

**PENYELIDIKAN KEAUSAN RODA GIGI LURUS AKIBAT
VARIASI BAHAN DENGAN KONDISI KERING DAN
TERLUMASI**

SKRIPSI

OLEH :

**JOHN RAYMOND
198130079**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2025**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 13/8/25

Access From (repository.uma.ac.id)13/8/25



**PENYELIDIKAN KEAUSAN RODA GIGI LURUS AKIBAT
VARIASI BAHAN DENGAN KONDISI KERING DAN
TERLUMASI**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh
Gelar Sarjana di Fakultas Teknik
Universitas Medan Area

Oleh :

JOHN RAYMOND

198130079

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2025**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

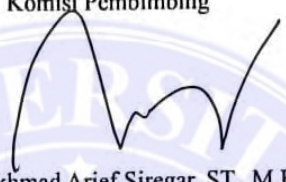
Document Accepted 13/8/25

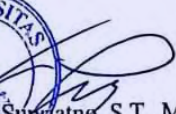
Access From (repository.uma.ac.id)13/8/25

HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

Judul Proposal : Penyelidikan Keausan Roda Gigi Lurus Akibat Variasi Bahan dengan Kondisi Kering dan Terlumasasi
Nama Mahasiswa : John Raymond
NIM : 198130079
Fakultas : Teknik Mesin

Disetujui Oleh
Komisi Pembimbing


Dr. Eng. Rakhmad Arief Siregar, ST., M.Eng.
Pembimbing


Dr. Eng. Supriatno, S.T., M.T.
Dekan


Dr. Iswandi, S.T., M.T.
Ka. Prodi/WD 1

Tanggal Lulus :

HALAMAN PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai sorma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah.

Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi-sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila di kemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Medan,

John Raymond
198130079



HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR/SKRIPSI/TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sevitass akademik Universitas Medan Area saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : John Raymond
NPM : 198130079
Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Tugas Akhir/Skripsi/Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*non-exclusive- free right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

PENYELIDIKAN KEAUSAN RODA GIGI LURUS AKIBAT VARIASI BAHAN DENGAN KONDISI KERING DAN TERLUMASI.

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalih media/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir/skripsi/tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

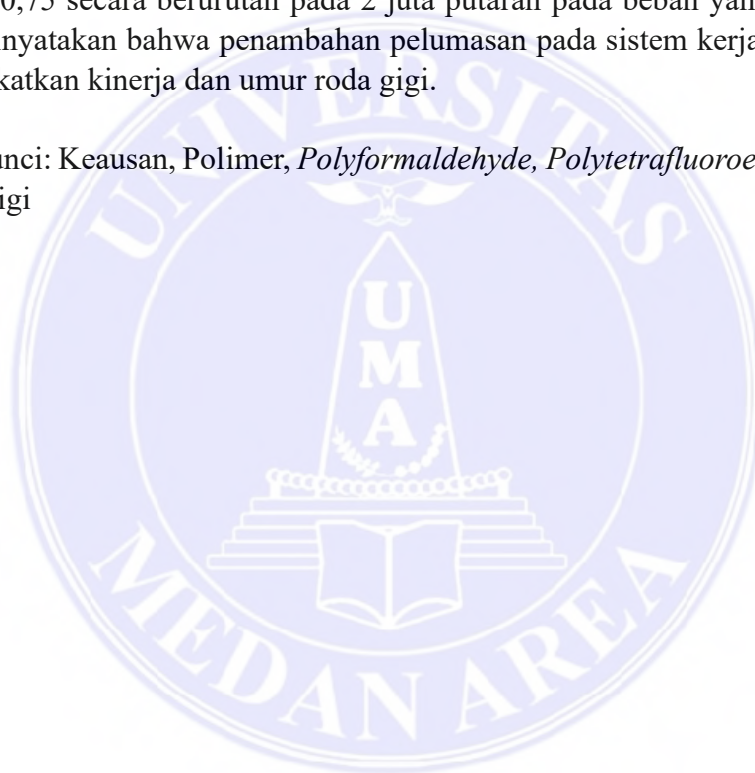
Dibuat di: Medan
Pada tanggal: 1 Mei 2025
Yang menyatakan

(John Raymond)
198130079

ABSTRAK

Penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan untuk menyelidiki keausan yang terjadi pada material polimer *Polyformaldehyde* dan *Polytetrafluoroethylene* berdasarkan uji rig menggunakan roda gigi lurus. Metode yang digunakan pada pengujian ini adalah metode eksperimental. Pada pengujian kering, keausan roda gigi *polytetrafluoroethylene* di amati mengalami peningkatan yang signifikan dari penghilangan material keseluruhan sebanyak 11,26 g dan 12,51 g pada rasio 1 : 1 dan 1 : 0,75 secara berurutan pada 2 juta putaran dengan beban torsi 5,8 Nm, pada pengujian terlumasi, keausan yang terjadi terbalik dengan pengujian kering dimana hanya sebanyak 0,25 g dan 0,30 g material total yang berkurang pada rasio 1 : 1 dan 1 : 0,75 secara berurutan pada 2 juta putaran pada beban yang sama. Hal ini dapat dinyatakan bahwa penambahan pelumasan pada sistem kerja roda gigi akan meningkatkan kinerja dan umur roda gigi.

Kata Kunci: Keausan, Polimer, *Polyformaldehyde*, *Polytetrafluoroethylene*, Uji Rig, Roda Gigi



ABSTRACT

This research was conducted with the aim of investigating the wear that occurred on polymer materials Polyformaldehyde and Polytetrafluoroethylene based on rig testing using spur gears. The method used in this test was the experimental method. In dry testing, the wear on polytetrafluoroethylene gears was observed to have increased significantly, with total material loss reaching 11.26 g and 12.51 g at a 1:1 and 1:0.75 ratio respectively at 2 million rotations under a torque load of 5.8 Nm. In lubricated testing, the wear that occurred was the opposite of dry testing, where only 0.25 g and 0.30 g of total material were reduced at a 1:1 and 1:0.75 ratio respectively at 2 million rotations under the same load. This indicated that the addition of lubrication to the gear system would improve the performance and lifespan of the gear.

Keywords: *Wear, Polymer, Polyformaldehyde, Polytetrafluoroethylene, Rig Testing, Gear*



RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Binjai pada tanggal 29 Agustus 2001 dari Almarhum Kwok Siong dan Ibu Monica, penulis merupakan putra kedua dari tiga bersaudara.

Tahun 2018 penulis lulus dari SMA Methodist Binjai dan pada tahun 2019 terdaftar sebagai mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Medan Area.

Pada tahun 2022 penulis melaksanakan praktek kerja lapangan (PKL) di PT. SINARMAS MAKMUR JAYA.



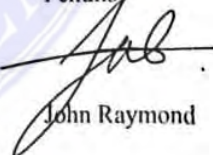
KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur penulis panjatkan kepada Tuhan yang Maha Kuasa atas segala karuniaNya sehingga skripsi ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian ini ialah Pengujian Spesimen dengan judul Penyelidikan Keausan Roda Gigi Lurus Akibat Variasi Bahan Dengan Kondisi Kering dan Terlumasi.

Terima Kasih penulis sampaikan kepada Dr.Eng. Rakhmad Arief Siregar, S.T., M.Eng., selaku pembimbing yang telah banyak memberikan saran. Disamping itu penghargaan penulis sampaikan kepada teman-teman di grup Uji Rig yang telah membantu penulis selama melaksanakan penelitian. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada ibu dan seluruh keluarga atas segala doa dan perhatiannya.

Penulis menyadari bahwa tugas akhri/ skripsi ini masih memiliki kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan tugas akhir/skripsi ini. Penulis berharap seminar proposal ini dapat bermanfaat baik untuk kalangan pendidikan maupun masyarakat. Akhir kata penulis ucapkan terima kasih.

Penulis



John Raymond

DAFTAR ISI

PENYELIDIKAN KEAUSAN RODA GIGI LURUS AKIBAT VARIASI BAHAN DENGAN KONDISI KERING DAN TERLUMASI.....	i
HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	iv
ABSTRAK.....	v
RIWAYAT HIDUP	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR NOTASI.....	ixiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Hipotesis Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Keausan	5
2.2 Roda Gigi	16
2.3 Polimer	24
2.4 Sistem Pelumasan.....	28
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	34
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	34
3.2 Alat dan Bahan	34
3.3 Metode Penelitian.....	39
3.4 Populasi dan Sampel	40
3.5 Prosedur Kerja.....	41
BAB VI HASIL DAN PEMBAHASAN	47
4.1 Hasil Pembuatan Spesimen Roda Gigi.....	47
4.2 Hasil Pengujian Keausan Roda Gigi	50

4.3. Pembahasan	56
BAB V SIMPULAN DAN SARAN	67
5.1. Simpulan.....	67
5.2. Saran.....	67
DAFTAR PUSTAKA.....	68
GAMBAR TEKNIK RODA GIGI LURUS 48 GIGI, MODUL 2.....	70
GAMBAR TEKNIK RODA GIGI LURUS 36 GIGI, MODUL 2.....	71



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Pengujian Keausan	13
Tabel 3.1. Rencana Jadwal Penelitian Skripsi.....	34
Tabel 3.2. Spesifikasi internal combustion engine.....	35
Tabel 3.3. Properti Spesimen	38
Tabel 3.4. Tabel spesifikasi oli shell SPIRAX S5 ATF X	39
Tabel 3.5. Tabel Sampel Spesimen	41
Tabel 4.1. Tabel Perencanaan Roda Gigi	48
Tabel 4.2. Parameter roda gigi OD 100 mm	50
Tabel 4.3. Parameter roda gigi OD 75mm	51
Tabel 4.4. Tabel massa spesimen sebelum pengujian	54
Tabel 4.5. Tabel massa spesimen pada pengujian 1:1 kondisi kering.....	54
Tabel 4.6. Tabel massa spesimen saat pengujian 1:0,75 kondisi kering	54
Tabel 4.7. Tabel massa pada pengujian keausan 1:1 kondisi terlumasi	55
Tabel 4.8. Tabel massa pada pengujian keausan 1:0,75 kondisi terlumasi	55
Tabel 4.9. Tabel keausan total pada pengujian 1:1 kering	58
Tabel 4.10. Tabel keausan total pengujian 1:0,75 kering.....	58
Tabel 4.11. Tabel keausan total pengujian 1:1 terlumasi	59
Tabel 4.12. Tabel keausan total pengujian 1:0,75 terlumasi	59
Tabel 4.13. Tabel kerusakan spesimen roda gigi rasio 1:1	63
Tabel 4.14. Tabel kerusakan spesimen roda gigi rasio 1:0,75.....	65



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. <i>Abresive Wear</i>	8
Gambar 2.2. <i>Two - Body Abrasion</i>	9
Gambar 2.3. <i>Three - Body Abrasion</i>	9
Gambar 2.4. <i>Erosive Wear</i>	10
Gambar 2.5. <i>Fatigue Wear</i>	10
Gambar 2.6. <i>Tribochemical Wear</i>	11
Gambar 2.7. <i>Adhesive Wear</i>	12
Gambar 2.8. <i>Fretting Wear</i>	12
Gambar 2.9. Pengujian <i>pin-on-disc</i>	14
Gambar 2.10. Pengujian <i>block-on-disc</i>	14
Gambar 2.11. Pengujian <i>disc-on-disc</i>	15
Gambar 2.12. Pengujian <i>4 balls</i>	15
Gambar 2.13. Pengujian <i>dry-sand, rubber wheel wear test</i>	16
Gambar 2.14. Roda Gigi Lurus.....	18
Gambar 2.15. <i>Nomenclature</i> Roda Gigi Lurus	18
Gambar 2.16. Istilah - Istilah Dalam Roda Gigi Lurus.....	19
Gambar 2.17. Roda Gigi Miring	21
Gambar 2.18. Roda Gigi Kerucut	22
Gambar 2.19. Roda Gigi Cacing.....	23
Gambar 2.20. a) <i>Gear Rack</i> , b) <i>Rack and Pinion</i>	23
Gambar 2.21. <i>Planetary Gear</i>	24
Gambar 2.22. POM (<i>polyformaldehyde</i>).....	27
Gambar 2.23. Teflon (<i>polyflouroethylene</i>).....	28
Gambar 2.24. Sistem Penyemprotan.....	32
Gambar 2.25. Pelumasan <i>Bath</i>	33
Gambar 3.1. Mesin uji keausan.....	35
Gambar 3.2. <i>Thermogun</i>	36
Gambar 3.3. <i>Tachometer</i>	36
Gambar 3.4. Timbangan digital	37
Gambar 3.5. Batangan POM	37
Gambar 3.6. Batangan Teflon	38
Gambar 3.7. Shell SPIRAX S5 ATF X <i>automatic transmission fluid</i>	39
Gambar 3.8. Diagram alir proses pembuatan spesimen roda gigi	41
Gambar 3.9. Alat potong roda gigi.....	42
Gambar 3.10. Diagram prosedur pengujian keausan spesimen roda gigi.....	43
Gambar 3.11. Diagram Alir Penelitian.....	46
Gambar 4.1. Mesin <i>Milling</i>	49
Gambar 4.2. Roda Gigi <i>Polyformaldehyde</i>	49
Gambar 4.3. Roda Gigi <i>Polytetrafluoroethylene</i>	50
Gambar 4.4. Grafik Temperatur pengujian 1:1 dalam kondisi kering	51
Gambar 4.5. Grafik Temperatur pengujian 1:0,75 dalam kondisi kering	52

Gambar 4.6. Grafik Temperatur pengujian 1:1 kondisi terlumasi	52
Gambar 4.7. Grafik pengujian 1:0,75 kondisi terlumasi.....	53
Gambar 4.8. Grafik pengujian roda gigi driver terhadap temperatur	56
Gambar 4.9. Grafik pengujian roda gigi driven terhadap temperatur	57
Gambar 4.10. Grafik keausan roda gigi rasio 1:1 kondisi kering	60
Gambar 4.11. Grafik keausan roda gigi rasio 1:0,75 kondisi kering	60
Gambar 4.12. Grafik keausan roda gigi rasio 1:1 kondisi terlumasi	61
Gambar 4.13. Grafik keausan roda gigi rasio 1:0,75 kondisi terlumasi	61



DAFTAR NOTASI

F_s	Gaya gesek statis	N
μ_s	Koefisien gaya gesek statis	
w	Gaya normal/beban	N
F_k	Gaya gesek kinetik	N
μ_k	Koefisien gaya gesek kinetik	
F_{rr}	Gaya gesek bergelindir	N
μ_{rr}	Koefisien gaya gesek bergelindir	
V	Volume keausan	m^3
K	Koefisien keausan	
L	Jarak gesekan	m
H_v	<i>Hardness</i> permukaan lunak	
A_1	Luas penampang setelah keausan	m^2
A_0	Luas penampang sebelum keausan	m^2
m	Modul	mm
D_p	Diameter pitch	mm
z_1	Jumlah roda gigi pertama	
z_2	Jumlah roda gigi kedua	
p	Pitch circle	mm
R_1	Putaran roda gigi pertama	rpm
R_2	Putaran roda gigi kedua	rpm
m_0	Massa awal	kg
m_1	Massa sesudah pengujian	kg



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Dengan perkembangan teknologi dunia yang berawal dari penggunaan tenaga manusia untuk melakukan suatu kerja hingga penggunaan tenaga uap (*Steam Engine*) pada zaman revolusi industri dan pada saat ini penggunaan AI (*Artificial Intellegent*) dan penggabungan ilmu mekatronika dengan tujuan mengotomatiskan beberapa pekerjaan manusia.

Salah satu faktor peningkatan teknologi dunia adalah pemilihan material dalam mengdesain suatu mesin. Material dalam teknik dibagi menjadi empat jenis yaitu *metals*, *ceramics*, *polymers* dan *composites*. Pentingnya pemilihan material saat membuat mesin dapat dilihat kembali pada kejadian 1986 kehancuran *space shuttle* NASA yang dikarenakan kegagalan O-ring yang menyebabkan 7 astronot kehilangan nyawanya.

Pada penelitian ini penulis akan mengfokuskan polimer sebagai material yang digunakan dalam membuat spesimen percobaan khususnya polimer *polyformaldehyde* dan polimer *polytetraflouroethylene* dikarenakan kedua jenis polimer memiliki sifat tribologi yang bagus, memiliki densitas yang rendah, kekuatan tinggi, kekokohan tinggi, dan relatif murah daripada *metal*.

Penulis menggunakan material polimer dikarenakan penggunaan polimer sudah mulai menyebar dimana-mana sebagai contohnya pada bidang industri yang menggunakan *robothand* pada proses produksi dimana pada ujung genggam tangan robot digunakan polimer untuk mengangkat benda yang kecil, pemilihan material ini termasuk hal yang genius, apabila genggam tangan robot digunakan

material *metal* maka benda atau produk yang diangkat dapat mengalami kerusakan gesekan pada permukaan produk.

Contoh lainnya adalah pada kabel internet yang menyebar ke seluruh dunia melalui jalur air laut, kabel internet ini memiliki inti optik yang dilindungi oleh beberapa lapisan polimer dan *metal*, besar dari kabel optik itu sendiri memiliki berbagai jenis dari 20mm, 50mm hingga 100mm apabila bersama dengan pelindungannya, lapisan terluar dari kabel optik adalah polimer *polyamide* atau *polyethylene* yang bertujuan untuk melindungi kabel dari lingkungan buruk dibawah lautan.

Spesimen pengujian yang digunakan penulis adalah polimer roda gigi yang akan diuji menggunakan mesin RIG dan mesin uji tarik untuk mengetahui sifat dan banyak keausan yang terjadi dan kekuatan material dari polimer.

Penggunaan roda gigi sudah ada dimana – mana seperti perusahaan produksi makanan, otomotif, penerbangan dan elektronik, dimana penggunaan roda gigi lebih dominan pada bidang otomotif. Fungsi dari penggunaan roda gigi dapat berupa meneruskan energi, merendahkan pemutaran, meningkatkan pemutaran roda, dan meningkatkan torsi. Namun penggunaan roda gigi tidak terhindari dari keausan pada saat dijalankan dalam siklus yang tinggi.

Keausan adalah hasil dari kehilangan material dari dua permukaan yang saling bersentuhan dimana terjadi dikarenakan dari berbagai mekanisme seperti abrasif, adesif dan proses erosi dengan mekanisme abrasif lebih sering ditemukan pada suatu sistem mesin. (Jens S.K. Jensen, 2023) kecelakaan kerja dapat terjadi apabila roda gigi sudah mengalami keausan yang parah dan mesin mengalami

failure yang menyebabkan perusahaan akan kehilangan banyak uang dalam membeli atau memperbaiki mesin produksi.

Menurut buku *Tribology Engineer*, bahwa *United Kingdom* menghemat sebanyak £515 juta per *annum* pada tahun 1966, dan pada 1976 German Barat mengalami kerugian ekonomi diperkirakan sebanyak 10 Miliar *Deutsche Mark* (DM) per *annum* dikarenakan keausan (Gwidon W. Stachowiak, 1993). Dengan data diatas dapat dilihat bahwa mengendalikan keausan mesin seperti menggunakan pelumas minyak memiliki peran penting dalam sebuah industri/perusahaan.

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah :

- a. Bagaimana pengaruh keausan roda gigi pada bahan polimer yang berbeda?
- b. Bagaimana cara mengidentifikasi keausan pada roda gigi lurus dari bahan polimer dalam kondisi kering dan terlumasi?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan Penelitian berfungsi agar pembahasan penelitian lebih terarah dan tidak menyimpang dari topik yang telah dipilih oleh penulis. Berikut adalah tujuan dari penelitian ini :

- a. Membuat spesimen roda gigi lurus dengan variasi bahan untuk pengujian keausan pada kondisi kering dan terlumasi.
- b. Menguji keausan spesimen roda gigi lurus dengan variasi bahan pada kondisi kering dan terlumasi.

- c. Menganalisis pengaruh putaran yang bervariasi terhadap uji keausan spesimen roda gigi lurus pada bahan bervariasi dengan kondisi kering dan terlumasi.

1.4 Hipotesis Penelitian

Berikut Hipotesis penelitian ini adalah :

- a. Terdapat pengaruh keausan yang berbeda antara material teflon dan *polyformaldehyde* terhadap pengujian keausan.
- b. Terdapat hubungan antara beban berbeda dan keausan spesimen roda gigi.
- c. Terdapat perbedaan keausan dengan banyak sirkus uji yang dilakukan pada spesimen roda gigi.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah :

- a. Sebagai referensi bagi peneliti yang melakukan penelitian berkaitan dengan topik ini.
- b. Sebagai masukan bagi industri atau lembaga yang berkepentingan dengan perkembangan material *polytetrafluoroethylene* dan *polyformaldehyde*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Keausan

Ilmu yang mempelajari tentang keausan, lubrikasi, gesekan antara kedua benda adalah ilmu *Tribology*. Kata *tribology* berasal dari bahasa Yunani "*Tribos*" yang berarti gesekan (*rubbing or sliding*). Keausan adalah pengurangan luas penampang material yang disebabkan oleh gesekan (*Friction*), dimana keausan merupakan salah satu faktor pengurangan efektivitas dari mesin yang dimana energi hasil gesekan akan terbuang menjadi energi panas. (Gwidon W. Stachowiak, 1993) Berikut adalah rumus sederhana untuk menghitung keausan yang terjadi pada suatu spesimen. (R. A. Siregar, 2019)

$$Keausan = \frac{A_0 - A_1}{A_0} 100\% \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana : A_1 : Luas Penampang setelah keausan (mm^2)

A_0 : Luas Penampang sebelum keausan (mm^2)

Namun apabila geometri benda tersebut tidak seperti kubus, oval ataupun bulat maka luas penampang dari spesimen susah untuk diketahui, dalam pengertian keausan dikatakan bahwa keausan adalah kehilangan material, maka rumus berikut juga dapat digunakan. (R. A. Siregar, 2019)

$$Keausan = \frac{m_0 - m_1}{m_0} 100\% \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana : m_0 : Massa sebelum keausan (g)

m_1 : Massa setelah keausan (g)

Dengan menggunakan rumus diatas ketelitian dalam mengukur keausan akan lebih tinggi apabila spesimen memiliki geometri yang sulit untuk dihitung.

2.1.1. Gesekan (*friction*)

Gesekan adalah resistansi yang dihasilkan dari kedua permukaan yang saling bersentuhan, sebuah permukaan yang halus memiliki gaya gesek yang lebih kecil dan permukaan yang kasar memiliki gaya gesek yang lebih besar, namun secara realistik sebuah semua permukaan akan memiliki *asperities* yang berarti seberapa halus sebuah permukaan akan tetap ada permukaan yang kasar dalam skala micro. gesekan dibagi menjadi gaya gesek statis, gaya gesek kinetik, *rolling friction*, gaya gesek *pivot* dan *belt*:

1. Gaya Gesek Statis

Gaya gesek statis adalah gaya gesek yang dihasilkan oleh kedua permukaan benda yang tidak saling bergerak. Nilai dari gaya gesek ini berbeda-beda tergantung dengan gaya yang diperlukan untuk mencegah benda bergerak, rumus dari gaya gesek statis adalah :

$$F_s = \mu_s N \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana : F_s : Gaya Gesek Statis (N)
 μ_s : Koefisien Gaya Gesek Statis
 N : Gaya Normal/Beban (N)

Koefisien gaya gesek adalah rasio dari batasan gaya gesek maksimum dengan gaya normal, dengan mengubah rumus diatas maka didapatkan untuk koefisien gaya gesek adalah :

$$\mu_s = \frac{F_k}{N} \dots\dots\dots(2.4)$$

2. Gaya Gesek Kinetik

Gaya gesek kinetik adalah gaya gesek yang timbul ketika kedua permukaan benda saling bergerak berlawanan arah. Rumus untuk gaya gesek kinetik adalah.

$$F_k = \mu_k N \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana : F_k : Gaya Gesek Kinetik (N)
 μ_k : Koefisien Gaya Gesek Kinetik
 N : Gaya Normal (N)

dan rumus koefisien gaya gesek kinetik

$$\mu_k = \frac{F'}{N} \dots\dots\dots(2.6)$$

3. *Rolling Friction*

Rolling friction adalah gesekan yang terjadi ketika sebuah benda dengan geometri bola (*sphere*) bergelindir pada sebuah permukaan. Berikut adalah rumus *rolling friction*. (Britannica, 1998)

$$F_{rr} = \mu_{rr} N \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana : F_{rr} : Gaya Gesek Bergelindir (N)
 μ_{rr} : Koefisien Gaya Gesek *rolling*
 N : Gaya Normal (N)

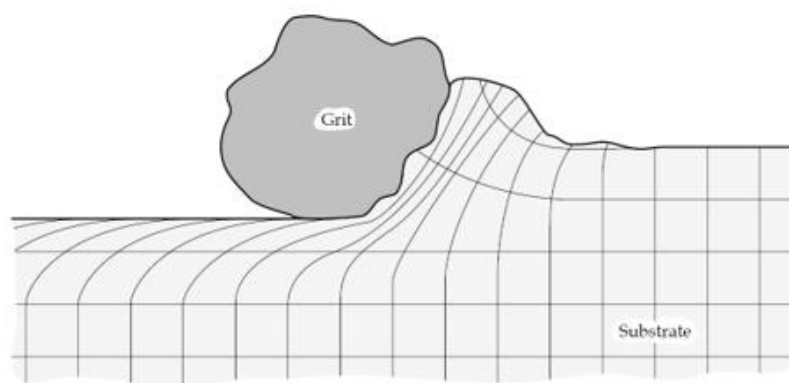
2.1.2. Hukum Gesekan untuk Permukaan Kering

1. Gesekan antara kedua benda saling berbanding lurus dengan tekanan; koefisien gesekan memiliki nilai konstan untuk seluruh tekanan.
2. Koefisien dan besar gesekan untuk tekanan tertentu tidak bergantung dengan luas area kontak.
3. Koefisien gesekan tidak bergantung dengan kecepatan relatif. (Kutz, 2009)

2.1.3. Jenis-jenis Keausan

Berikut adalah jenis – jenis keausan :

1. *Abresive Wear*

Gambar 2.1. *Abrasive Wear*

Abrasive wear adalah kehilangan material pada permukaan benda yang disebabkan oleh pemotongan dari material yang lebih keras terhadap material yang lebih lunak. *Abrasive wear* dibagi menjadi dua jenis yaitu *two-body abrasion* dan *three-body abrasion*. *Two-body abrasion* terjadi ketika partikel-partikel kecil dari material keras menggosok (*rubbing*) material lunak, dengan partikel – partikel material keras masih menempel, berbeda dengan *three-body abrasion* dimana partikel – partikel kecil lepas dari material kasar dan bergerak secara bebas pada saat benda mengalami gesekan. Rumus untuk volume keausan *abrasive* dapat ditulis dengan :

$$V = K \frac{wL}{H_v} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana: V : Volume keausan (m³)

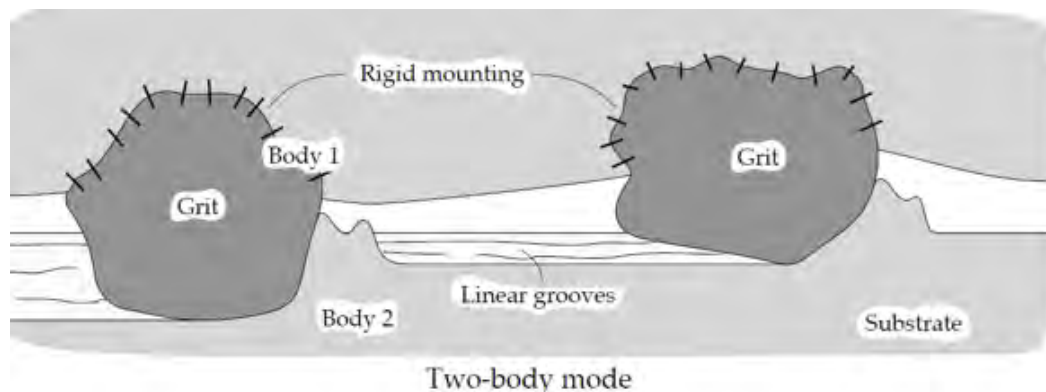
 K : Koefisien keausan

 w : Berat beban (N)

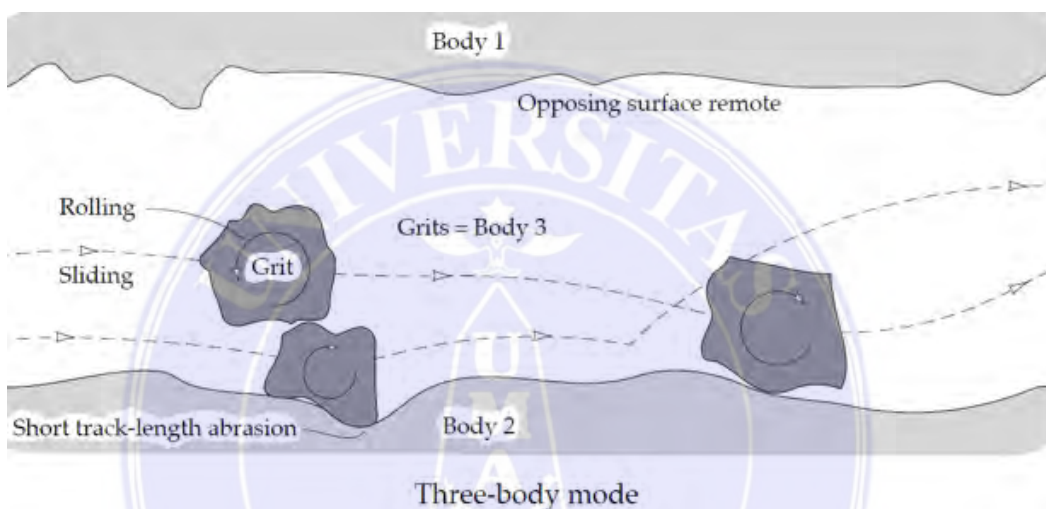
 L : Jarak gesekan (m)

 H_v : *Hardness* dari permukaan lebih lunak

Berikut adalah bentuk dan gambar dari kedua keausan tersebut yakni keausan *Two-Body*.



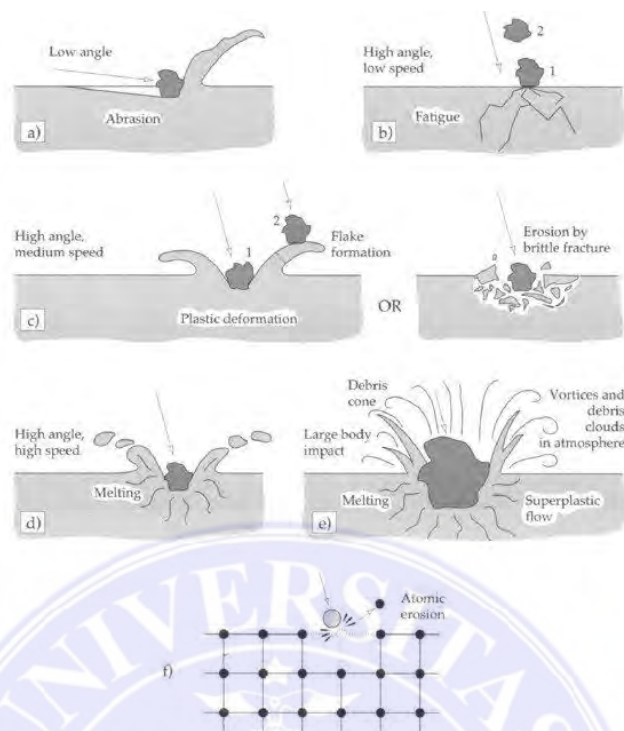
Gambar 2.2. *Two - Body Abrasion*



Gambar 2.3. *Three - Body Abrasion*

2. *Erosive Wear*

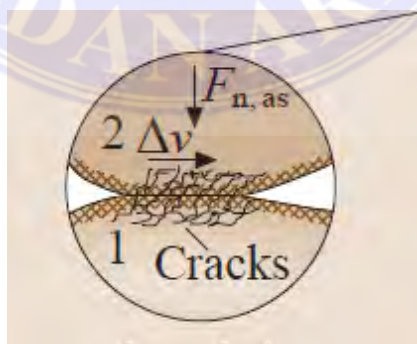
Erosive wear adalah jenis dari keausan *abrasive* yang dihasilkan ketika adanya impak atau pemotongan partikel-partikel keras yang terbawa oleh gas atau fluida. Umumnya terjadi pada turbin, pompa, pemipaan dan *valves*. Beberapa faktor yang mempengaruhi besarnya keausan *erosive* seperti kekerasan dari partikel, kecepatan partikel dan *angle of attack* dari partikel-partikel tersebut.



Gambar 2.4. Erosive Wear

3. Fatigue Wear

Fatigue wear terjadi pada material yang mengalami pelemahan dikarenakan siklus beban yang berulang-ulang yang menyebabkan material mengalami *microcrack* dan pelebaran retakan hingga material mengalami *fracture failure*. (Straffelini, 2015)



Gambar 2.5. Fatigue Wear

4. Tribochemical Wear

Tribochemical Wear terjadi ketika kedua material bergesekan bereaksi secara kimiawi dengan pelumas atau dengan oksigen pada lingkungannya dan

membentuk oksidasi. Ada dua faktor yang meningkatkan pembentukan *tribochemical wear*:

- a. Kecepatan *sliding* yang cepat dari kedua material bergesekan.
- b. Ketika permukaan area bersentuhan mengalami kenaikan temperatur yang tinggi. (Straffellini, 2015)

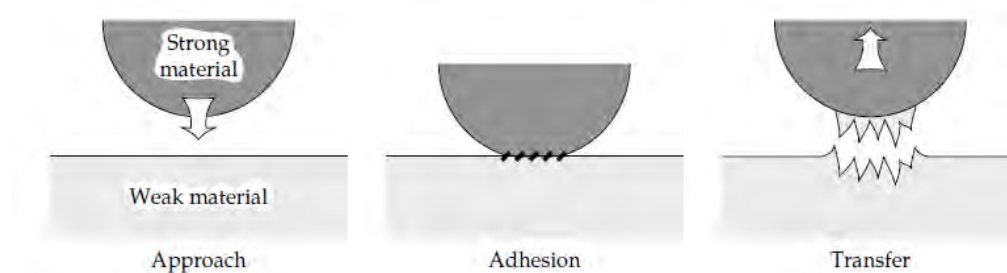


Gambar 2.6. *Tribochemical Wear*

5. *Adhesive Wear*

Adhesive wear terjadi ketika sebuah permukaan bergesekan dengan permukaan lain dengan tekanan yang besar dan menyebabkan fenomena *plastic deformation* pada area kecil permukaan dan mengalami *welding*, dengan terjadinya *bonding* apabila terjadi gaya luar maka area yang mengalami *adhesive* akan terlepas dan material yang lunak akan mengikat ke material yang lebih keras.

Fenomena lain yang terjadi pada *adhesive wear* dikenal sebagai *scuffing* yang terjadi pada kondisi lubrikasi dimana ketebalan dari fluida tidak mencukupi untuk menghindari kontak dari kedua permukaan material saling bersentuhan yang menyebabkan kedua material saling bersentuhan dan saling bergesekan, Dimana keausan dapat terjadi. (Heinemann, 1998) rumus perhitungan keausan *adhesive* melalui volume dapat dilihat dapat rumus 2.7.



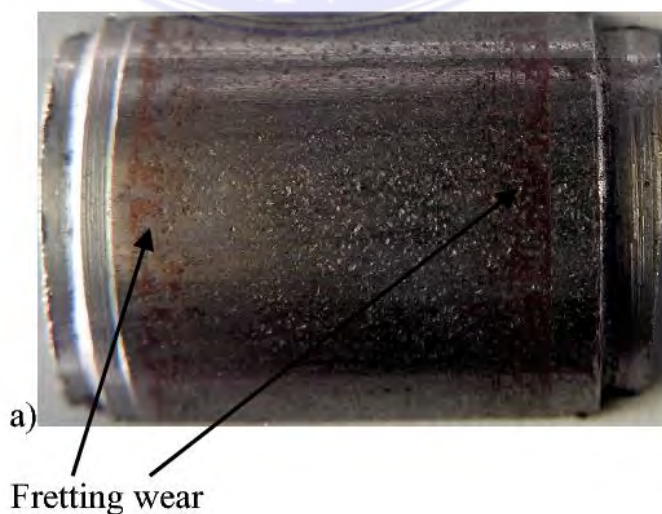
Gambar 2.7. *Adhesive Wear*

6. *Fretting Wear*

Fretting wear adalah jenis keausan yang terjadi pada permukaan material yang disebabkan oleh osilasi yang berulang-ulang pada permukaan yang saling bersentuhan dikarenakan getaran yang terjadi pada material dalam frekuensi rendah.

Fretting wear adalah salah satu fenomena yang kompleks dalam ilmu tribologi dikarenakan proses terjadinya *fretting wear* meliputi dengan berbagai jenis keausan lainnya seperti *adhesive*, *corrosive*, *abrasive* dan *fatigue*. (KOWALSKI, 2018)

Penyebab dari keausan ini dapat dipengaruhi oleh 1) bagaimana kedua material saling bersentuhan, 2) properti fisik, mekanika, dan kimia juga mempengaruhi terjadinya keausan fretting, dan 3) kondisi lingkungan. Berikut adalah gambar dari *fretting wear*.



Gambar 2.8. *Fretting Wear*

2.1.4. Pengujian Keausan

Dengan banyaknya jenis keausan yang terjadi dan kompleksnya fenomena keausan seperti keausan *fretting* dan faktor- faktor penyebab keausan maka pengujian dalam lapangan diperlukan.

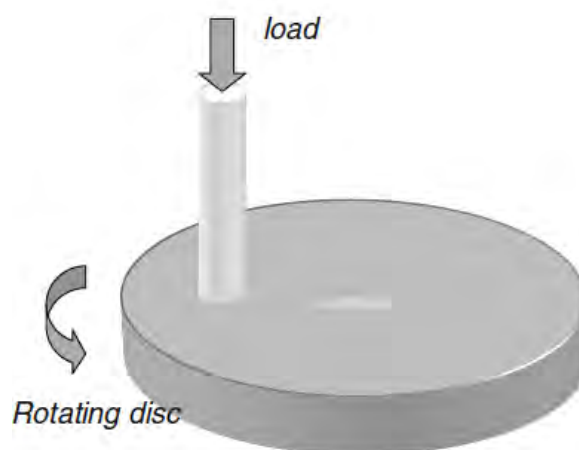
Berikut adalah pengujian yang dapat dilakukan untuk mengetahui bagaimana material mengalami keausan dengan material yang berbeda dan pada kondisi pengujian yang berbeda. (Straffelini, 2015)

Tabel 2.1. Pengujian Keausan

Mesin Penguji	Proses Simulasi Keausan	Mekanisme Keausan
<i>Pin-on-disc</i>	<i>Sliding wear</i>	<i>Adhesive wear,</i> <i>Tribochemical wear</i>
<i>Block-on-ring</i>	<i>Sliding wear</i>	<i>Adhesive wear,</i> <i>Tribochemical wear</i>
<i>Disc-on-disc</i>	<i>Rolling-sliding wear</i>	<i>Fatigue wear</i> <i>Adhesion wear</i>
<i>4-Balls</i>	<i>Rolling wear</i>	<i>Fatigue wear</i>
<i>Dry-sand, rubber-wheel wear test</i>	<i>Low stress abrasion</i>	<i>Abrasion wear</i>

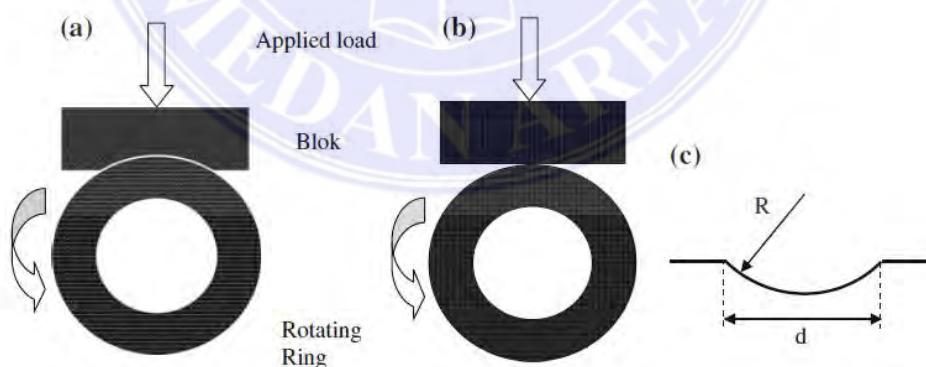
1. *Pin-on-disc*

Pengujian ini menggunakan sebuah spesimen yang dibentuk menjadi silinder dengan diameter beberapa milimeter dan ditekan pada sebuah piringan berputar. Pengujian ini distandarisasi pada ASTM G99-95. Berikut adalah gambar dari pengujian keausan *Pin-on-disc*.

Gambar 2.9. Pengujian *pin-on-disc*

2. *Block-on-disc*

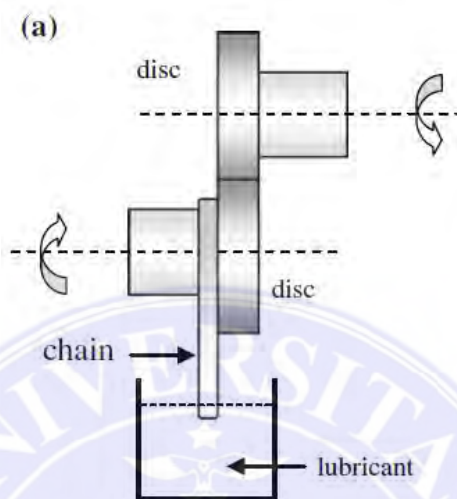
Dalam pengujian ini sebuah balok spesimen akan ditekan pada sebuah ring dengan ketebalan yang ditentukan, pengujian ini hampir serupa dengan pengujian *pin on disc* namun pengujian ini lebih dipilih dikarenakan kontak area pengujian ini lebih besar dan pengujian ini juga mampu menguji keausan berlubrikasi seperti keausan *scuffing*. Pengujian ini distandarisasi pada ASTM G77-93. Berikut adalah gambar dari pengujian *block-on-disc*.

Gambar 2.10. Pengujian *block-on-disc*

3. *Disc-on-disc*

Pengujian ini menggunakan dua piringan spesimen yang diletakkan seperti pada roda gigi lurus dan berputar dengan *cycle* yang ditentukan, pengujian ini dapat

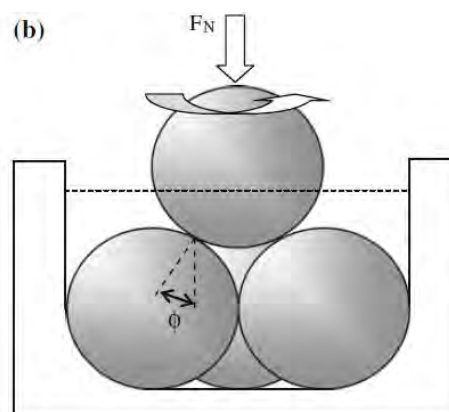
dilakukan dengan menggunakan pelumasan dan juga tanpa menggunakan pelumasan. Pengujian *disc-on-disc* juga dikenal dengan pengujian *twin disc*. Berikut adalah gambar dari pengujian *disc-on-disc*.



Gambar 2.11. Pengujian *disc-on-disc*

4. 4 balls

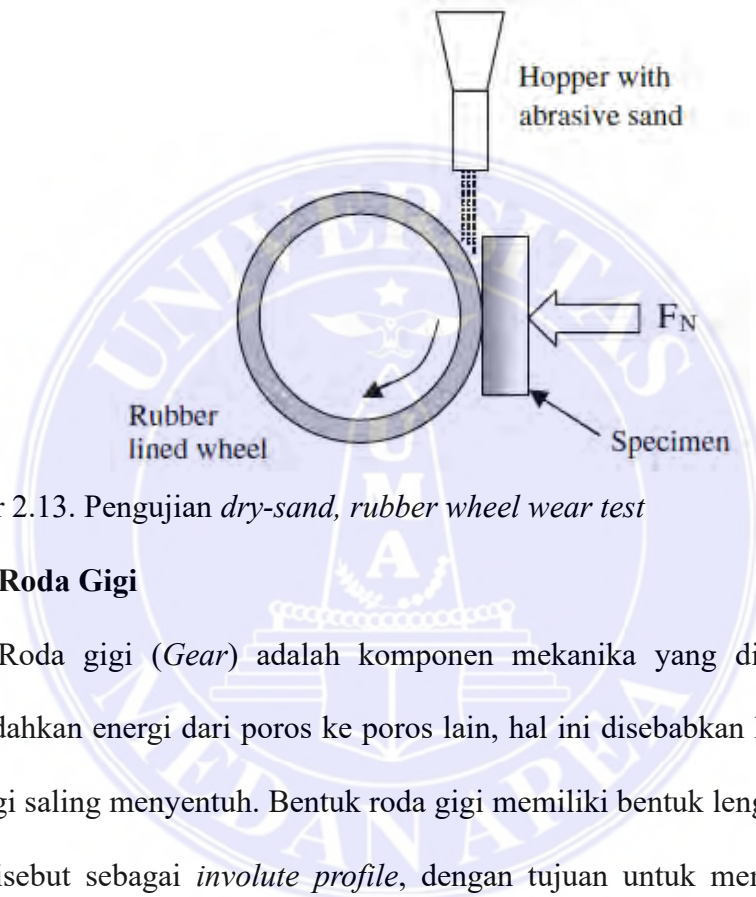
Pengujian *4 balls* dilakukan dengan menggosokkan sebuah bola pada 3 bola lain yang tidak bergerak dalam kondisi ketiga bola tersebut terendam pelumas, pengujian ini secara umum dilakukan untuk mengetahui properti dari pelumas. Pengujian *4 balls* atau dikenal dengan *4 balls tribometer* telah distandarisasi pada ASTM D4172 untuk pelumasan oli dan ASTM D2266 untuk pelumasan gemuk. Berikut adalah gambar pengujian *4 balls*.



Gambar 2.12. Pengujian *4 balls*

5. *Dry-sand, rubber wheel wear test*

Pengujian ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui bagaimana sifat material dalam kondisi lingkungan *low stress abrasion*. Pengujian ini distandarisasi pada ASTM G65 dan ASTM B611 (untuk kondisi *slurry*). Berikut adalah gambar dari pengujian *dry-sand, rubber wheel wear test*.



Gambar 2.13. Pengujian *dry-sand, rubber wheel wear test*

2.2. Roda Gigi

Roda gigi (*Gear*) adalah komponen mekanika yang digunakan untuk memindahkan energi dari poros ke poros lain, hal ini disebabkan karena gigi dari roda gigi saling menyentuh. Bentuk roda gigi memiliki bentuk lengkungan khusus yang disebut sebagai *involute profile*, dengan tujuan untuk meminimalisasikan keausan dan gesekan pada roda gigi. (P.Groover, 1996) penggunaan roda gigi sudah berada dimana – mana dimulai dari bidang otomotif yang menggunakan roda gigi dalam sistem transmisi hingga pada jam tangan yang menggunakan roda gigi untuk mengatur waktu dengan akurasi yang bagus.

Penggunaan roda gigi bertujuan untuk :

- a. Memindahkan energi dari roda gigi pertama ke roda gigi kedua.
- b. Meningkatkan atau merendahkan putaran roda gigi.

- c. Meningkatkan torsi pada sistem roda gigi.
- d. Pada sistem pompa, roda gigi digunakan untuk memindahkan fluida dari satu tempat ketempat lain seperti pada *Internal* atau *External gear pump*.

Roda gigi dapat dimanufaktur dengan material besi yang memiliki keuntungan mampu beroperasi dalam kondisi beban yang berat dan juga dapat dimanufaktur dengan material polimer yang memiliki keuntungan lebih ekonomis dibanding dengan besi. (Jonathan Wicker, 2004)

2.2.1. Jenis-jenis Roda Gigi

Secara umum roda gigi dibagi menjadi : 1) Roda Gigi Lurus, 2) Roda Gigi Miring, 3) Roda Gigi Kerucut, 4) Roda Gigi Cacing dan beberapa kombinasi dari berbagai roda gigi seperti *rack and pinion* dan *planetary gear*, dan berbagai bentuk roda gigi *custom* untuk mendapatkan kinematik dan dinamika yang diinginkan.

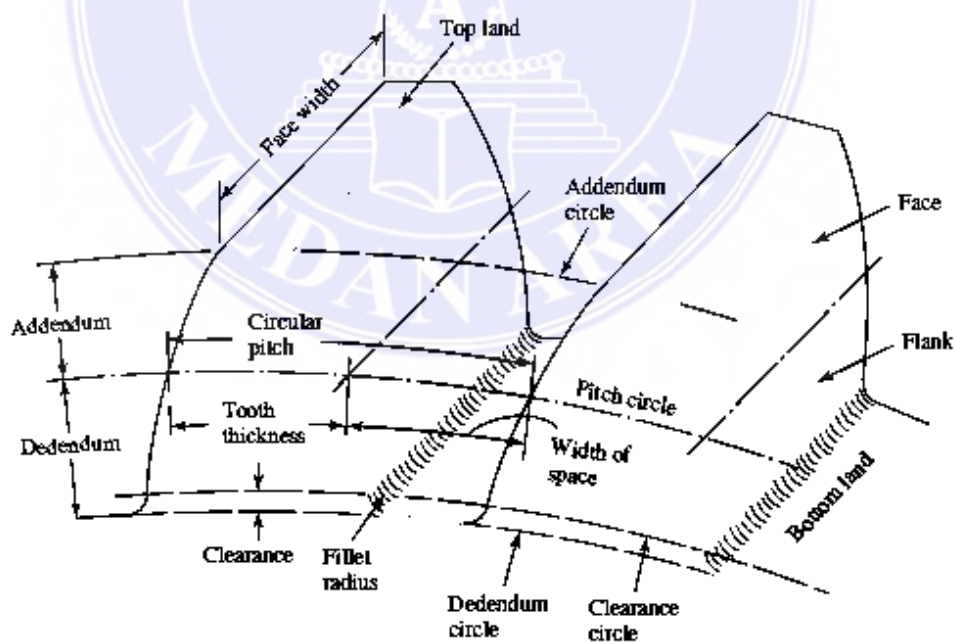
1. Roda Gigi Lurus

Roda gigi lurus atau *spur gear* adalah contoh sederhana dari sebuah roda gigi. Roda gigi lurus memiliki arah gigi yang *parallel* dengan arah porosnya. Dengan adanya dua atau lebih roda gigi yang saling berhubungan maka sistem roda gigi tersebut disebut sebagai *Gearset* atau *Geartrain* (Jonathan Wicker, 2004). Berikut adalah gambar dari roda gigi lurus.

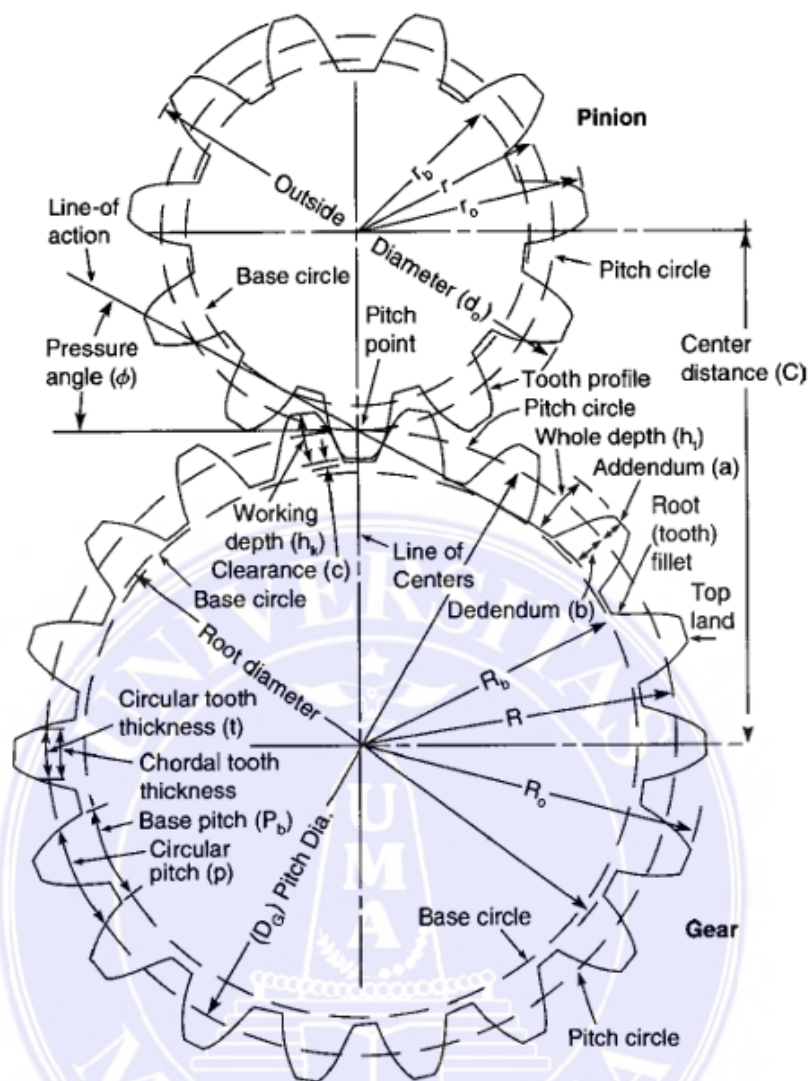


Gambar 2.14. Roda Gigi Lurus

Berikut adalah istilah – istilah dalam roda gigi lurus. (A.Avallone, III, & M.Sadegh, 1916)



Gambar 2.15. *Nomenclature* Roda Gigi Lurus



Gambar 2.16. Istilah - Istilah Dalam Roda Gigi Lurus

- a. *Pitch Circle* adalah lingkaran rekayasa dimana roda gigi saling menyinggung.
- b. *Pitch Diameter* adalah diameter pitch dari roda gigi.
- c. *Circular Pitch* adalah jarak dari satu titik gigi roda ke titik terdekat gigi berikutnya sehingga jumlah circular pitch adalah ketebalan gigi ditambah dengan ruangan kosong yang memisahkan gigi dengan gigi selanjutnya.
- d. *Module* adalah ratio dari *Diameter Pitch* dengan jumlah gigi. Umumnya ditulis dengan satuan *Metrics*.

- e. *Diametral Pitch* adalah ratio dari banyaknya jumlah gigi untuk setiap 1 inci *Diameter Pitch*, pengertian ini bertimbal balik dengan pengertian *Module*. Umumnya ditulis dengan satuan *teeth per inch*.
- f. *Addendum* adalah jarak dari ujung gigi ke *Pitch Circle*.
- g. *Dedendum* adalah jarak dari pangkal/bawah gigi ke *Pitch Circle*.
- h. *Whole depth* adalah jarak *addendum* ditambah dengan *dedendum*. (Richard G Budynas, 2011)

Berikut adalah beberapa rumus untuk menghitung roda gigi lurus. (Richard G Budynas, 2011)

- a. *Module*

$$m = \frac{D}{z} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana: m : *Module* (mm)
D : *Diameter Pitch* (mm)
Z : Jumlah Gigi

- b. *Diameter Luar*

$$D_{out} = D_{pitch} + 2m \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana: *D_{out}* : *Diameter luar* (mm)
m : *Module* (mm)
D_{pitch} : *Diameter Pitch* (mm)

- c. *Ratio Pemutaran*

$$z_1 r_1 = z_2 r_2 \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana: *z₁* : Jumlah roda gigi pertama
r₁ : Putaran roda gigi pertama
z₂ : Jumlah roda gigi kedua

r_2 : Putaran roda gigi kedua

d. *Addendum*

$$\text{Addendum} = 1,25m \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana : m : *module* (mm)

e. *Dedendum*

$$\text{Dedendum} = m \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana : m : *module* (mm)

2. Roda Gigi Miring

Roda gigi miring juga dikenal dengan *helical gear* adalah roda gigi yang hampir serupa dengan roda gigi lurus namun yang membedakan roda gigi miring dengan roda gigi lurus adalah gigi pada roda gigi miring dibuat pada sudut yang ditentukan oleh standard pembuatan. (Jonathan Wicker, 2004)

penggunaan jenis roda gigi ini memiliki keunggulan seperti *low noise* dan getaran yang lebih sedikit dimana masalah ini sering muncul ketika penggunaan roda gigi lurus. (Jonathan Wicker, 2004).



Gambar 2.17. Roda Gigi Miring

3. Roda Gigi Kerucut

Roda gigi kerucut atau *bevel gear*, berbeda dengan roda gigi lurus dan kerucut dimana poros roda gigi dipasang secara *parallel* namun untuk roda gigi kerucut poros akan dipasang pada sudut kemiringan dengan poros *axis* yang saling berpotongan. (Richard G Budynas, 2011) aplikasi dari roda gigi kerucut banyak ditemukan pada bidang – bidang transportasi seperti gardan mobil dan truk, pada industri – industri, hingga penggunaan *powertool* ditemukan roda gigi ini.

Bentuk roda gigi kerucut dibagi menjadi beberapa jenis yaitu a) *Straight Bevel Gear*, b) *Spiral Bevel Gear*, c) *Zerol Bevel Gear*, d) *Hypoid Bevel Gear*, e) *Spiroid Bevel Gear* (Richard G Budynas, 2011)



Gambar 2.18. Roda Gigi Kerucut

4. Roda Gigi Cacing

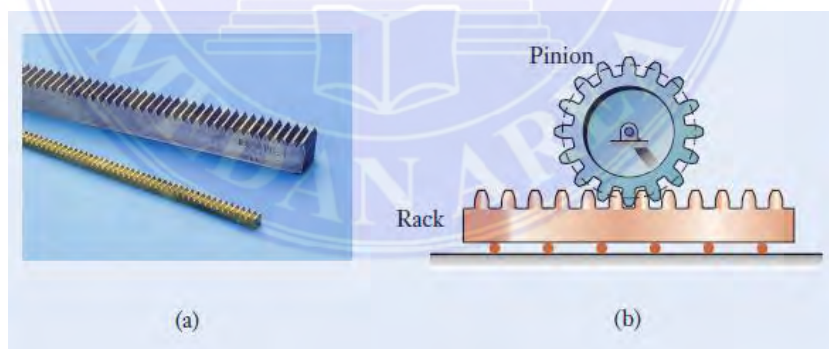
Roda gigi cacing dikenal juga dengan *Worm Gear*, umunya penggunaan roda gigi ini biasanya adalah untuk mereduksi putaran roda gigi secara signifikan. (R. A. Siregar, 2019) Dengan bentuk gigi dari roda gigi cacing tidak *involute* maka keausan dan gesekan yang dialami oleh roda gigi cacing lebih tinggi dari roda gigi lainnya. (Jonathan Wicker, 2004)



Gambar 2.19. Roda Gigi Cacing

5. *Rack and Pinion*

Rack and Pinion adalah jenis roda gigi yang digunakan untuk mengubah Gerakan rotasi menjadi gerakan translasi, beberapa aplikasi roda gigi ini dapat ditemukan pada gerakan meja kerja pada mesin *milling* dan *grinding* dan juga pada bidang otomotif. Bentuk dari *rack and pinion* dapat dilihat pada Gambar 2.6.

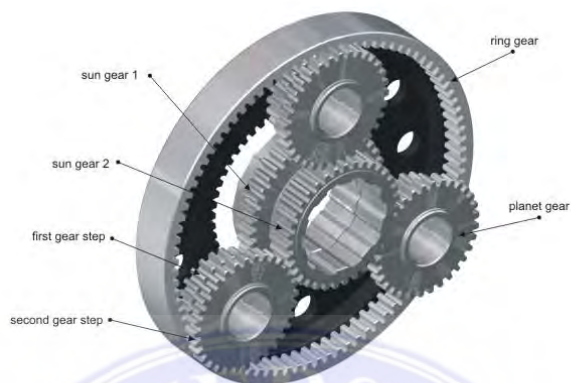


Gambar 2.20. a) Gear Rack, b) Rack and Pinion

6. *Planetary Gear*

Planetary gear adalah kombinasi dari berbagai roda gigi sehingga membentuk roda gigi yang menyerupai matahari dan planet. Keuntungan penggunaan *planetary gear* adalah ukurannya yang *compact*, *output* torsi yang

relatif tinggi dari roda gigi lainnya, akurasi yang tinggi pada jam, menghasilkan getaran dan *noise* yang rendah.



Gambar 2.21. *Planetary Gear*

2.3. Polimer

Polimer dan beberapa dari komposit yang berbasis material polimer mulai digunakan secara luas dari sebelumnya. Hal ini disebabkan karena kekuatan yang tinggi, densitas yang rendah, ketahanan dari korosi, peredam kejut yang tinggi dan peforma tribologi dari polimer ini yang membuat material polimer menjadi kalangan menarik dalam dunia teknisi. Roda gigi polimer sering digunakan pada sistem transimisi kekuatan rendah seperti *printer* dan mesin jahit. (Yu, LIU, MAO, ZHU, & LU, 2020)

Polimer adalah material yang tersusun dari rantai – rantai panjang molekul yang memiliki berat molekul yang besar dan tersusun secara berulang – ulang dengan senyawa utama umumnya adalah *carbon*. *Carbon* adalah senyawa yang mampu berikat dengan senyawa lainnya seperti hidrogen, oksigen, *chlorine*, *flourine*, nitrogen. (Jonathan Wicker, 2004) Polimer dibagi menjadi tiga jenis yaitu *Thermoplastic*, *Thermosetting* dan *Elastromer*.

Thermoplastic adalah polimer yang bersifat *solid* pada suhu ruangan dan akan berubah ke fluida berviskositas tinggi apabila dipanaskan, dikarenakan sifat ini polimer *thermoplastic* mudah untuk di bentuk menjadi geometri yang diinginkan. Dengan siklus pemanasan dan pendinginan *thermoplastic* mengalami degradasi yang tidak terlalu tinggi.

Thermosetting adalah polimer yang berawal pada fase fluida namun dengan pendinginan polimer akan mengalami pengerasan dan apabila polimer dipanaskan maka polimer akan mengalami degradasi. Sedangkan *Elastromer* adalah polimer yang mampu mengalami elastisitas yang tinggi hingga berlipat – lipat kali dari ukuran awal polimer. (P.Groover, 1996)

Dengan penggunaan material polimer ada beberapa keuntungan dan kekurangan dalam penggunaan material ini, keuntungan dalam penggunaan material ini adalah :

- a. Polimer mudah untuk di bentuk pada geometri yang diinginkan.
- b. Memiliki rasio berat dan kekuatan yang bagus, isolasi listrik yang baik, dan tidak mengalami korosi.
- c. Secara volumetrik, biaya polimer bersaing dengan besi.
- d. Secara volumetrik, produksi polimer lebih mudah dilakukan dikarenakan keperluan energi lebih rendah dibandingkan *metal* dan keramik.
- e. Beberapa polimer bersifat transparan yang membuatnya menjadi kompetisi dengan kaca.

Namun dalam penggunaan polimer beberapa hal yang merugikan seperti :

1. kekuatannya yang lebih rendah dibanding dengan *metal* dan keramik,
2. modulus elastisitas yang rendah,

3. kinerja polimer menurun ketika beroperasi dalam suhu tinggi dikarenakan pelunakan polimer atau degradasi polimer. (P.Groover, 1996)

2.3.1. POM (*polyformaldehyde*)

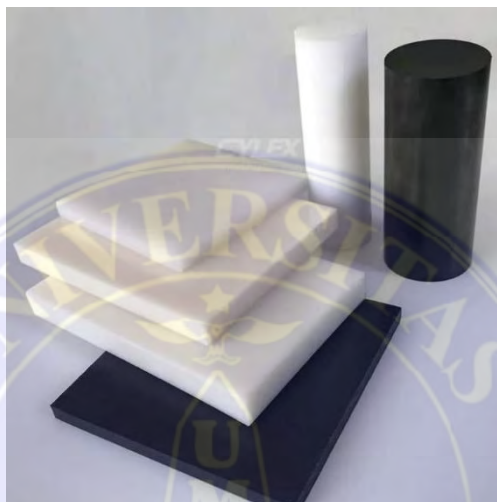
POM, *polyformaldehyde*, *polyacetal*, *polyoxymethyle* adalah polimer *semicrystalline* yang termasuk dalam kategori *thermoplastic*. Material ini sering digunakan untuk menggantikan logam dalam bidang industri dan otomotif dikarenakan keseimbangan antara sifat mekanik dan ketahanan kimianya. Bahan utama pembuatan POM adalah *formaldehyde*. (Sigrid Lüftl, 2014).

Tipe *polyformaldehyde* umumnya dibedakan menjadi 2 jenis yaitu POM-H dan POM-C, POM-H atau *Polyformaldehyde Homopolymer*, *homopolymer* adalah polimer yang tersusun dari satu monomer dimana untuk polimer *polyformaldehyde* tersusun dari monomer *formaldehyde*, POM-C atau *Polyformaldehyde Copolymer*, *copolymer* adalah polimer yang tersusun lebih dari satu monomer berupa monomers *formaldehyde* dengan monomer lainnya.

Beberapa keuntungan penggunaan POM seperti 1) ketahanan mekanika yang bagus dalam waktu singkat seperti tensile strength, rigidity yang bagus, kekerasan yang bagus, 2) ketahanan creep dan fatigue yang bagus dalam jangka waktu panjang, 3) ketahanan terhadap bahan kimia tertentu, solven dan bahan bakar apabila dalam suhu ruangan, 4) mudah dalam proses permesinan, 5) rendah koefisien gesekan statis dan kinetis, 6) memiliki ketahanan yang bagus terhadap keausan abresif, 7) memiliki hardness yang lebih unggul dibanding dengan thermoplastic lainnya, 8) relatif murah.

beberapa kerugian penggunaan POM seperti 1) menghasilkan gas – gas beracun dalam temperatur tinggi atau saat terbakar, 2) POM murni sensitif dengan

radiasi apabila diletakkan di luar ruangan, 3) mudah terbakar apabila POM tidak mengandung agent penahan api (*flame retardants*), 4) lemah terhadap kimia yang mengandung asam. pengaplikasian dari material POM dapat ditemukan pada bidang otomotif, elektronik, keperluan rumah tangga, industri dan penanganan fluida. (Sigrid Lüftl, 2014)



Gambar 2.22. POM (*polyformaldehyde*)

2.3.2. Teflon (*polytetrafluoroethylene*)

Teflon atau *polytetrafluoroethylene* adalah polimer yang masuk dalam kategori *fluoropolymer*; *polytetrafluoroethylene* adalah polimer yang dikembangkan pada tahun 1938 dan menjadi produk komersial pada tahun 1946 (Ebnesajjad, 2013).

Teflon merupakan bahan yang sangat baik untuk melapisi mesin atau peralatan yang terkena panas atau memiliki aplikasi untuk tidak mengalami korosi seperti peralatan memasak dan peralatan percobaan bahan kimia, dan peralatan yang memerlukan properti anti – gesek. (Hendra Aryanta, 2017)

Teflon adalah salah satu material yang memiliki properti tribologi sangat bagus, hal ini dibuktikan oleh Lu dan Friedrich (Z.P. Lu, 2006) bahwa penambahan

polytetrafluoroethylene pada PEEK (*polyetheretherketone*) merendahkan keausan sebanyak 85% dengan basis volume.

Dengan perkembangan teknologi, penggunaan material teflon juga bertambah dikarenakan properti yang sesuai dengan kebutuhan peralatan atau penggunaan ditambah dengan keunggulan harga yang relatif murah dibandingkan dengan besi, material teflon ini umumnya diaplikasikan pada industri dikarenakan ketahanan terhadap zat kimia, umumnya pada pipa – pipa aliran, pada produk memasak yang menggunakan Teflon sebagai coating anti lengket, dan pada bidang elektrik yang menggunakan Teflon untuk membuat kabel yang dapat beroperasi dalam kondisi temperatur tinggi. (Ebnesajjad, 2013)



Gambar 2.23. Teflon (*polyflouroethylene*)

2.4. Sistem Pelumasan

Tujuan dari pelumasan adalah untuk mengurangi gesekan, keausan, dan pemanasan yang berlebihan dalam suatu benda yang saling bersentuhan, pelumasan dapat dalam fase padat (*solid*), fluida (*fluid*), dan dalam bentuk gas. (Straffellini, 2015) Penggunaan pelumas berbentuk gas jarang ditemukan dalam industri dikarenakan degradasi dan dekomposisi gas pada suhu yang tinggi. (High Temperature Solid-Lubrication Material : A review , 2019)

Tujuan dari penggunaan pelumas secara umum adalah untuk mengurangi gesekan dan keausan yang terjadi pada suatu material namun hal itu tidak sepenuhnya benar, jurnal yang ditulis oleh Tanaka (K.Tanaka, 1980), Tanaka menyimpulkan pemberian air sebagai fluida pelumasan akan merendahkan koefisien gesekan namun meningkatkan *rate* keausan pada *metal-polymer* kombinasi.

Pada buku *Mechanical Wear Fundamental and Testing* (Bayer, 2004) hal sebaliknya terjadi dimana gesekan meningkat namun keausan yang terjadi menurun pada material *302 Stainless Steel* dengan *Polyflouroethylene* (teflon) yang diuji menggunakan tes *ball-plane* dengan hasil koefisien gesekan 0,09 tanpa menggunakan lubrikasi, 0,12 menggunakan *low viscosity paradin oil*, dan 0,15 menggunakan *high viscosity paradin oil*.

Salah satu properti penting dari pelumasan yang perlu diperhatikan adalah viskositas dari pelumasan, viskositas adalah nilai resistansi dari suatu fluida untuk mengalir. (M.White, 2011), viskositas dibagi menjadi 2 jenis yaitu *dynamic viscosity* dan *kinematic viscosity*.

Dynamic viscosity adalah rasio tegangan geser dari terhadap laju deformasi, sedangkan *kinematic viscosity* adalah ratio *dynamic viscosity* dengan densitas fluida. (A.Avallone, III, & M.Sadegh, 1916)

2.4.1. Pelumasan Padat

Pelumasan padat adalah pelumasan yang berbentuk padat dalam suhu ruangan, secara umum pelumasan jenis ini biasanya terbuat dari polimer yang memiliki sifat tribologi yang bagus. Jenis pelumasan ini umumnya terdapat pada lahar (*bearing*) yang terdapat pada industri yang menangani fluida kimia berbahaya.

Tujuan penggunaan pelumasan padat ketika :

1. Ketika pengisian lubrikasi berada di tempat yang sulit untuk diakses (seperti mesin yang bekerja dalam keadaan vakum atau memiliki gas beracun).
2. Ketika kontaminasi adalah sesuatu yang fatal (seperti pada proses makanan, alat optikal, teleskop luar angkasa).
3. Ketika proses operasi dilakukan pada suhu tinggi atau suhu yang sangat rendah. (Straffelini, 2015)

Contoh material yang dapat digunakan sebagai pelumasan padat :

1. Material berbasis Carbon seperti *graphite* atau teknologi DLC (*Diamond-Like Carbon*)
 2. *Transition metal dichalcogenide* seperti MoS_2
 3. Polimer Seperti PTFE (*polytetrafluoroethylene*)
 4. *Metal* lunak seperti *silver* (Ag), Timah (Pb), *Indium* (In), Emas (Au).
- (Straffelini, 2015)

2.4.2. Pelumasan Fluida

Pelumasan fluida berbentuk oli seperti pelumasan pada sepeda motor dan mobil, pelumasan fluida umumnya terbentuk dari 95% oli sebagai *base* dan 5% *additive*. *Base oil* dibedakan dapat berasal dari 3 minyak yaitu :

1. Minyak Nabati

Penggunaan oli ini biasanya bertujuan untuk merendahkan menkontaminasi makanan dengan oli yang tidak dapat dikonsumsi dimana hal ini penting dalam bidang farmasi dan industri makanan. Minyak nabati dapat berasal dari tumbuhan dan hewan, pada tumbuhan minyak yang merupakan golongan lipid, banyak bagian tanam-tanaman yang dihasilkan minyak namun sumber utama minyak nabati dari

tanaman berasal dari biji-bijian seperti minyak dari buah jarak, biji palem dan lain – lain, pada hewan seperti minyak yang didapatkan dari ikan paus dan *lanolin*, lemak dari wool domba.

2. Minyak Mineral

Minyak mineral terbuat dari minyak bumi (*petroleum*) yang bertujuan untuk membuat lubrikasi dengan ketahanan panas yang lebih tinggi dari minyak nabati, aplikasi minyak ini banyak ditemukan pada lahar, roda gigi, dan turbin, dan juga berbagai mesin yang memerlukan lubrikasi.

3. Minyak Sintetik

Minyak sintetik adalah minyak yang secara sengaja dibuat dengan ilmu sains untuk meningkatkan properti dari minyak mineral, umumnya digunakan pada kendaraan atau mesin yang beroperasi dalam suhu tinggi dan pada suhu yang sangat rendah. (Gwidon W. Stachowiak, 1993)

2.4.3. Pelumasan Semi Fluida

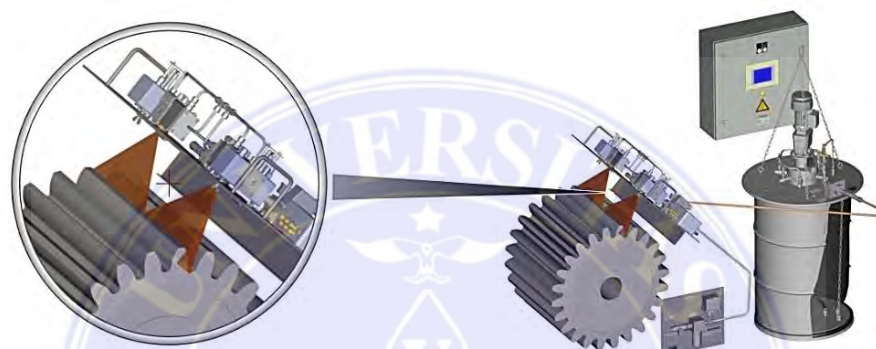
Pelumasan semi fluida adalah pelumasan yang memiliki viskositas lebih tinggi dari pelumasan fluida contohnya adalah minyak gemuk. Penggunaan minyak gemuk pada industri sangat diminati karena *maintenance* yang rendah dikarenakan minyak gemuk tidak mudah untuk mengalir sehingga kebocoran jarang terjadi, dan minyak gemuk memiliki umur pelumasan yang panjang sehingga dapat dibiarkan selama berbulan – bulan sebelum digantikan.

2.4.4. Sistem Pelumasan pada Roda Gigi

Sistem pelumasan pada roda gigi dapat diaplikasi dengan 3 cara yaitu menggunakan sistem penyemprotan, sistem *bath*, dan diaplikasikan secara manual menggunakan tangan. (Heinemann, 1998)

1. Pelumasan Sistem Penyemprotan

Sistem pelumasan roda gigi jenis penyemprotan secara umum digunakan pada roda gigi lurus, miring maupun kerucut yang diaplikasikan dalam kecepatan *pitch line* diatas 12 m/s sehingga sebuah pompa akan memompa pelumasan dengan tekanan 0.7 hingga 6 bar (bergantung dengan viskositas pelumas dan kecepatan roda gigi) melewati *nozzle* yang sudah dirancang secara khusus.

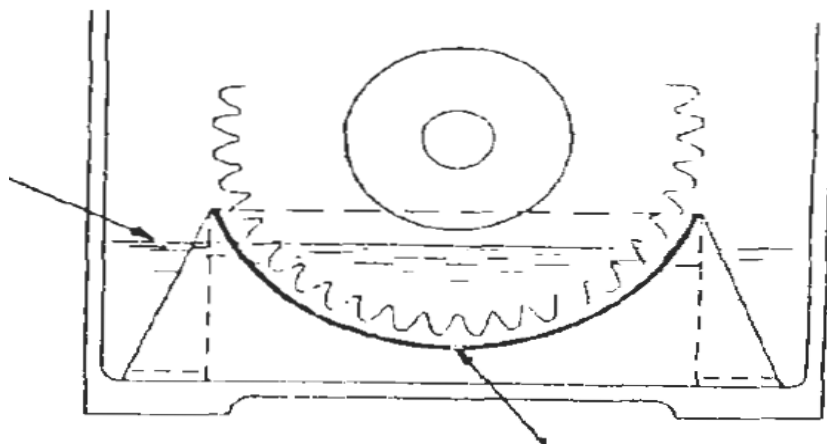


Gambar 2.24. Sistem Penyemprotan

2. Pelumasan Sistem *bath*

Apabila roda gigi diaplikasikan dalam kecepatan sedang atau lambat untuk roda gigi lurus, miring, kerucut (kecepatan *pitch line* dibawah 12 m/s) dan juga roda gigi cacing (kecepatan *pitch line* dibawah 10m/s) maka pelumasan sistem *bath* cocok untuk digunakan.

Ketinggian pelumasan untuk unit kecepatan sedang umumnya tidak melebihi 3 kali ukuran *tooth* roda gigi apabila suhu pelumas dan kehilangan kekuatan harus dihindari, untuk unit berkecepatan rendah, ketinggian pelumasan dapat ditoleransikan.



Gambar 2.25. Pelumasan *Bath*

3. Pelumasan Manual

Pelumasan manual umumnya digunakan pada roda gigi yang beroperasi pada kecepatan *pitch line* 2,5m/s dimana gemuk (*grease*) digunakan. Pengaplikasian pelumasan ini biasanya pada roda gigi cacing dimana penggunaan pelumasan jangka panjang diperlukan.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

3.1.1. Waktu

Berikut adalah rencana jadwal penelitian skripsi.

Tabel 3.1. Rencana Jadwal Penelitian Skripsi

Kegiatan	2024/2025											
	Mei	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des	Jan	Feb		
1. Pengajuan Judul												
2. Naskah Proposal												
3. Seminar Proposal												
4. Persiapan Alat dan Bahan												
5. Pembuatan Roda Gigi												
6. Pengujian Keausan												
7. Menganalisa Data												
8. Seminar Hasil												
9. Sidang												

3.1.2. Tempat

Tempat pelaksanaan penelitian dilakukan di laboratorium Fakultas Teknik

Mesin Universitas Medan Area Kampus 1, Jalan Kolam.

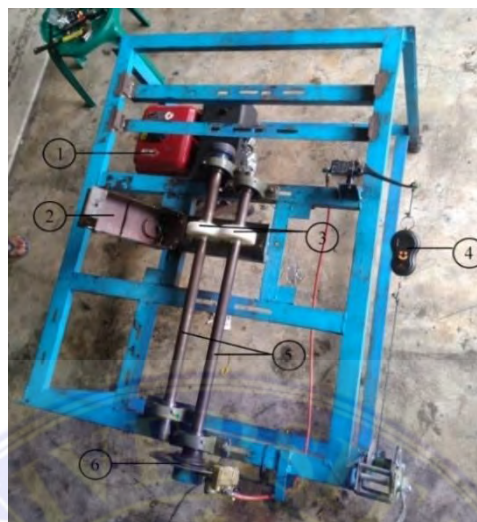
3.2. Alat dan Bahan

3.2.1. Alat

1. Mesin Uji Keausan

Mesin ini digunakan untuk menguji keausan dari spesimen roda gigi *polyformaldehyde* dan *polytetrafluoroethylene*, mesin ini menggunakan mesin

internal combustion engine sebagai penggerak. Mesin ini juga menggunakan sistem *brake disc* yang berfungsi sebagai beban pada pengujian.



Gambar 3.1. Mesin uji keausan

Berikut adalah bagian – bagian dari mesin uji keausan

- | | |
|--------------------------------------|-----------------------------------|
| 1. <i>Internal combustion engine</i> | 4. <i>Load Sensor</i> |
| 2. Penutup | 5. <i>Driver and driven shaft</i> |
| 3. Spesimen roda gigi | 6. <i>Disc brake</i> |

Berikut adalah spesifikasi mesin *internal combustion engine* yang digunakan sebagai penggerak mesin uji keausan.

Tabel 3.2. Spesifikasi *internal combustion engine*

Kode Mesin	GX340
Tipe Mesin	4-stroke, overhead valve, single cylinder
Berat Mesin	31 Kg
Max Output	12 HP / 3.600 Rpm
Max Torque	2,4 kgm/ 2.500 Rpm
Cooling System	Forced air
Ignition System	Transistored Magnito

2. *Thermogun*

Thermogun adalah alat bantu yang secara umum di gunakan di kalangan

Teknik untuk mengukur temperatur suhu pada suatu benda, pada alat yang

digunakan peneliti adalah *Thermogun GM320 Infrared Thermometer*, spesifikasi *Thermogun* yang digunakan mampu mengukur suhu dari -50°C hingga 400°C , dimana sangat cukup untuk penelitian ini.



Gambar 3.2. *Thermogun*

3. *Tachometer*

DT-2234C⁺ adalah *Tachometer* yang digunakan untuk mengukur putaran poros mesin, *Tachometer* ini dapat mengukur putaran roda gigi hingga 10.000 rpm.



Gambar 3.3. *Tachometer*

4. Timbangan digital

Timbangan digital digunakan untuk mengukur massa dari spesimen sebelum dan sesudah pengujian, timbangan ini mampu mengukur massa hingga 500g dengan resolusi akurasi 0,01g.



Gambar 3.4. Timbangan digital

3.2.2. Bahan

1. POM (*polyformaldehyde*)

POM digunakan dalam penelitian untuk pembuatan spesimen roda gigi. *Grade* yang digunakan dalam penelitian ini adalah POM Derlin @100. Berikut adalah gambar dari batangan POM.



Gambar 3.5. Batangan POM

2. Teflon (*polytetrafluoroethylene*)

Teflon digunakan dalam penelitian ini sebagai spesimen roda gigi kedua. *Grade* yang digunakan pada penelitian ini adalah *polytetrafluoroethylene virgin 1007*. Berikut adalah gambar dari batangan Teflon.



Gambar 3.6. Batangan Teflon

Berikut adalah properti dari kedua material diatas

Tabel 3.3. Properti Spesimen

Property	Densitas Material (kg/m ³)	Tensile Strength (Mpa)	Elongation at break (%)	Elastic Modulus (Mpa)	Yield Strength (Mpa)
<i>Polyformaldehyde</i>	1.410	57,125	98,098	21,698	57,11
<i>Polytetrafluoroethylene</i>	2.200	12,257	502,05	38,238	10,471

Properti diatas didapatkan dari percobaan uji tarik yang dilakukan di Laboratium Teknik Universitas Sumatra Utara di Jalan Tri Dharma menggunakan mesin Tensilon.

3. Pelumas

Pelumas yang digunakan dalam penelitian ini adalah Shell SPIRAX S5 ATF X *automatic transmission fluid*.



Gambar 3.7. Shell SPIRAX S5 ATF X *automatic transmission fluid*.

Berikut adalah spesifikasi dari pelumas yang digunakan. (Shell)

Tabel 3.4. Tabel spesifikasi oli shell SPIRAX S5 ATF X

Shell SPIRAX S5 ATF X <i>Automatic transmission fluid</i>				
<i>Properties</i>			<i>Method</i>	<i>Value</i>
<i>Density</i>	15°C	kg/m ³	ASTM D1298	850
<i>Kinematic Viscosity</i>	40°C	mm ² /s	ASTM D445	35
<i>Kinematic Viscosity</i>	100°C	mm ² /s	ASTM D445	7,2
<i>Dynamic Viscosity</i>	-40°C	mPa s	ASTM D2983	12.000
<i>Flash Point</i>		°C	ASTM D92	190

3.3. Metode Penelitian

Jenis metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental untuk mengetahui bagaimana keausan yang terjadi pada roda gigi dalam kondisi kering dan terlumasi. Berikut adalah beberapa langkah – langkah yang diambil untuk menyelesaikan penelitian ini :

a) Studi literatur

Studi literatur merupakan perkumpulan referensi baik dari jurnal, artikel ilmiah, katalog, atau buku yang dapat membantu penulis dalam memahami penelitian lebih baik.

b) Pengumpulan data

Langkah ini digunakan untuk mengumpulkan data mengenai spesimen yang akan diuji dimulai dari mengukur ukuran gigi roda spesimen, properti mekanik dari bahan, pengurangan material setelah keausan, beban yang dialami dalam pengujian, dan putaran roda gigi.

c) Pengelolahan Data

Setelah pengumpulan data maka pengolahan data dilaksanakan sesuai dengan tujuan penelitian.

d) Saran dan kesimpulan

Selanjutnya pengambilan kesimpulan dan saran untuk penelitian selanjutnya.

3.4. Populasi dan Sampel

3.4.1. Populasi

. Populasi dalam penelitian ini adalah roda gigi lurus yang terbuat dari material polimer yaitu *Polyformaldehyde* dan *Polytetrafluoroethylene*.

3.4.2. Sampel

Teknik pengambilan sampel yang digunakan peneliti adalah *sample random sampling*. Berikut adalah sampel roda gigi lurus yang dibuat peneliti :

Tabel 3.5. Tabel Sampel Spesimen

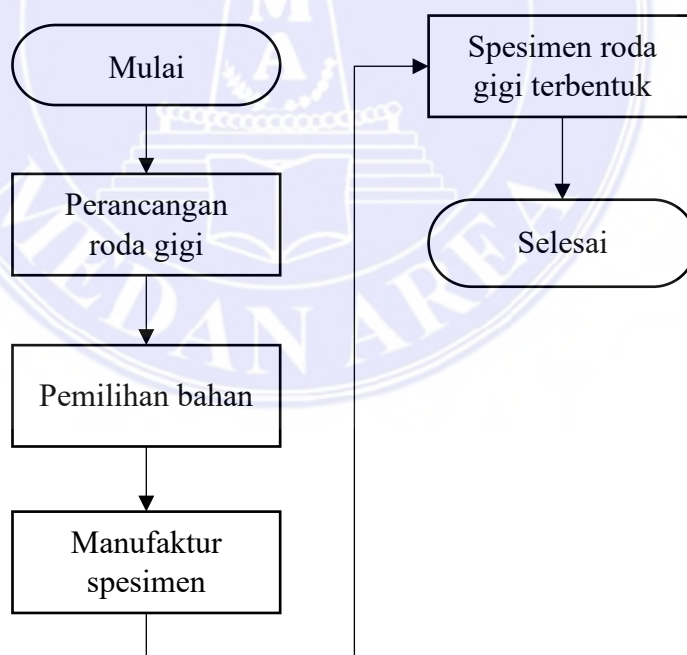
No	Bahan	Dluar(mm)	Modul	Dpitch(mm)	Jumlah Gigi	Jumlah Spesimen
1	POM	100	2	96	48	4
2	Teflon	100	2	96	48	2
		75		74	36	2
Jumlah Spesimen						8

3.5. Prosedur Kerja

Prosedur kerja adalah langkah-langkah sistematis yang harus di ikuti oleh penulis yang bertujuan agar penelitian berjalan sesuai dengan prosedur dan mengikuti tujuan dari penelitian secara efektif dan efisien.

3.5.1. Prosedur Pembuatan Spesimen

Berikut adalah diagram alir sederhana untuk prosedur pembuatan roda gigi.



Gambar 3.8. Diagram alir proses pembuatan spesimen roda gigi

Berikut adalah penjelasan diagram alir proses pembuatan spesimen diatas.

1. Pembuatan roda gigi polimer dimulai dari perhitungan rumus-rumus roda gigi untuk menentukan *diameter pitch* dan jumlah gigi.
2. Berikutnya, material akan dibeli, dalam penelitian ini, digunakan material *Polyformaldehyde* dan *Polytetrafluoroethylene*.
3. Langkah berikut adalah memanufaktur material menjadi spesimen roda gigi yang di rencanakan, berikut langkah-langkah manufaktur yang dilakukan.
 - a. Langkah pertama, spesimen material yang berbentuk silinder akan dibubut permukaannya sehingga OD material menjadi 100mm dan 75mm.
 - b. Langkah berikutnya adalah pembuatan diameter poros pada tengah spesimen dengan ukuran 30mm.
 - c. Setelah diameter poros telah di buat, make gigi *involute* akan dibuat menggunakan mata mesin frais yang dipasang dengan alat potong khusus untuk membuat bentuk *involute* roda gigi. Bentuk alat potong dapat dilihat pada gambar dibawah.

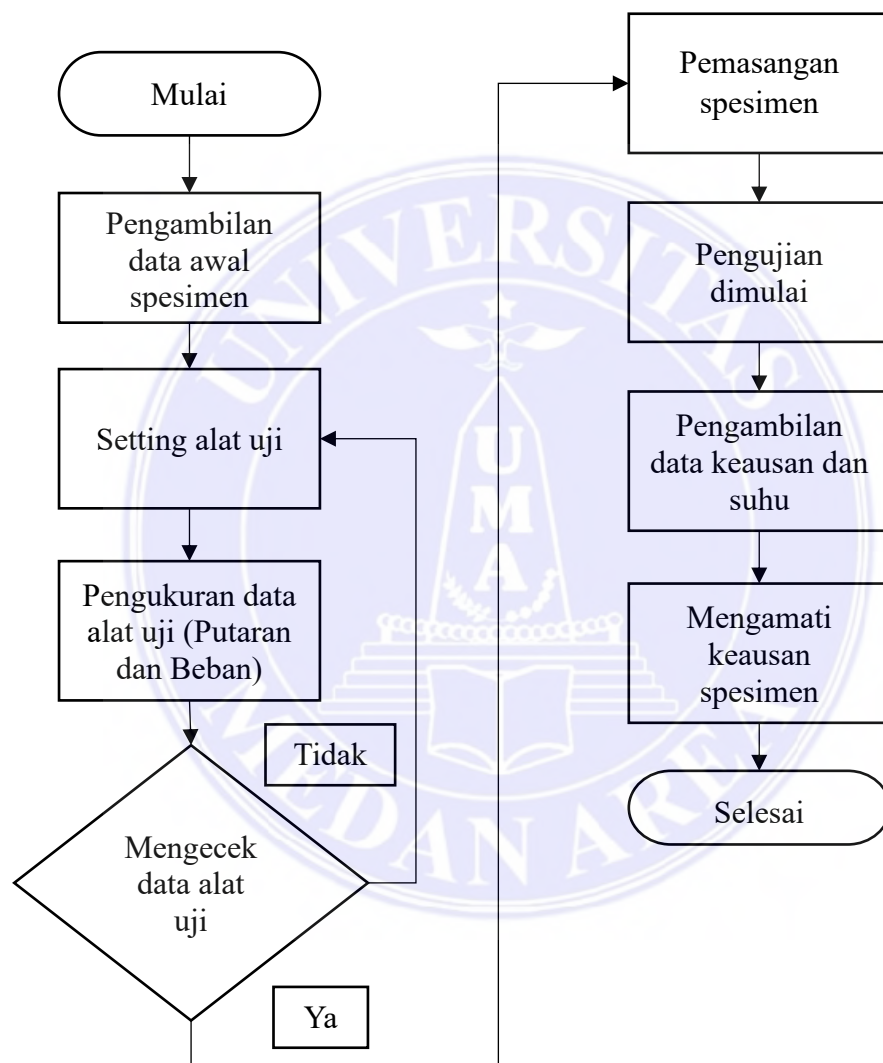


Gambar 3.9. Alat potong roda gigi

4. Langkah terakhir dari proses manufaktur adalah *finishing*, dimana spesimen roda gigi akan melalui proses *polishing* yang bertujuan untuk menghilangkan *roughness* yang tertinggal ketika proses pemotongan.
5. Setelah proses *finishing*, roda gigi siap untuk digunakan dalam penelitian.

3.5.2. Prosedur Pengujian Keausan

Setelah spesimen selesai di manufaktur, langkah berikutnya adalah pengujian keausan dari spesimen, Pengujian menggunakan beban rendah untuk mensimulasi operasional yang nyata pada sistem roda gigi. Berikut adalah diagram alir dari pengujian keausan yang direncanakan.



Gambar 3.10. Diagram prosedur pengujian keausan spesimen roda gigi

Berikut adalah penjelasan sederhana dari diagram diatas.

1. Dengan roda gigi spesimen telah dibentuk, langkah pertama sebelum melakukan penelitian adalah mengukur data roda gigi, seperti massa roda gigi dan suhu awal sebelum pengujian.
2. Langkah berikutnya adalah mengatur alat pengujian, beban dan putaran poros, setelah penyetelan beban dan kecepatan maka pengukuran beban dan putaran digunakan timbangan digital dan *tachometer*.
3. Kecepatan dan beban yang diinginkan pada pengujian ini di rencanakan sebesar 3400rpm dan 5.8Nm, apabila pengukuran tidak tercapai maka alat uji akan di *setting* kembali.
4. Setelah data sudah benar, pemasangan spesimen dapat dilakukan dan pengujian dapat dimulai. Pengujian keausan roda gigi akan berlangsung hingga roda gigi mencapai putaran total sebanyak 2 juta putaran dan 5.8Nm beban.
5. Setiap interval 200 ribu putaran, beban dan suhu akan didatakan kembali, dan keausan yang terjadi pada roda gigi akan diamati dan dipelajari. Pengujian selesai ketika putaran roda gigi sudah menjadi total 2 juta putaran.

3.5.3. Diagram Alir Penelitian

Berikut diagram alir penelitian.

1. Penelitian dimulai dengan studi literatur dimana penulis mengumpulkan segala informasi mengenai topik yang diteliti seperti keausan, roda gigi, dan material polimer POM dan Teflon. Informasi dapat diperoleh baik dari buku, website, journal, catalog dan lain-lain.
2. Setelah studi literatur, peneliti akan mempersiapkan alat dan bahan yang berhubungan dengan topik penelitian seperti pembelian material polimer yang

digunakan, memasang mesin pengujian, dan memastikan mesin pengujian tidak mengalami masalah ketika berjalan.

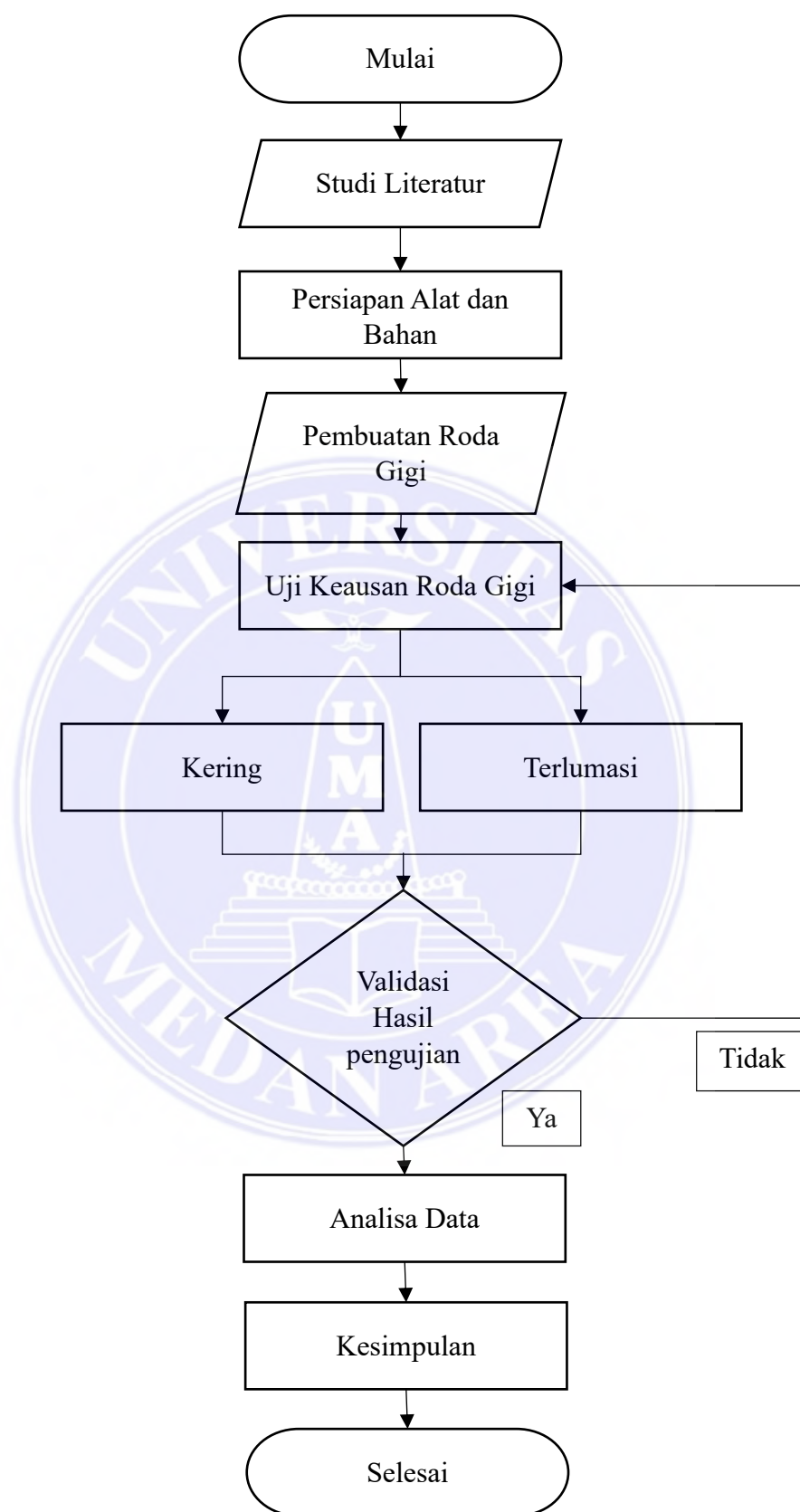
3. Setelah alat dan bahan sudah tersedia, maka spesimen roda gigi akan dibuat dalam bengkel yang ditentukan oleh penulis.

4. Setelah spesimen sudah tersedia maka pengujian keausan dapat dilakukan. Spesimen akan dipasang dalam mesin pengujian dan dikencangkan kemudian pengujian akan dilaksanakan sesuai sirklus yang tentukan dengan kondisi roda gigi kering dan terlumasi.

5. Setelah pengujian selesai maka pengambilan data seperti beban dalam pengujian, putaran roda gigi, temperatur dan reduksi massa akan dilaksanakan.

6. Setelah pengambilan data selesai maka data yang dicatat akan diolah untuk mendapatkan keausan yang terjadi pada roda gigi.

7. Dan terakhir, penulis akan menyimpulkan penelitian yang dilaksanakan melalui data, studi literatur dan pengetahuan yang dimiliki dan memberi saran dalam penelitiannya.



Gambar 3.11. Diagram Alir Penelitian

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Dari pengujian roda gigi lurus dengan variasi bahan dalam kondisi terlumasi dan kering ada beberapa kesimpulan yang dapat didapatkan seperti :

1. Spesimen roda gigi dibuat untuk material *polyformaldehyde* memiliki OD 100 mm dengan jumlah gigi 48 dan untuk roda gigi dengan material *polytetraflouroethylene* memiliki OD 100 mm dan 75 mm dengan jumlah gigi 48 dan 36 secara berturut-turut.
2. Dalam kondisi kering keausan yang terjadi pada roda gigi *polytetrafluoroethylene* 11,26 g dan 12,51 g, hal sebaliknya terjadi pada pengujian terlumasi dimana roda gigi *polytetrafluoroethylene* mengalami keausan rendah, teridentifikasi dari *tooth profile* pada roda gigi *polytetrafluoroethylene* tidak mengecil.
3. Dengan bertambah siklus putaran maka keausan yang dialami spesimen semakin bertambah baik dalam pengujian kering dan terlumasi namun keausan terbesar terjadi pada pengujian kering.

5.2. Saran

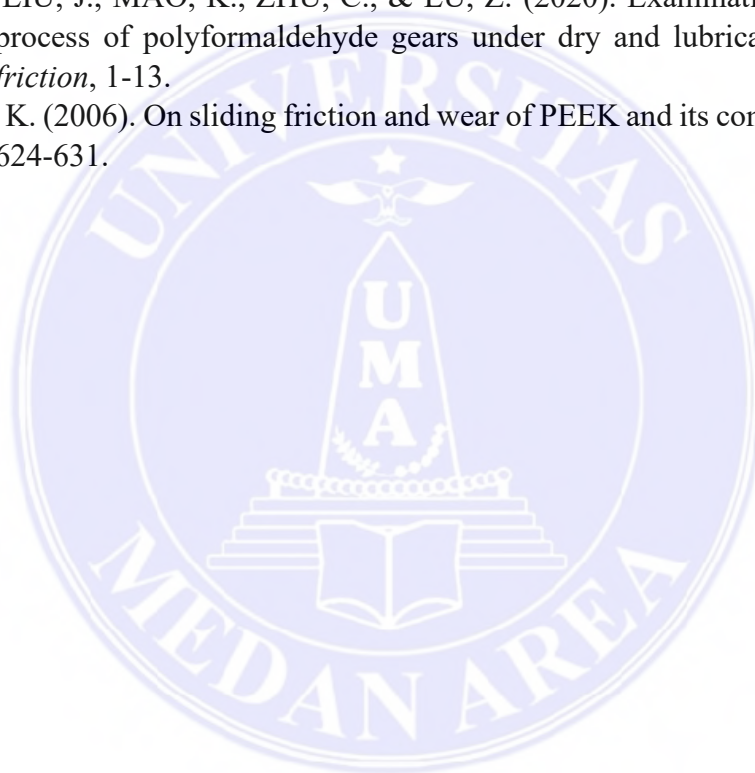
Beberapa saran yang dapat penulis sampaikan adalah :

1. Mengutamakan keselamatan kerja (K3) saat melakukan penelitian apapun.
2. Mengikuti langkah – langkah pengerjaan penelitian adalah suatu hal yang penting untuk melakukan penelitian yang bagus dan tertata.
3. memperbaiki mesin uji sebelum melakukan pengujian seperti poros yang buruk dan kedudukan motor yang tidak *level* untuk mendapatkan data yang bagus.

DAFTAR PUSTAKA

- A.Avallone, E., III, T. B., & M.Sadegh, A. (1916). *Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers, 11th Edition*.
- Bayer, R. G. (2004). *Mechanical Wear Fundamental and Testing, Revised and Expanded*. CRC Press.
- Britannica. (1998). Retrieved from <https://www.britannica.com/science/friction>
- Damijan Zorko, R. K. (2024). Plastic Gear Testing Methods—Characterization of Crucial Material Data Required for Reliable Design of Plastic Gears. *Gear Technology*, 48-56.
- Davis, J. (2001). *Surface engineering for Corrosion and Wear Resistance*. United State of America: ASM International.
- Ebnesajjad, S. (2013). *Introduction to Fluoropolymers*.
- Fenti Hikmawati, M. (2020). *Metodologi Penelitian*. Depok: Rajawali Pers.
- Gazali, N. (2022). *Metodologi Penelitian Olahraga*. Pekanbaru: CV. MEDIA SAINS INDONESIA.
- Gwidon W. Stachowiak, A. W. (1993). *Enginnering Tribology, 4th Edition*.
- Heinemann, B. (1998). *Mechanical Engineer's Reference Book*.
- Hendra Aryanta, A. M. (2017). Analisis Pengaruh Serat Limbah Teflon Terhadap Sifat Mekanik Komposit Fliber sebagai Material Pengganti Alas Cor Beton. *Jurnal Rotor*, 6 - 11.
- High Temperature Solid-Lubrication Material : A review . (2019). *Tribologies International* .
- Hoskins, T., Dearn, K., Chen, Y., & Kukureka, S. (2014). The wear of PEEK in rolling-sliding contact - Simulation of polymer gear applications. *Wear*, 35-42.
- Jens S.K. Jensen, R. A. (2023). Experimental investigation of three-body wear for rubber seals in abrasive slurry enviroment. *Wear*.
- Jonathan Wicker, K. L. (2004). *An Introduction to Mechanical Engineering, 4th Edition*.
- K. Mao, P. L. (2024). A Comparative Study of Polymer Gears. *Gear Technology*, 68-72.
- K.Tanaka. (1980). Friction and wear of semicrystalline polymers sliding against steel under water lubrication. *J.Lubr. Technol.*, 526-533.
- Karl-Heinrich Grote, E. A. (2008). *Springer Handbook for Mechanical Engineering* .
- KOWALSKI, S. (2018). Fretting Wear in Selected Elements of Rail Vehicles. *Techincal Gazette* 25, 481-486.
- Kutz, M. (2009). *Eshbach's Handbook of Engineering Fundamentals*. New Jersey: Wiley.
- M.White, F. (2011). *Fluid Mechanics, 7th Edition*. New York: Mc Graw Hill.
- P.Groover, M. (1996). *Fundamentals of Modern Manufacturing Materials, Processes and Systems, 5th edition* . Wiley .
- Q. Jane Wang, Y.-W. C. (2013). *Encyclopedia of Tribology*. Springer US.

- R. A. Siregar, K. U. (2019). Studi Eksperimen Terhadap Keausan Pada Roda Gigi Cacing Komposit . *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 158-164.
- Rajendra Kumar, R. P. (2019). Study on flexural performance of fabricated natural fiber hybrid polypropylene composite : an experimental investigation through designed experiments. *World Journal of Engineering* .
- Richard G Budynas, J. K. (2011). *Shigley's Mechanical Engineering Design, 11th Editions*.
- Shell. (n.d.). *Shell Spirax ATF X automatic transmission fluid data sheet*.
- Sigrid Lüftl, V. P. (2014). *Polyoxymethylene Handbook Structure, Properties, Applications and Their Nanocomposite*. Wiley-Scrivener.
- Straffellini, G. (2015). *Friction and Wear Methologies for Design and Control* .
- Yu, G., LIU, J., MAO, K., ZHU, C., & LU, Z. (2020). Examination on the wear process of polyformaldehyde gears under dry and lubricated conditions. *friction*, 1-13.
- Z.P. Lu, K. (2006). On sliding friction and wear of PEEK and its composite. *WEAR*, 624-631.



48 TEETH ,MODULE 2 MM

R50

R15

10

DATE:	31/10/2023	
DRAWN BY:		
CHECKED BY:		
APPROVED BY:		
REV D	REVISION	REV
	Gear 48 teeth	
SHEET 1 OF 1		

36 TEETH ,MODULE 2MM

R15

R38

20

DATE:	05/11/2023	NAME:	
GROUP:		NO.:	
TOPIC:			
APPROVE:		DATE:	
		TIME:	
		DATE:	
		TIME:	

Page 1 of 1