lebih kecil dari dimensi aslinya menjadi sekitar $\pm 0,75\text{mm}$ yang dapat dilihat pada Gambar 3–16.



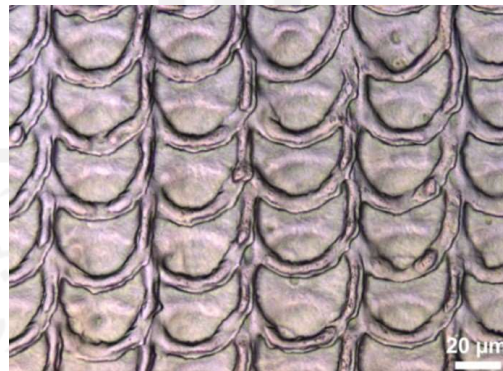
Gambar 3–15 Bentuk asli sisik punggung ular [5].



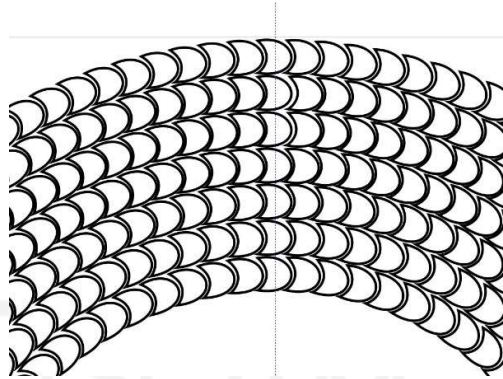
Gambar 3–16 Model 2D spesimen PU1.

2. Spesimen Punggung Ular Buatan (PU2)

Acuan bentuk spesimen PU2 mengacu pada penelitian Greiner & Schäfer [5] yang membuat tekstur dengan geometri sederhana dari tekstur punggung ular *Python regius* yang dapat dilihat pada Gambar 3–17. Greiner membuat tekstur tersebut dengan ukuran 0,02 mm atau 150 kali lebih kecil dari dimensi sisik punggung ular asli. Sedangkan pada penelitian ini, tekstur PU2 mengacu dimensi yang sama besar dengan dimensi sisik punggung ular asli karena memiliki geometri yang simetris sehingga memiliki kerapatan tekstur permukaan yang sangat baik walaupun diterapkan pada spesimen uji. Model 2D spesimen PU2 dapat dilihat pada Gambar 3–18.



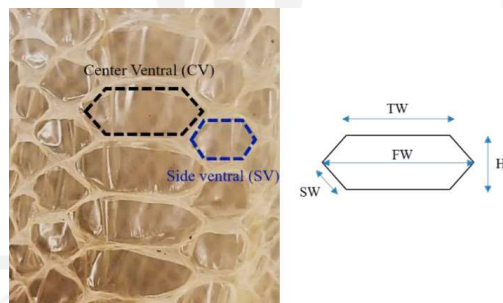
Gambar 3–17 Bentuk buatan sisik punggung ular [5].



Gambar 3–18 Model 2D spesimen PU2.

3. Spesimen Perut Ular (PeU)

Bentuk spesimen PeU mengacu pada data penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Tiner, dkk. [12] dengan spesies ular yang sama dengan acuan spesies ular pada spesimen punggung ular yaitu spesies ular *Python regius*. Bentuk sisik perut ular dibagi menjadi dua yaitu *Center Ventral* (CV) dan *Side Ventral* (SV) yang memiliki bentuk yang sama yakni menyerupai bentuk segi enam tetapi keduanya memiliki dimensi yang berbeda. Bentuk dan ukuran sisik perut ular asli dapat dilihat pada Gambar 3–19 dan Tabel 3–1.

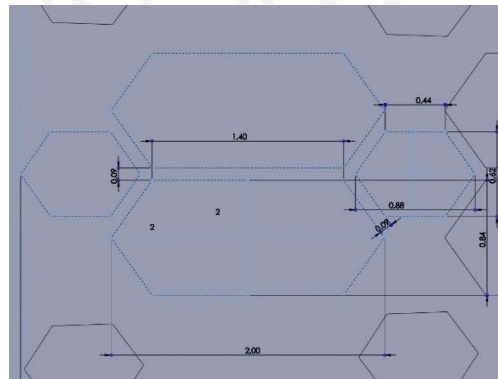


Gambar 3–19 Bentuk asli sisik perut ular [12].

Tabel 3–1 Ukuran asli sisik ular.

Dimensi	CV	SV
H(mm)	4,2±0,8	3,1±0,3
FW(mm)	10±0,1	4,375±0,7
SW(mm)	2,15±0,23	2±0,4
TW(mm)	7±0,1	2,2±0,4

Kemudian pada penelitian ini, dilakukan penyesuaian dimensi sisik perut ular yakni dengan memperkecil dimensinya agar dapat menjaga kerapatan antar tekstur permukaan ketika diterapkan pada spesimen uji PeU. Dimensi tekstur sisik perut ular pada spesimen PeU diperkecil hingga memiliki dimensi lima kali lebih kecil dari dimensi sisik perut ular asli. Bentuk dan ukuran tekstur permukaan sisik perut ular pada spesimen PeU dapat dilihat pada Gambar 3–20 dan Tabel 3–2.



Gambar 3–20 Model 2D spesimen PeU.

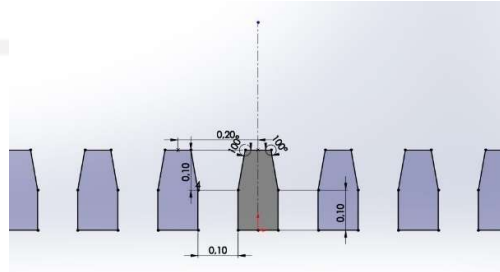
Tabel 3–2 Ukuran Model 2D spesimen PeU.

Dimensi	CV	SV
H(mm)	0,84	0,62
FW(mm)	2	0,88
SW(mm)	0,43	0,4
TW(mm)	1,4	0,44

4. Spesimen Mikro Riblet Hiu (MRH)

Kemudian bentuk spesimen MRH mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Guo, dkk. [6] yang membuat geometri sederhana dari *dentikel* pada kulit hiu yang diberi nama mikro riblet. Pada spesimen MRH dilakukan penyesuaian dimensi mikro *riblet* yakni dengan memperbesar dua kali dari acuan dimensi mikro *riblet* milik Guo. Penyesuaian ukuran dilakukan karena perangkat lunak tidak dapat memproses *file* 3D menjadi ekstensi *file slicer*. Dimensi mikro riblet spesimen MRH masih di dalam jangkauan variasi dimensi *dentikel* kulit

hiu asli, karena sumbu utama variasi gigi hiu terletak pada ukurannya, dan gigi individu pada spesies yang berbeda dapat bervariasi dari lebih besar dari satu milimeter hingga sekecil 120 μm [47]–[49]. Berikut adalah bentuk dan ukuran tekstur permukaan mikro riblet hiu spesimen MRH dapat dilihat pada Gambar 3–21.



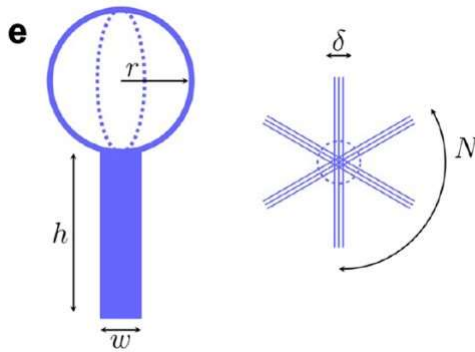
Gambar 3–21 Model 2D spesimen MRH.

5. Spesimen Daun *Salvinia Molesta* (DSM)

Bentuk tekstur permukaan daun salvinia pada spesimen DSM mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Tricinci, dkk. [11] yang membuat bentuk sederhana dari tekstur daun *Salvinia molesta* dengan bentuk menyerupai alat pengocok telur yang dapat dilihat pada. Tricinci membuat tekstur buatan atau rambut artifisial dengan ukuran 100 kali lebih kecil dari ukuran asli tekstur rambut pada daun salvinia yang dapat dilihat pada Gambar 3–22, Gambar 3–23 dan Tabel 3–3.



Gambar 3–22 Bentuk asli dan buatan tekstur daun salvinia [11].



Gambar 3–23 Model 2D tekstur buatan daun salvinia [11].

Tabel 3–3 Dimensi tekstur buatan daun salvinia.

μm	
r	3
h	7
w	1,5
δ	1

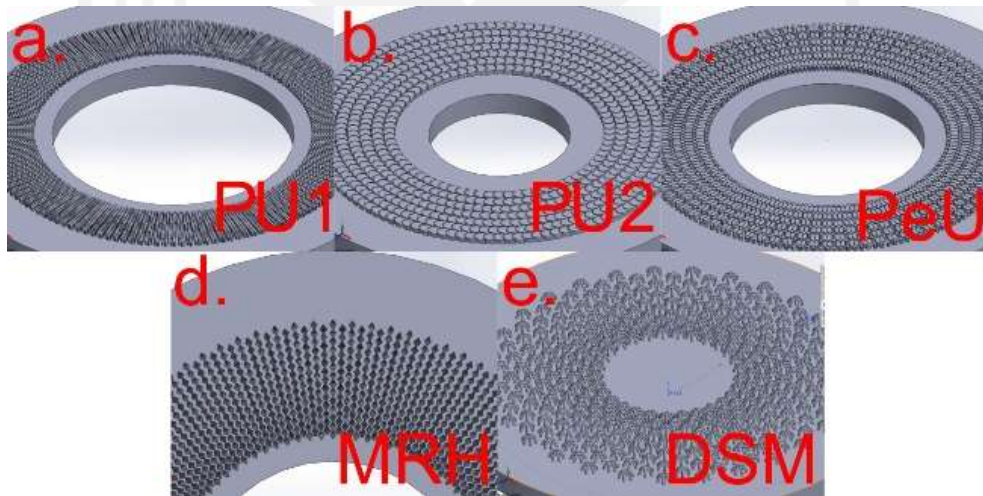
Sedangkan pada penelitian ini dikarenakan mengikuti kemampuan perangkat lunak memproses desain dan perangkat keras membuat spesimen maka dilakukan dimensi tekstur buatan spesimen MRH. Penyesuaian ukuran dilakukan dengan cara memperbesar dimensi tekstur buatan atau rambut artifisial dari daun salvinia sebesar 250 kali dari dimensi rambut artifisial dalam penelitian Tricinci atau sebesar 2.5 kali lebih besar dari dimensi asli rambut pada daun salvinia. Sama seperti spesimen MRH, penyesuaian ukuran dilakukan karena perangkat lunak tidak dapat memproses *file* 3D menjadi ekstensi *file slicer*. Ukuran tekstur buatan spesimen DSM dapat dilihat pada Tabel 3–4.

Tabel 3–4 Dimensi Model 2D spesimen DSM.

μm	
r	750
h	1750
w	275
δ	250

3.3.2 Pemodelan 3D Spesimen

Langkah selanjutnya setelah membuat model 2D dari spesimen adalah membuat model 3D spesimen dari model 2D spesimen yang sudah dibuat. Bentuk dasar spesimen adalah bentuk cakram atau piringan dengan dimensi diameter sebesar 100mm dengan ketebalan 5mm. Kemudian berbagai tekstur permukaan diterapkan pada permukaan atas dari bentuk dasar spesimen dengan pola melingkar. Semua jenis tekstur permukaan pada spesimen memiliki ukuran diameter luar yang sama yaitu sebesar 80mm. Sedangkan untuk diameter dalam tekstur permukaan pada spesimen masing-masing tekstur memiliki diameter yang berbeda-beda dengan variasi antara 40-60mm. Kemudian ketebalan tekstur permukaan pada spesimen masing-masing tekstur memiliki ketebalan yang berbeda-beda yakni spesimen PU1, PU1, dan PeU memiliki ketebalan 1mm. Sedangkan ketebalan pada spesimen MRH dan DSM mengacu dengan bentuk dan dimensi penelitian sebelumnya yang sudah dilakukan penyesuaian kembali pada dimensi masing-masing tekstur. Hasil pemodelan 3D spesimen masing-masing tekstur permukaan dapat ditunjukkan pada Gambar 3–24.



Gambar 3–24 Model 3D dari tekstur permukaan terinspirasi alam. a. Punggung Ular (PU1), b. Punggung Ular 2 (PU2), c. Perut Ular (PeU), d. Mikro Riblet Hiu (MRH), e. Daun *Salvinia Molesta* (DSM).

3.4 Pembuatan Spesimen

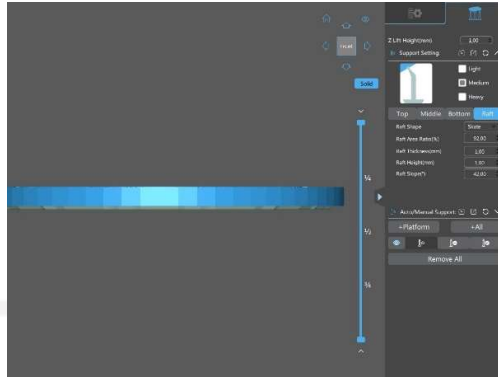
Setelah proses pemodelan tekstur permukaan pada spesimen selesai, langkah berikutnya adalah proses fabrikasi spesimen uji. Perlu diketahui bahwa model 3D yang sudah dibuat pada perangkat lunak SOLIDWORKS 2018 akan menjadi *file* SOLIDWORKS *Part Document* (.SLDPRT). Oleh karena itu *file* tersebut harus dikonversi terlebih dahulu menjadi *file* 3D *Object* (.stl) agar dapat diolah dan diatur oleh perangkat lunak *licer* printer 3D. Berikut adalah penjelasan proses-proses dalam pembuatan spesimen uji.

3.4.1 Pengaturan Pencetakan

Langkah pertama setelah mendapatkan *file* 3D *Object* adalah dengan mengolah *file* tersebut pada perangkat lunak *licer* printer 3D untuk mengatur pengaturan pencetakan. Pada penelitian ini pengaturan pencetakan dibagi menjadi dua tahap karena menggunakan perangkat lunak yang berbeda. Tahapan pertama pengaturan *support* menggunakan perangkat lunak CHITUBOX Basic dan tahap kedua pengaturan posisi dan parameter pencetakan menggunakan perangkat lunak Photon Workshop V24. Untuk penjelasan lebih lanjut dapat dilihat pada poin di bawah ini:

1. Pengaturan Support

Pengaturan *support* menggunakan perangkat lunak CHITUBOX Basic dikarenakan tipe *support raft* tidak terdapat pada perangkat lunak Photon Workshop V24. *Support* tipe *raft* digunakan karena orientasi pencetakan permukaan spesimen sejajar atau tidak ada kemiringan dengan posisi bed atau platform printer 3D yang dapat dilihat pada Gambar 3–25. Orientasi spesimen sejajar dengan posisi platform agar tekstur permukaan spesimen memiliki permukaan yang mulus atau rata. Karena bila dilakukan pencetakan dengan kemiringan akan menyebabkan tekstur bergaris akibat dari proses pencetakan layer per layer dari printer 3D. Untuk pengaturan parameter *support* tercantum pada tabel Tabel 3–5



Gambar 3–25 Pengaturan *raft* pada aplikasi *slicer printer* 3D.

Tabel 3–5 Parameter *support*.

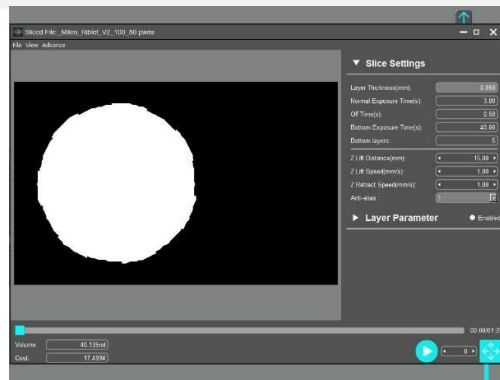
<i>Support setting</i>	
<i>Support type</i>	<i>Raft</i>
<i>Shape</i>	<i>Skate</i>
<i>Area ratio (%)</i>	92
<i>Thickness (mm)</i>	1
<i>Height (mm)</i>	1
<i>Slope (°)</i>	42

2. Pengaturan Posisi dan Parameter

Tahapan selanjutnya adalah pengaturan posisi dan parameter pencetakan menggunakan perangkat lunak Photon Workshop V24 yang merupakan perangkat lunak slicer bawaan printer 3D SLA Anycubic Photon Mono X. Sebelum melakukan pengaturan posisi pencetakan perlu diperhatikan *Vertical Axis Tank* (VAT) atau film pada resin tank printer 3D yakni dengan melihat cacat berupa goresan maupun lecet pada VAT. Kemudian pada perangkat lunak *slicer* mengatur posisi spesimen menghindari cacat pada VAT karena cacat pada VAT dapat memengaruhi hasil pencetakan akibatnya cacat pada VAT ikut tercetak pada spesimen.

Setelah tahapan pengaturan posisi selesai dilanjutkan dengan pengaturan parameter pencetakan berupa layer, sinar UV dan gerak motor sumbu Z. Pengaturan parameter pencetakan tersebut menggunakan pengaturan menyerupai pengaturan bawaan perangkat lunak dengan

sedikit perubahan dan beberapa perubahan pada parameter gerak motor sumbu Z. Perubahan pengaturan parameter gerak motor sumbu Z dilakukan agar memberi waktu pada resin mengisi kembali ruang yang kosong sehingga spesimen tidak melekat pada VAT karena wilayah yang dicetak cukup luas. Pengaturan parameter pencetakan dapat dilihat pada Gambar 3–26 dan tertera pada Tabel 3–6.



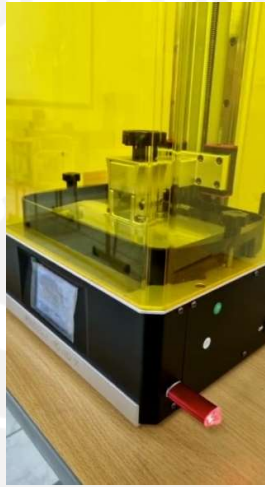
Gambar 3–26 Pengaturan posisi dan parameter *print*.

Tabel 3–6 Parameter *print*.

<i>Print setting</i>	
<i>Layer thickness (mm)</i>	0.05
<i>Normal exposure time (s)</i>	3
<i>Off time (s)</i>	0.5
<i>Bottom exposure time (s)</i>	40
<i>Bottom layers</i>	5
<i>Z lift distance (mm)</i>	15
<i>Z lift speed (mm/s)</i>	1
<i>Z retract speed (mm/s)</i>	1
<i>Anti-alias</i>	1

3.4.2 Proses Pencetakan dan Post Curing

Kemudian langkah selanjutnya dalam pembuatan spesimen adalah proses pencetakan menggunakan printer 3D SLA Anycubic Photon Mono X dengan eSun standard resin sebagai bahan yang digunakan. Waktu yang dibutuhkan untuk membuat satu spesimen uji berkisar antara 1 jam 20 menit hingga 1 jam 40 menit sesuai yang ditampilkan pada perangkat lunak *slicer* dan layar pada printer 3D. Gambar 3–27 menunjukkan proses pencetakan spesimen uji.



Gambar 3–27 Proses pencetakan spesimen.

Setelah spesimen selesai dicetak dilanjutkan dengan proses *post curing* dengan memasukkan spesimen ke dalam alat Formlabs Form Wash kemudian ke dalam alat Formlabs Form Cure. Alat Formlabs Form Wash digunakan untuk membersihkan residu resin yang masih menempel pada spesimen setelah proses pencetakan selesai. Sedangkan alat Formlabs Form Cure berfungsi untuk mengeringkan serta menguatkan atau mengeraskan kembali spesimen setelah proses *wash* selesai. Untuk pengaturan proses dilakukan selama 20 menit dan pengaturan proses *cure* dilakukan selama 20 menit dengan suhu 60°C. Gambar 3–28 dan Gambar 3–29 menunjukkan proses *wash* dan *cure* spesimen uji.



Gambar 3–28 Proses *wash*.



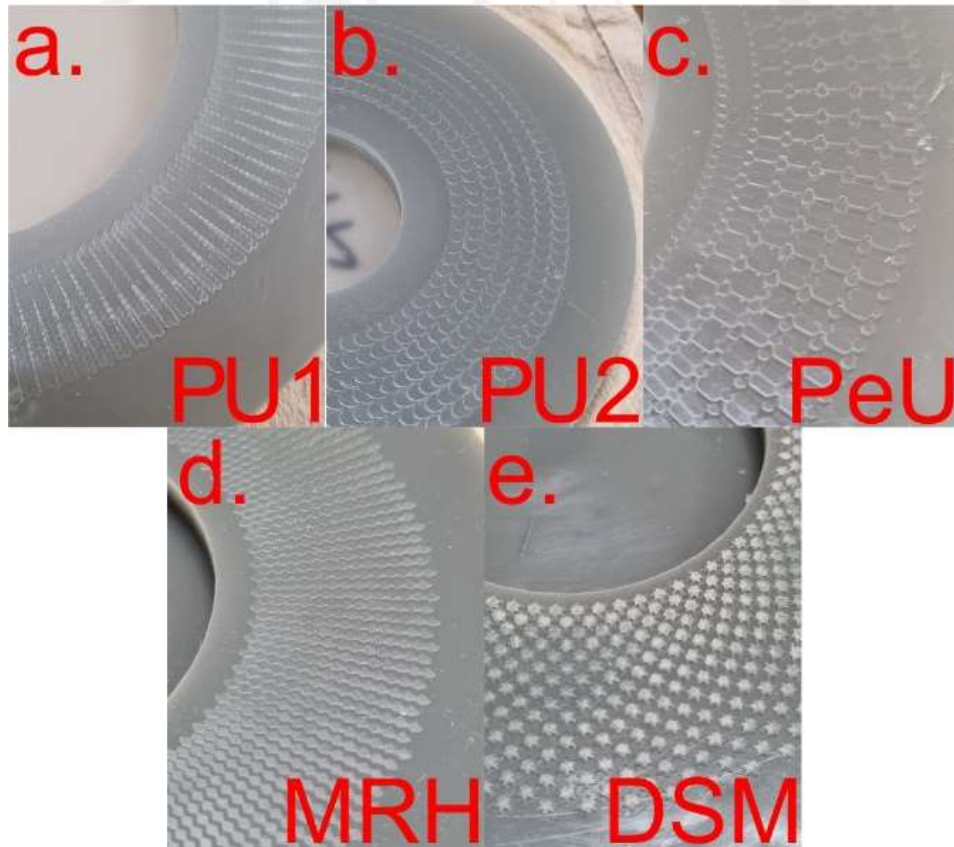
Gambar 3–29 Proses *cure*.

3.4.3 Hasil Pencetakan

Setiap jenis dari kelima jenis tekstur permukaan spesimen uji dibuat masing-masing dibuat sebanyak tiga spesimen uji, sehingga secara keseluruhan terdapat lima belas spesimen uji yang penjelasannya dapat dilihat pada Tabel 3–7. Berikut adalah hasil pencetakan yang ditunjukkan pada Gambar 3–30.

Tabel 3–7 Jumlah Pembuatan Spesimen

Jenis Spesimen	Jumlah Pembuatan Spesimen
PU1	3
PU2	3
PeU	3
MRH	3
DSM	3
Total Jumlah Spesimen	15



Gambar 3–30 Hasil 3D *print* spesimen uji. a. Punggung Ular (PU1), b. Punggung Ular 2 (PU2), c. Perut Ular (PeU), d. Mikro Riblet Hiu (MRH), e. Daun *Salvinia Molesta* (DSM).

3.5 Pengujian Spesimen

Setelah tahapan pembuatan selesai, tahapan selanjutnya adalah tahapan untuk menguji spesimen. Pengujian yang dilakukan pada spesimen uji menggunakan *DUCOM Pin on Disc Tribometer Neo TR-20 Series* untuk mengetahui nilai gaya gesek dan aus yang terjadi pada tekstur permukaan

spesimen uji. Data nilai gaya gesek dan aus yang terjadi pada tekstur permukaan spesimen uji didapatkan langsung dari komputer yang terhubung dengan *tribometer* sedangkan untuk massa aus didapatkan dari menimbang massa spesimen uji sebelum dan sesudah pengujian *tribometer*. Pengujian spesimen uji pada *tribometer* dengan parameter yang ditunjukkan pada tabel yakni dilakukan menggunakan *steel ball head* berukuran 10mm dengan beban 10N, kecepatan 200 RPM, diameter *wear track* 70mm dan waktu pengujian selama satu menit 30 detik. Gambar 3–8 menunjukkan pengujian pada *tribometer* pin on disc dan Tabel 3–8 menunjukkan parameter pengujian.

Tabel 3–8 Parameter pengujian pada *tribometer* pin on disc.

Parameter Eksperimen	Spesifikasi
Tipe Head	Ball head 10mm AISI 52100 Steel
Beban (N)	10
Kecepatan rotasi (RPM)	200
Diameter wear track (mm)	70
Lama Pengujian	1 menit 30 detik

Ball head digunakan untuk menghindari kemungkinan kerusakan berupa patah pada head *tribometer* apabila menggunakan *pin head*. Lalu ukuran 10mm pada *ball head* digunakan agar tekanan yang terjadi pada spesimen tidak terlalu besar karena diasumsikan tekanan yang akan dikenakan pada tekstur permukaan merupakan tekanan rendah mengingat ukuran tekstur permukaan yang kecil. Bahan *steel* pada head *tribometer* mengacu pada penelitian oleh Hanon, dkk. (2022) dan standar pengujian STM-G99 yang menguji spesimen resin Printer 3D pada *tribometer*.

Beban 10N mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Solomon & Yerazunis, (2021) menggunakan Printer 3D SLA sebagai aplikasi robotika berupa *robotic g s*. Kecepatan rotasi 200RPM merupakan kecepatan minimal yang dapat

dijalankan kan oleh *tribometer* dan nilai tersebut masih dalam jangkauan kecepatan rotasi yang bekerja pada SCARA serta 6-axis *robotic arm*. Untuk ukuran diameter *wear track* 70mm mengikuti ukuran spesimen dengan diameter dalam tekstur permukaan ± 60 mm dan diameter luar tekstur permukaan 80mm. Lamanya pengujian 1 menit 30 detik disesuaikan dengan *tribometer* ketika saat pengujian terdengar bunyi bising yang cukup kencang pada *tribometer* maka pengujian pun dihentikan agar tidak merusak *tribometer*.

Perlu diketahui untuk dapat mengetahui untuk dapat mengetahui nilai massa aus yang terjadi spesimen setelah pengujian, maka spesimen harus ditimbang terlebih dahulu sebelum melakukan pengujian. Kemudian saat spesimen telah selesai menjalani pengujian, maka spesimen ditimbang kembali untuk mengetahui massa akhir spesimen setelah dilakukan pengujian. Terakhir nilai massa aus yang terjadi pada spesimen pada saat pengujian dapat diketahui dengan mengurangi nilai massa awal spesimen sebelum pengujian dengan nilai massa akhir spesimen setelah pengujian. Gambar 3–31 menunjukkan penimbangan spesimen sebelum dan setelah pengujian.



Gambar 3–31 Penimbangan spesimen sebelum dan sesudah pengujian.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

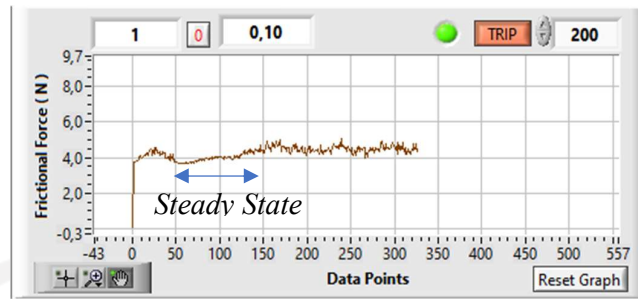
4.1 Hasil Pengujian

Pada penelitian ini hasil pengujian merupakan data grafik yang didapatkan dari perangkat lunak *tribometer* pada komputer yang terhubung dengan *tribometer pin on disc*. Pada perangkat lunak terdapat beberapa informasi yang ditampilkan seperti parameter pengujian berupa kecepatan rotasi, beban normal yang diberikan, diameter *wear track* serta terdapat informasi lainnya seperti temperatur, kelembaban, kecepatan *sliding* dan waktu pengujian. Selain itu terdapat informasi yang ditampilkan secara real time berupa grafik gaya gesek, grafik keausan, grafik kecepatan rotasi dan sisa waktu pengujian. Gambar 4-1 menunjukkan tampilan informasi perangkat lunak *tribometer pin on disc*.



Gambar 4-1 Tampilan antarmuka *tribometer pin on disc*.

Data grafik yang didapatkan dari perangkat lunak adalah data grafik gaya gesek dalam satuan newton dan keausan dalam satuan *microns* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4-2. Akan tetapi data grafik yang digunakan atau diambil nilainya dari hasil pengujian yang ditampilkan pada perangkat lunak hanya berupa data gaya gesek saja. Karena nilai keausan yang terjadi pada spesimen datanya didapatkan dari hasil penimbangan spesimen pada saat sebelum dan sesudah pengujian. Selain itu perangkat lunak juga memberikan data mentah dari pengujian yang memudahkan untuk mengolah data tersebut untuk mendapatkan nilai yang diinginkan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4-3.



Gambar 4–2 Grafik hasil pengujian gaya gesek.

TIME;	Load;	FF;	COF;	WEAR;	Chamber_Temp;	Humidity;	Speed;	Sliding Distance;
0,000;	10,000;	0,104;	0,010;	0,246;	14,548;	-15,440;	200,000;	0,000;
12,837;	10,000;	3,721;	0,372;	-88,160;	14,991;	-15,440;	200,000;	9,410;
13,838;	10,000;	3,696;	0,370;	-91,558;	15,079;	-15,440;	200,000;	10,144;
14,841;	10,000;	3,756;	0,376;	-90,701;	15,074;	-15,440;	200,000;	10,879;
15,845;	10,000;	3,808;	0,381;	-83,037;	15,130;	-15,440;	200,000;	11,615;
18,050;	10,000;	3,842;	0,384;	-77,023;	15,078;	-15,440;	200,000;	13,231;
19,051;	10,000;	3,841;	0,384;	-98,763;	15,156;	-15,440;	200,000;	13,965;
20,254;	10,000;	3,904;	0,390;	-75,154;	15,171;	-15,440;	200,000;	14,847;
21,257;	10,000;	3,966;	0,397;	-96,794;	15,122;	-15,440;	200,000;	15,582;
22,264;	10,000;	4,089;	0,409;	-62,832;	15,128;	-15,440;	200,000;	16,320;
23,468;	10,000;	3,973;	0,397;	-95,252;	15,167;	-15,440;	200,000;	17,203;
24,471;	10,000;	4,003;	0,400;	-65,907;	15,150;	-15,440;	200,000;	17,938;
25,476;	10,000;	4,053;	0,405;	-96,865;	15,135;	-15,440;	200,000;	18,675;

Gambar 4–3 Data mentah *tribometer pin on disc*.

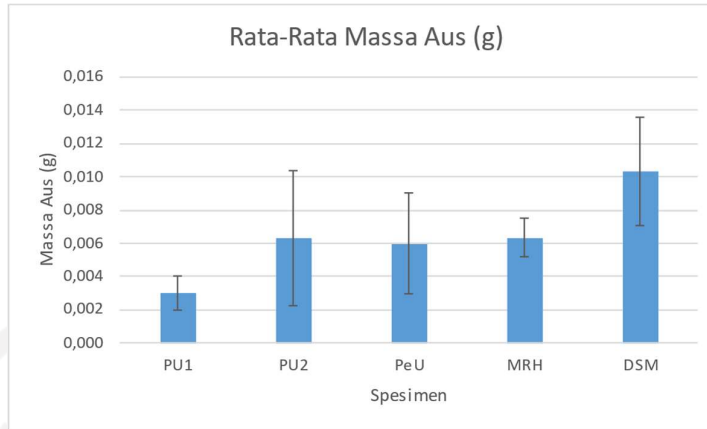
4.2 Analisis dan Pembahasan

Setelah mendapatkan data nilai gaya gesek dan aus yang terjadi pada tekstur permukaan spesimen uji berupa grafik dan data mentah serta mendapat data massa aus spesimen uji selama pengujian dengan melakukan penimbangan saat sebelum dan sesudah pengujian, tahapan selanjutnya adalah mengolah data-data tersebut agar mudah dibaca dan dipahami. Data-data tersebut diolah dengan cara menghitung nilai rata-rata dan standar deviasi dari gaya gesek yang terjadi pada saat kondisi *steady state* dan massa aus yang terjadi pada masing-masing tiga spesimen uji dari setiap kelima jenis tekstur permukaan. Agar menjadi lebih mudah dibaca dan dipahami nilai rata-rata dan standar deviasi tersebut diolah kembali menjadi tabel hasil.

Tabel 4–1 Hasil pengujian keausan.

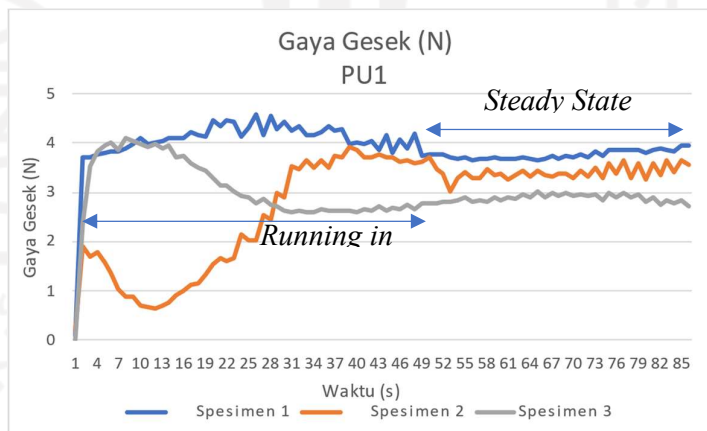
No	Sampel	Massa (g)			Rata-rata aus	Standar deviasi aus
		Berat sebelum	Berat setelah	Aus		
1	PU1-1	54,621	54,619	0,002	0,00300	0,00100
	PU1-2	53,343	53,339	0,004		
	PU1-3	54,929	54,926	0,003		
2	PU2-1	64,651	64,641	0,010	0,00633	0,00404
	PU2-2	65,709	65,702	0,007		
	PU2-3	65,719	65,717	0,002		
3	PeU-1	60,010	60,001	0,009	0,00600	0,00300
	PeU-2	58,394	58,388	0,006		
	PeU-3	59,949	59,946	0,003		
4	MRH-1	59,604	59,599	0,005	0,00633	0,00115
	MRH-2	58,173	58,166	0,007		
	MRH-3	58,585	58,578	0,007		
5	DSM-1	58,289	58,280	0,009	0,01033	0,00321
	DSM-2	58,429	58,421	0,008		
	DSM-3	58,037	58,023	0,014		

Masing-masing dari kelima jenis tekstur permukaan memiliki tiga sampel spesimen, kemudian dihitung nilai rata-rata massa aus dan standar deviasinya setelah pengujian tribometer selesai. Jadi nilai rata-rata dan standar deviasi massa aus dari masing-masing kelima jenis tekstur permukaan didapatkan dari penghitungan data tiga sampel spesimen pada jenis tekstur yang sama. Dari data yang tertera didapatkan pada Tabel 4–1 dapat dilihat bahwa spesimen uji PU1 memiliki nilai rata-rata massa aus serta nilai standar deviasi massa aus terkecil di antara seluruh spesimen dengan bentuk tekstur permukaan lainnya. Kemudian spesimen PU2 serta MRH memiliki nilai rata-rata massa aus yang sama dan spesimen PeU memiliki nilai yang mendekati kedua spesimen tersebut. Walaupun memiliki nilai rata-rata massa aus yang serupa, akan tetapi ketiga spesimen tersebut memiliki nilai standar deviasi massa aus yang berbeda-beda. Sehingga spesimen MRH menempati urutan kedua spesimen dengan nilai rata-rata terkecil karena keakuratan nilai standar deviasi massa aus yang lebih kecil dari spesimen PU2 dan PeU. Terakhir spesimen DSM menempati posisi terakhir sebagai spesimen dengan nilai rata-rata massa aus terbesar pada penelitian ini. Gambar 4–4 menunjukkan grafik perbandingan rata-rata massa aus beserta standar deviasinya pada masing-masing jenis tekstur permukaan.

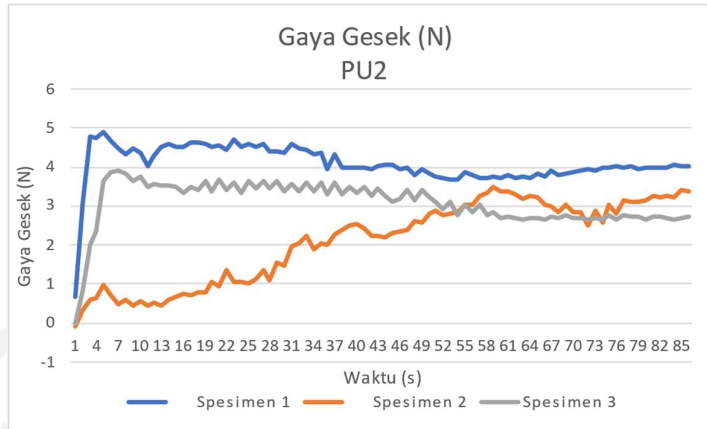


Gambar 4–4 Grafik perbandingan massa aus.

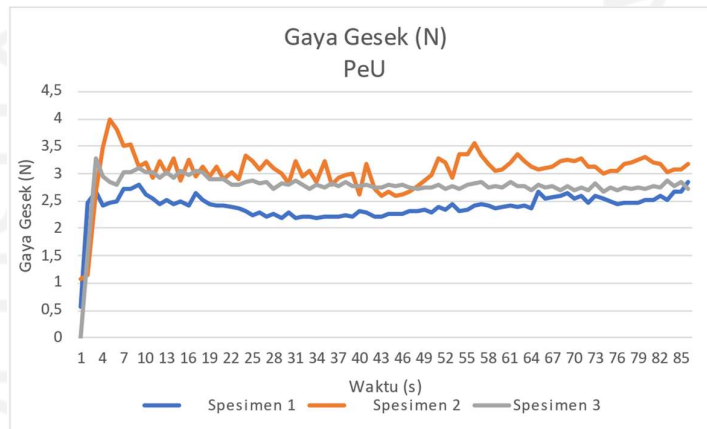
Seperti yang sudah disampaikan sebelumnya bahwa perangkat lunak *tribometer* memberikan data grafik dari gaya gesek yang terjadi pada spesimen uji pada saat pengujian. Data grafik tersebut hanya menampilkan grafik dari satu spesimen uji, sedangkan terdapat lima jenis spesimen uji dengan masing-masing jenis terdapat tiga spesimen uji sehingga total keseluruhan spesimen sebanyak lima belas spesimen uji. Oleh karena itu agar memudahkan dalam membaca data serta dapat membandingkan data ketiga spesimen uji dari kelima jenis spesimen uji dibutuhkan pengolahan data kembali dari data-data grafik tersebut.



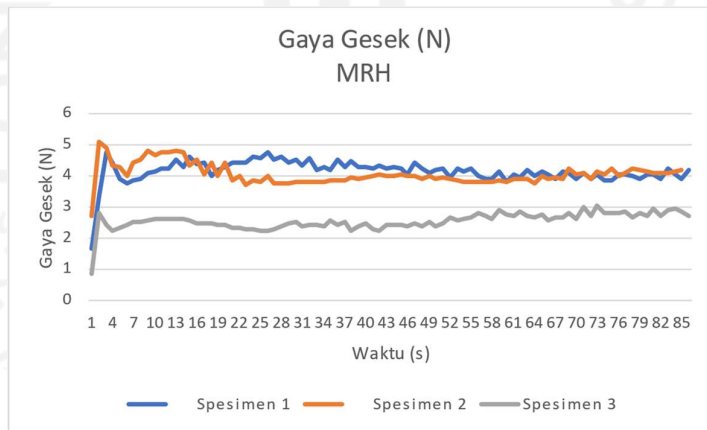
Gambar 4–5 Hasil *Tribometer* dari Spesimen PU1.



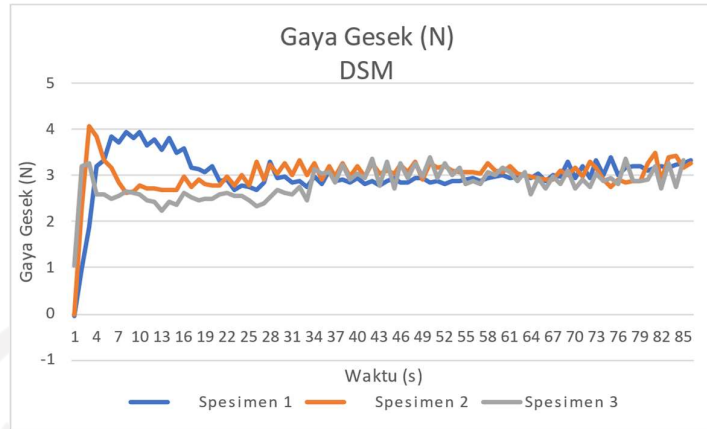
Gambar 4–6 Hasil *Tribometer* dari Spesimen PU2.



Gambar 4–7 Hasil *Tribometer* dari Spesimen PeU.



Gambar 4–8 Hasil *Tribometer* dari Spesimen MRH.

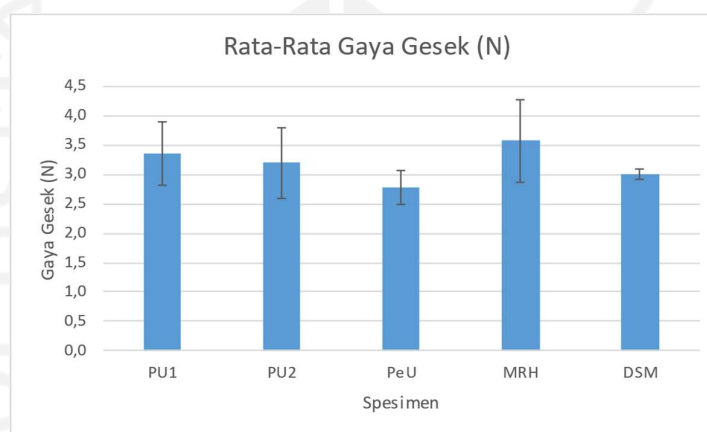


Gambar 4-9 Hasil *Tribometer* dari Spesimen DSM.

Dari grafik-grafik di atas, kondisi grafik gaya gesek dapat dibagi menjadi dua kondisi yaitu kondisi *running in* dan kondisi *steady state* yang dapat dilihat pada Gambar 4-5. Kondisi *running in* dapat ditunjukkan dengan grafik yang berubah naik dan turun secara konstan yang biasanya terjadi pada bagian awal hingga pertengahan pengujian. Pada penelitian ini kondisi *running in* dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti kondisi spesimen yang masih lengket dan kasar saat awal pengujian, debris yang menumpuk saat pengujian dan faktor lainnya. Pada penelitian ini untuk meminimalkan kondisi *running in* upaya yang dilakukan adalah dengan membersihkan *ball head* setiap selesai pengujian sebelum memulai pengujian spesimen selanjutnya. Kemudian terdapat kondisi *steady state* yaitu kondisi grafik yang stabil dan tidak mengalami kenaikan serta penurunan yang konstan sehingga kondisi inilah yang diambil datanya sebagai acuan hasil penelitian ini.

Tabel 4–2 Hasil pengujian gaya gesek.

Gaya Gesek (N)				
No.	Sampel	Rata-Rata per Spesimen	Rata-Rata	Standar deviasi
1	PU1-1	3,867	3,360	0,537
	PU1-2	3,417		
	PU1-3	2,797		
2	PU2-1	3,874	3,204	0,602
	PU2-2	3,031		
	PU2-3	2,707		
3	PeU-1	2,474	2,782	0,298
	PeU-2	3,070		
	PeU-3	2,803		
4	MRH-1	4,017	3,572	0,707
	MRH-2	3,942		
	MRH-3	2,757		
5	DSM-1	2,916	3,004	0,090
	DSM-2	3,097		
	DSM-3	2,998		



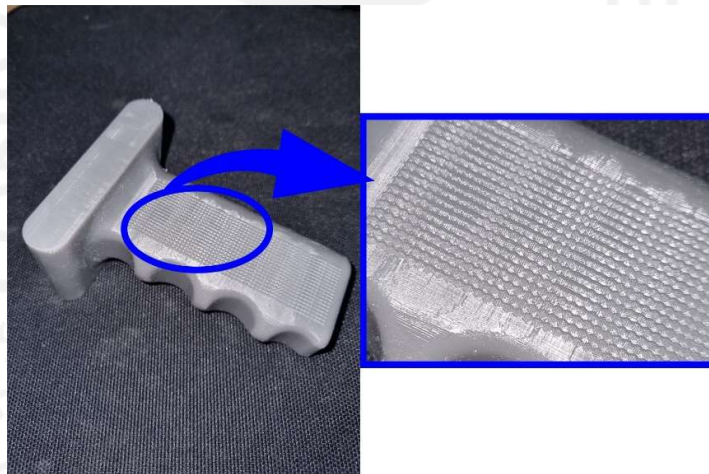
Gambar 4–10 Grafik perbandingan gaya gesek.

Pada pengujian gaya gesek tribometer, nilai gaya gesek yang terjadi pada spesimen berubah setiap detiknya seiring berjalannya pengujian. Sebagaimana telah dijelaskan mengenai kondisi steady state, maka masing-masing sampel spesimen dihitung rata-rata nilai gaya gesek pada saat steady state. Setelah didapatkan nilai rata-rata gaya gesek setiap sampel spesimen dilanjutkan dengan menghitung rata-rata dan standar deviasinya dari setiap jenis tekstur permukaan dengan masing-masing tiga sampel spesimen uji.

Selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 4–2 bahwa kelima jenis tekstur permukaan pada spesimen uji memiliki nilai rata-rata gaya gesek dan standar deviasi yang berbeda secara keseluruhan. Spesimen uji PeU memiliki nilai rata-rata gaya gesek terkecil dan nilai standar deviasi kedua terkecil dari semua jenis tekstur permukaan, sedangkan spesimen uji DSM memiliki nilai standar deviasi

terkecil dan nilai rata-rata gaya gesek kedua terkecil dari semua jenis tekstur permukaan. Spesimen uji MRH menempati posisi pertama nilai terbesar untuk kedua nilai rata-rata gaya gesek dan nilai standar deviasi seperti yang ditampilkan pada Gambar 4–10.

Sehingga setelah diketahui hasil pengujian dari masing-masing jenis spesimen uji dengan tekstur permukaan, selanjutnya dapat menentukan jenis tekstur permukaan yang dapat diaplikasikan pada produk yang dibuat dengan printer 3D SLA. Pada penelitian ini tekstur permukaan yang akan diaplikasikan menjadi contoh produk adalah tekstur MRH yang diaplikasikan pada *foregrip airsoft gun*. Contoh produk *foregrip airsoft gun* membutuhkan grip yang sangat baik dan tidak mudah tergeser saat digenggam agar genggamannya saat menembak *airsoft gun* tetap karena efek reaksi dari tembakan atau *recoil* yang memberikan guncangan. Sehingga tekstur MRH dipilih untuk diaplikasikan dalam contoh produk ini karena memiliki nilai gaya gesek terbesar di antara tekstur permukaan yang lain sehingga dapat memberikan grip yang baik dan tidak mudah bergeser. Contoh aplikasi produk dengan tekstur permukaan dapat dilihat pada Gambar 4–11.



Gambar 4–11 Contoh aplikasi produk.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pada penelitian analisis gaya gesek dan keausan pada spesimen uji dengan tekstur permukaan yang terinspirasi dari alam, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Pada pengujian gaya gesek didapatkan spesimen MRH memiliki nilai gaya gesek terbesar dan spesimen PeU memiliki nilai gaya gesek terkecil.
2. Pada pengujian keausan didapatkan spesimen DSM memiliki nilai keausan terbesar dan spesimen PU1 memiliki nilai keausan terkecil.
3. Tekstur MRH dapat diaplikasikan pada *foregrip airsoft gun* karena membutuhkan nilai gaya gesek yang besar agar genggamannya tidak mudah terselip.

5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya

Dalam penelitian ini, beberapa saran telah diidentifikasi untuk meningkatkan kualitas penelitian selanjutnya, berikut adalah beberapa saran untuk penelitian selanjutnya:

1. Pada proses *print* agar lebih diperhatikan film pada tank Printer 3D SLA supaya permukaan hasil *print* tidak terdapat lecet dan cacat.
2. Penelitian selanjutnya diharap dapat meningkatkan ketelitian bentuk dan dimensi tekstur permukaan agar dapat menyerupai bentuk dan dimensi asli tekstur permukaan.
3. Penelitian selanjutnya diharap dapat menambah varian tekstur permukaan yang terinspirasi alam.
4. Menggunakan variasi parameter yang berbeda atau menambahkan variabel yang diteliti pada fabrikasi Printer 3D SLA.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Bajanski, V. Stojakovic, B. Tepavcevic, M. Jovanovic, dan D. Mitov, "An application of the shark skin denticle geometry for windbreak fence design and fabrication," *J Bionic Eng*, vol. 14, no. 3, hlm. 579–587, Sep 2017, doi: 10.1016/S1672-6529(16)60423-7.
- [2] M. J. Baum, L. Heepe, E. Fadeeva, dan S. N. Gorb, "Dry friction of microstructured polymer surfaces inspired by snake skin," *Beilstein J. Nanotechnol.*, vol. 5, hlm. 1091–1103, Jul 2014, doi: 10.3762/bjnano.5.122.
- [3] M. J. Baum, L. Heepe, dan S. N. Gorb, "Friction behavior of a microstructured polymer surface inspired by snake skin," *Beilstein J. Nanotechnol.*, vol. 5, hlm. 83–97, Jan 2014, doi: 10.3762/bjnano.5.8.
- [4] H. Chen, X. Zhang, D. Che, D. Zhang, X. Li, dan Y. Li, "Synthetic Effect of Vivid Shark Skin and Polymer Additive on Drag Reduction Reinforcement," *Advances in Mechanical Engineering*, vol. 6, hlm. 425701, Jan 2014, doi: 10.1155/2014/425701.
- [5] C. Greiner dan M. Schäfer, "Bio-inspired scale-like surface textures and their tribological properties," *Bioinspir. Biomim.*, vol. 10, no. 4, hlm. 044001, Jun 2015, doi: 10.1088/1748-3190/10/4/044001.
- [6] C. Guo *dkk.*, "Roller embossing process for the replication of shark-skin-inspired micro-riblets," *Micro & Nano Letters*, vol. 12, no. 7, hlm. 439–444, Jul 2017, doi: 10.1049/mnl.2016.0759.
- [7] Q. Li, "A practical fabrication method of the gecko-inspired easy-removal skin adhesives," *Biosurface and Biotribology*, vol. 3, no. 2, hlm. 66–74, Jun 2017, doi: 10.1016/j.bsbt.2017.06.003.
- [8] G. Liu *dkk.*, "A brief review of bio-inspired surface technology and application toward underwater drag reduction," *Ocean Engineering*, vol. 199, hlm. 106962, Mar 2020, doi: 10.1016/j.oceaneng.2020.106962.
- [9] Z. Liu, W. Yin, D. Tao, dan Y. Tian, "A glimpse of superb tribological designs in nature," *Biotribology*, vol. 1–2, hlm. 11–23, Mar 2015, doi: 10.1016/j.biotri.2015.02.002.
- [10] A. P. Malshe, S. Bapat, K. P. Rajurkar, dan H. Haitjema, "Bio-inspired textures for functional applications," *CIRP Annals*, vol. 67, no. 2, hlm. 627–650, 2018, doi: 10.1016/j.cirp.2018.05.001.
- [11] O. Tricinci, T. Terencio, B. Mazzolai, N. M. Pugno, F. Greco, dan V. Mattoli, "3D Micropatterned Surface Inspired by *Salvinia molesta* via Direct Laser Lithography," *ACS Appl. Mater. Interfaces*, vol. 7, no. 46, hlm. 25560–25567, Nov 2015, doi: 10.1021/acsami.5b07722.
- [12] C. Tiner, S. Bapat, S. D. Nath, S. V. Atre, dan A. Malshe, "Exploring Convergence of Snake-Skin-Inspired Texture Designs and Additive Manufacturing for Mechanical Traction," *Procedia Manufacturing*, vol. 34, hlm. 640–646, 2019, doi: 10.1016/j.promfg.2019.06.116.
- [13] R. N. M. Delda, R. B. Basuel, R. P. Hacla, D. W. C. Martinez, J.-J. Cabibihan, dan J. R. C. Dizon, "3D Printing Polymeric Materials for Robots with Embedded Systems," *Technologies*, vol. 9, no. 4, hlm. 82, Nov 2021, doi: 10.3390/technologies9040082.

- [14] J. Z. Gul *dkk.*, “3D printing for soft robotics – a review,” *Science and Technology of Advanced Materials*, vol. 19, no. 1, hlm. 243–262, Des 2018, doi: 10.1080/14686996.2018.1431862.
- [15] E. Solomon dan W. S. Yerazunis, “Robotic Applications of Mechanical Metamaterials Produced Using SLA 3D Printing: Cthulhu-Morphic Grippers,” *Solid Freeform Fabrication 2021: Proceedings of the 32nd Annual International Solid Freeform Fabrication Symposium – An Additive Manufacturing Conference*, 2021, [Daring]. Tersedia pada: <https://hdl.handle.net/2152/90620>
- [16] N. Gallup, A. M. Pringle, S. Oberloier, N. G. Tanikella, dan J. M. Pearce, “Parametric nasopharyngeal swab for sampling COVID-19 and other respiratory viruses: Open source design, SLA 3-D printing and UV curing system,” *HardwareX*, vol. 8, hlm. e00135, Okt 2020, doi: 10.1016/j.ohx.2020.e00135.
- [17] S. N. Economidou *dkk.*, “3D printed microneedle patches using stereolithography (SLA) for intradermal insulin delivery,” *Materials Science and Engineering: C*, vol. 102, hlm. 743–755, Sep 2019, doi: 10.1016/j.msec.2019.04.063.
- [18] M. J. Uddin *dkk.*, “3D printed microneedles for anticancer therapy of skin tumours,” *Materials Science and Engineering: C*, vol. 107, hlm. 110248, Feb 2020, doi: 10.1016/j.msec.2019.110248.
- [19] A. Triacca, G. Pitzanti, E. Mathew, B. Conti, R. Dorati, dan D. A. Lamprou, “Stereolithography 3D printed implants: A preliminary investigation as potential local drug delivery systems to the ear,” *International Journal of Pharmaceutics*, vol. 616, hlm. 121529, Mar 2022, doi: 10.1016/j.ijpharm.2022.121529.
- [20] X. Xu *dkk.*, “Stereolithography (SLA) 3D printing of a bladder device for intravesical drug delivery,” *Materials Science and Engineering: C*, vol. 120, hlm. 111773, Jan 2021, doi: 10.1016/j.msec.2020.111773.
- [21] O. A. Naeem, S. Bencharit, I.-H. Yang, S. C. Stilianoudakis, C. Carrico, dan E. Tüfekçi, “Comparison of 3-dimensional printing technologies on the precision, trueness, and accuracy of printed retainers,” *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, vol. 161, no. 4, hlm. 582–591, Apr 2022, doi: 10.1016/j.ajodo.2021.03.016.
- [22] A. Jönsson, A. Toppi, dan M. Dufva, “The FAST Pump, a low-cost, easy to fabricate, SLA-3D-printed peristaltic pump for multi-channel systems in any lab,” *HardwareX*, vol. 8, hlm. e00115, Okt 2020, doi: 10.1016/j.ohx.2020.e00115.
- [23] N. Shahrubudin, T. C. Lee, dan R. Ramlan, “An Overview on 3D Printing Technology: Technological, Materials, and Applications,” *Procedia Manufacturing*, vol. 35, hlm. 1286–1296, 2019, doi: 10.1016/j.promfg.2019.06.089.
- [24] K. Szykiedans dan W. Credo, “Mechanical Properties of FDM and SLA Low-cost 3-D Prints,” *Procedia Engineering*, vol. 136, hlm. 257–262, 2016, doi: 10.1016/j.proeng.2016.01.207.
- [25] Y. F. Fu, C. Q. Yuan, dan X. Q. Bai, “Marine drag reduction of shark skin inspired riblet surfaces,” *Biosurface and Biotribology*, vol. 3, no. 1, hlm. 11–24, Mar 2017, doi: 10.1016/j.bsbt.2017.02.001.

- [26] G. W. Stachowiak dan A. W. Batchelor, Ed., “Chapter 1 - Introduction,” dalam *Engineering Tribology (Fourth Edition)*, Fourth Edition., Boston: Butterworth-Heinemann, 2014, hlm. 1–10. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-397047-3.00001-1>.
- [27] I. Syafaat, “TRIBOLOGI, DAERAH PELUMASAN DAN KEAUSAN,” *Momentum*, vol. 4, no. 2, hlm. 21–26, 2008.
- [28] B. Bhushan, *Introduction to Tribology*, Second Edition. The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex, PO19 8SQ, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2013. doi: 10.1002/9781118403259.ch1.
- [29] P. Menezes, Kishore, S. Kailas, dan M. Lovell, “Tribological response of materials during sliding against various surface textures,” dalam *Materials and Surface Engineering*, Elsevier, 2012, hlm. 207–242. doi: 10.1533/9780857096036.207.
- [30] I. W. Hardiansyah, “PENERAPAN GAYA GESEK PADA KEHIDUPAN MANUSIA,” *INKUIRI*, vol. 10, no. 1, Mei 2021, doi: 10.20961/inkuiri.v10i1.44531.
- [31] N. P. Suh, *Tribophysics*. New Jersey: Prentice-Hall, Inc., 1986.
- [32] P. Carlsson dan SLU Service repro), *Surface engineering in sheet metal forming*. Acta Universitatis Upsaliensis, 2005.
- [33] F. W. Lindvall, “Development of a test method for measuring galling resistance,” Jun 2007.
- [34] G. W. Stachowiak dan A. W. Batchelor, *Engineering tribology*, 2 ed. Amsterdam ; New York: Butterworth-Heinemann, Elsevier Science & Technology Books, 2000.
- [35] Z. R. Zhou dan Z. M. Jin, “Biotribology: Recent progresses and future perspectives,” *Biosurface and Biotribology*, vol. 1, no. 1, hlm. 3–24, Mar 2015, doi: 10.1016/j.bsbt.2015.03.001.
- [36] F. V. Izzati RM, “Implementasi CAD (Computer Aided Design) dalam Proses Desain Produk,” Open Science Framework, preprint, Des 2022. doi: 10.31219/osf.io/wkg2c.
- [37] D. H. U. Ningsih, “Computer Aided Design / Computer Aided Manufactur [CAD/CAM],” *Computer Aided Design*, no. 3, 2005.
- [38] M. Muchid, “DESAIN 3D KEMASAN MINYAK WANGI APLIKASI CAD (COMPUTERED AIDED DESIGN) DENGAN METODE API (ANALYSIS PRODUCT INSPECTION),” *INSTEK*, vol. 6, no. 1, hlm. 94, Jan 2021, doi: 10.24252/instek.v6i1.18641.
- [39] S. M. Saptarshi dan Dr. C. Zhou, “Basics of 3D Printing,” dalam *3D Printing in Orthopaedic Surgery*, Elsevier, 2019, hlm. 17–30. doi: 10.1016/B978-0-323-58118-9.00002-6.
- [40] T. Moritz dan S. Maleksaeedi, “4 - Additive manufacturing of ceramic components,” dalam *Additive Manufacturing*, J. Zhang dan Y.-G. Jung, Ed. Butterworth-Heinemann, 2018, hlm. 105–161. doi: 10.1016/B978-0-12-812155-9.00004-9.
- [41] N. Bhattacharjee, A. Urrios, S. Kang, dan A. Folch, “The upcoming 3D-printing revolution in microfluidics,” *Lab Chip*, vol. 16, no. 10, hlm. 1720–1742, 2016, doi: 10.1039/C6LC00163G.
- [42] “Form-2-printer-three-quarters-Hart_q7J639F.jpg.960x0_q80.jpg (960×1380).” https://archive-media.formlabs.com/upload/_thumbs/Form-2-

- printer-three-quarters-Hart_q7J639F.jpg.960x0_q80.jpg (diakses 12 Maret 2023).
- [43] “5c490ec5-1607-4822-acc5-436e966fe471.jpg (500×500).”
<https://images.tokopedia.net/img/cache/500-square/VqbcmM/2022/4/26/5c490ec5-1607-4822-acc5-436e966fe471.jpg>
(diakses 26 Maret 2023).
- [44] “Solidworks Logo - Unlimited Download. cleanpng.com.” *cleanpng.com*.
<https://www.cleanpng.com/png-computer-icons-solidworks-e-1541448/>
(diakses 26 Maret 2023).
- [45] “chitubox-logo-1200x1200.jpeg (1200×1200).” <https://nozler.io/wp-content/uploads/2022/01/chitubox-logo-1200x1200.jpeg> (diakses 26 Maret 2023).
- [46] “472570.png (256×256).”
https://img.informer.com/icons_mac/png/128/472/472570.png (diakses 26 Maret 2023).
- [47] M. V. Ankhelyi, D. K. Wainwright, dan G. V. Lauder, “Diversity of dermal denticle structure in sharks: Skin surface roughness and three-dimensional morphology,” *Journal of Morphology*, vol. 279, no. 8, hlm. 1132–1154, Agu 2018, doi: 10.1002/jmor.20836.
- [48] J. I. Castro, *The sharks of North America*. Oxford; New York: Oxford University Press, 2011.
- [49] E. M. Dillon, R. D. Norris, dan A. O’Dea, “Dermal denticles as a tool to reconstruct shark communities,” *Marine Ecology Progress Series*, vol. 566, hlm. 117–134, 2017, doi: 10.3354/MEPS12018.

LAMPIRAN

Proc. International Conference on Mechanical, Automotive and Mechatronics Engineering (ICMAME 2023)
29-30 April 2023, Dubai, UAE

Friction and Wear Analysis of SLA 3D Print Products with Surface Textures Inspired by Snakes, Sharks, and Giant Salvinia

Muhammad Imaduddin
Department of Mechanical Engineering,
Faculty of Industrial Technology,
Islamic University of Indonesia
Yogyakarta, Indonesia
18525122@students.uii.ac.id

Muhammad Khafidh
Department of Mechanical Engineering,
Faculty of Industrial Technology,
Islamic University of Indonesia
Yogyakarta, Indonesia
khafidh@uui.ac.id

Abstract— Several human activities are inseparable from tribology in the form of friction and wear such as walking, shaving hair, using pencils and rubber erasers, friction between brake pads and disc brakes, and many more. The size of the friction and wear forces have their respective advantages and can be adjusted according to the goals to be achieved in an object or system. To engineer the values of friction and wear, one way of engineering can be done on the surface texture, namely by engineering the shape of the surface texture. The shape of the surface texture can be inspired by nature, both animals and plants, because there are many activities in nature by animals and plants related to tribology and have good results in meeting needs in the field of tribology. To expand the research and application of the surface texture, the effect of the shape of the surface texture on the tribological properties has been analyzed in this paper by fabricating it using a resin-based SLA 3D printer. Along with the development of SLA 3D Printer technology, it is not only used for making product prototypes but has been used to make final products for direct use. Therefore, to support the progress of industry 4.0 and rapid manufacturing, the SLA 3D printer was used in this study as a fabrication method engineered to form a natural-inspired surface texture.

Keywords—Tribology, Surface texture, Nature inspired, SLA 3D Printer

I. INTRODUCTION

Surface texture engineering that inspired by nature is one way to engineer surface textures to engineer friction and wear values. There have been many studies and designs on surface textures inspired by nature from both animals and plants. Some of the animals that inspired the engineering of surface textures such as shark denticles, snake scales, clam shells, lizard legs, etc. while the floral-inspired textures are drawn from lotus leaf, rice leaf, water lettuce, giant salvinia, etc. From several studies and designs that have a focus of different objectives. Surface texture of shark denticles to analyze drag reduction properties [1]–[3], snake scales to study movement and friction [4]–[6], gecko feet to determine dry adhesion properties [7], giant salvinia to obtain hydrophilic properties [8].

Various manufacturing methods have been conducted and varied materials were used in the surface texture research. Shark denticles are made in various ways and materials, such as Bajanski, Stojakovic, Tepaycevic, Joyanovic & Mitoy [9] making windbreak fences using hot-

wire cutting with EPS foam material to examine wind resistance. Guo, Tian, H. Wang, Sun, Du, M. Wang & Zhao [2] used the UV-LiGa UV method with nickel material, roller embossing with PET and PVC film materials to examine drag reduction. Chen, X. Zhang, Che, D. Zhang, X. Li & Y. Li [3] used the Polymer Additive Grafting Synthesis method with rubber and resin materials to examine drag reduction and resistance to water speed. Then to obtain the surface texture of the snakeskin, Greiner & Schäfer [6] used the laser surface texturing method with material Bearing steel 100Cr6 (Fe with 1.5% Cr and 1.0% carbon) to examine the friction coefficient and Tiner, Bapat, Nath, Atré & Malshe [10] used the laser-powder bed fusion method with the material 420 stainless steel for the roughness measurement and frictional anisotropy testing of the micro-texture. Furthermore, to obtain the surface texture of the giant salvinia Tricinci, Terencio, Mazzolai, Pugno, Greco & Mattoli [8] using the 3D direct laser lithography method with hydrophilic material (a cross-linked epoxy-based IP-DILL photoresist) to examine the capability of air trapping.

Even so, there are several problems that can be taken from the shortcomings of existing manufacturing methods or products. For example, if you want to get a size like the original with a short process, you must sacrifice a shape that doesn't resemble the original. Likewise, if you want to get a shape and size that resembles the original, it requires several manufacturing processes that take a long time. There is also a shape that resembles the original with simple manufacturing but is limited by large product sizes and soft materials such as foam as prototypes and molds that are not direct applications. From various research and product designs produced, they are still limited to prototypes and prints, even only as analysis products, not for direct application.

Facing the problems found in the manufacturing method and existing products produced, you can use the 3D Print SLA manufacturing method. For research and design of nature-inspired surface textures, not many use the 3D Print SLA method. In the past, products from the 3D Print SLA results were only used as prototypes, but now there are several that have made them direct applications. So that the research and design of nature-inspired surface textures will be carried out using the 3D Print SLA method as a direct application and its analysis of tribological behavior.

XXX-X-XXXX-XXXX-X/XX/XX.00 ©20XX IEEE