

**PENYELIDIKAN KEAUSAN RODA GIGI MIRING BAHAN
POLYFORMALDEHYDE DENGAN RASIO DIAMETER
BERBEDA KONDISI KERING DAN TERLUMASI**

SKRIPSI

OLEH:

**BOBBY RANDHAWA
228130035**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA MEDAN
2024**

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 23/1/25

Access From (repository.uma.ac.id)23/1/25

**PENYELIDIKAN KEAUSAN RODA GIGI MIRING BAHAN
POLYFORMALDEHYDE DENGAN RASIO DIAMETER
BERBEDA KONDISI KERING DAN TERLUMASI**

SKRIPSI

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana di Fakultas
Teknik
Universitas Medan Area

OLEH:

**BOBBY RANDHAWA
228130035**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA MEDAN
2024**

ii

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 23/1/25

Access From (repository.uma.ac.id)23/1/25

HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

Judul Proposal : Penyelidikan Keausan Roda Gigi Miring
Bahan *Polyformaldehyde* Dengan Rasio
Diameter Berbeda Kondisi Kering dan
Terlumasi
Nama Mahasiswa : Bobby Randhawa
NIM : 228130035
Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh Komisi Pembimbing



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



Tanggal Lulus: 19 September 2024

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 norma, 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, 25 November 2024



Bobby Randhawa
228130035



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

Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Bobby Randhawa
NPM : 228130035
Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right)** atas karya ilmiah yang berjudul : Penyelidikan Keausan Roda Gigi Miring Bahan *Polyformaldehyde* Dengan Rasio Diameter Berbeda Kondisi Kering dan Terlumasi .

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan skripsi 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 : 25 November 2024
Yang menyatakan



(Bobby Randhawa)

ABSTRAK

Roda gigi miring merupakan komponen krusial dalam berbagai aplikasi industri dan mekanis, di mana keausan roda gigi dapat memengaruhi kinerja serta umur suatu sistem. Bahan polimer seperti *polyformaldehyde* memiliki keunggulan dalam hal kekuatan, ketahanan terhadap bahan kimia, dan biaya produksi yang rendah. Namun, pemahaman mengenai pengaruh kondisi operasi, variasi rasio diameter serta beban terhadap keausan roda gigi polimer masih terbatas. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental dengan beberapa tahapan penyelesaian. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh beban yang bervariasi terhadap keausan roda gigi miring berbahan polimer pada rasio diameter yang berbeda dalam dua kondisi operasi: kering dan terlumasi. Pengujian dilakukan setiap 200.000 rpm untuk setiap kombinasi modul dan kondisi, dengan beban yang bervariasi mulai dari 0 N hingga 0,32 N. Data putaran per menit (Rpm) dicatat untuk setiap variasi beban dan modul. Hasil pengujian menunjukkan bahwa untuk modul 2, putaran (Rpm) berkisar dari 2650 hingga 3550 rpm, dengan peningkatan beban yang menyebabkan penurunan Rpm yang signifikan. Kondisi operasi (kering dan terlumasi) juga memengaruhi keausan roda gigi polimer, di mana data terlumasi menunjukkan tren yang berbeda dibandingkan dengan kondisi kering. Penelitian ini memberikan wawasan penting mengenai karakteristik keausan roda gigi polimer polyformaldehyde menjadi referensi untuk pengembangan material serta desain roda gigi yang lebih tahan lama.

Kata Kunci :Roda Gigi miring ,Keausan ,Polyformaldehyde ,Pengujian Roda Gigi.

ABSTRACT

Bevel gears are crucial components in a variety of industrial and mechanical applications, where gear wear can impact the performance and lifespan of a system. Polymer materials such as polyformaldehyde have advantages in terms of strength, chemical resistance, and low production costs. However, understanding of the influence of operating conditions, variations in diameter ratio and load on polymer gear wear is still limited. The method used in this research is an experimental method with several stages of completion. The aim of this research is to analyze the effect of varying loads on the wear of polymer bevel gears at different diameter ratios in two operating conditions: dry and lubricated. Tests were carried out every 200,000 rpm for each combination of modules and conditions, with loads varying from 0 N to 0.32 N. Revolutions per minute (Rpm) data were recorded for each load and module variation. The test results show that for module 2, the rotation (Rpm) ranges from 2650 to 3000 rpm, with an increase in load causing a significant decrease in Rpm. Operating conditions (dry and lubricated) also influence polymer gear wear, where lubricated data show different trends compared to dry conditions. This research provides important insights into the wear characteristics of polyformaldehyde polymer gears as a reference for the development of more durable materials and gear designs.

Keywords: Wear, Polymer Gears, Polyformaldehyde, Gear Testing.

TELAH DIVALIDASI PUSBA UMA SEBAGAI SYARAT BERKAS SIDANG	
TANGGAL	PARAF
22/07/2024	



RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Jakarta , pada tanggal 8 April 2000 dari pasangan Bapak Prem Singh dan Ibu Alm. Dwi Retno Vica Nelly . Penulis merupakan anak Pertama dari 3 bersaudara. Penulis bertempat tinggal di Tanjung Morawa Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara.

Pada tahun 2006 penulis memulai pendidikan formal di SD Negeri Kureksari Surabaya Selanjutnya pada tahun 2012 penulis melanjutkan pendidikan di SMP Swasta Katholik Assisi Kemudian pada tahun 2015 melanjutkan Pendidikan di SMA Negeri 2 Medan. Pada tahun 2018 penulis melanjutkan pendidikan di Politeknik Negeri Medan, kemudian pada tahun 2022 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Medan Area. Selama berada di bangku kuliah, penulis aktif mengikuti perkuliahan. Penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat untuk penelitian kedepannya.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Kuasa atas segala karunia-Nya sehingga skripsi ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian ini adalah keausan roda gigi dengan judul Penyelidikan Keausan Roda Gigi Miring Bahan *Polyformaldehyde* Dengan rasio diameter berbeda Kondisi Kering dan Terlumasi, Terima kasih penulis sampaikan kepada bapak Dr. Eng. Rakhmad Arief Siregar, ST, M.Eng selaku pembimbing yang telah banyak memberikan saran dan masukan kepada penulis selama proses pengerjaan penelitian ini. Disamping itu penghargaan penulis sampaikan kepada rekan-rekan satu tim dan teman-teman seangkatan yang telah membantu penulis selama melaksanakan penelitian. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada ayah, ibu, serta seluruh keluarga atas segala doa dan perhatiannya.

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

Penulis



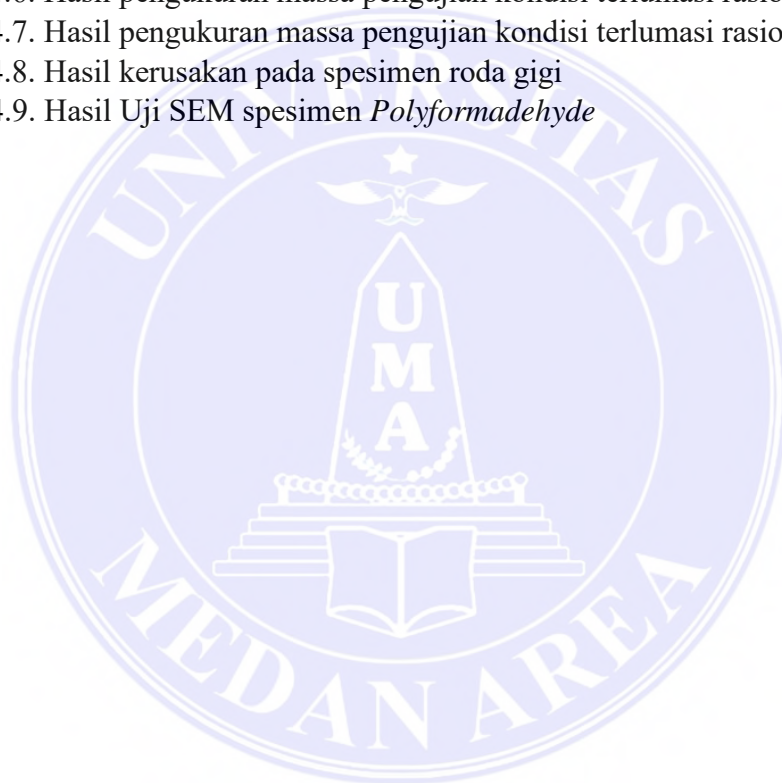
(Bobby Randhawa)
228130035

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PERNYATAAN PUBLIKASI SKRIPSI	v
ABSTRAK	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
RIWAYAT HIDUP	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR NOTASI	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	2
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Hipotesis Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Keausan.....	5
2.2. Roda Gigi.....	12
2.3. Polimer.....	22
2.4. <i>Polyformaldehyde</i>	23
2.5. <i>Polytetrafluoroetilen</i> (Teflon)	25
2.6. <i>Polyethylene</i> (PE)	25
2.7. Mc Blue.....	27
2.8. Sistem Pelumasan	28
BAB III METODELOGI PENELITIAN	33
3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian.....	33
3.2 Bahan dan Alat.....	34
3.3 Metode Penelitian	39
3.4 Populasi dan Sampel	40
3.5 Prosedur Kerja	41
BAB IV HASIL & PEMBAHASAN.....	45
4.1 Hasil Pembuatan Roda gigi miring	45
4.2 Hasil Pengujian Roda gigi	48
4.3 Pembahasan	54
BAB V SIMPULAN DAN SARAN	62
5.1 Simpulan	62
5.2 Saran	62
DAFTAR PUSTAKA.....	64

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Spesifikasi Spesimen	34
Tabel 2.2. Spesifikasi oli Shell Spirax S5 ATF X	31
Tabel 3.1. Rencana Jadwal Penelitian Tugas akhir	32
Tabel 3.2. Hasil Populasi dan Sampel	41
Tabel 4.1. Ukuran pembuatan roda gigi	46
Tabel 4.2. Ukuran parameter roda gigi diameter 100mm	48
Tabel 4.3. Ukuran parameter roda gigi diameter 75mm	48
Tabel 4.4. Hasil pengukuran massa pengujian kondisi kering rasio 1:1	52
Tabel 4.5. Hasil pengukuran massa pengujian kondisi kering rasio 1:0,75	42
Tabel 4.6. Hasil pengukuran massa pengujian kondisi terlumasi rasio 1:1	53
Tabel 4.7. Hasil pengukuran massa pengujian kondisi terlumasi rasio 1:0,75	53
Tabel 4.8. Hasil kerusakan pada spesimen roda gigi	59
Tabel 4.9. Hasil Uji SEM spesimen <i>Polyformaldehyde</i>	61



DAFTAR GAMBAR

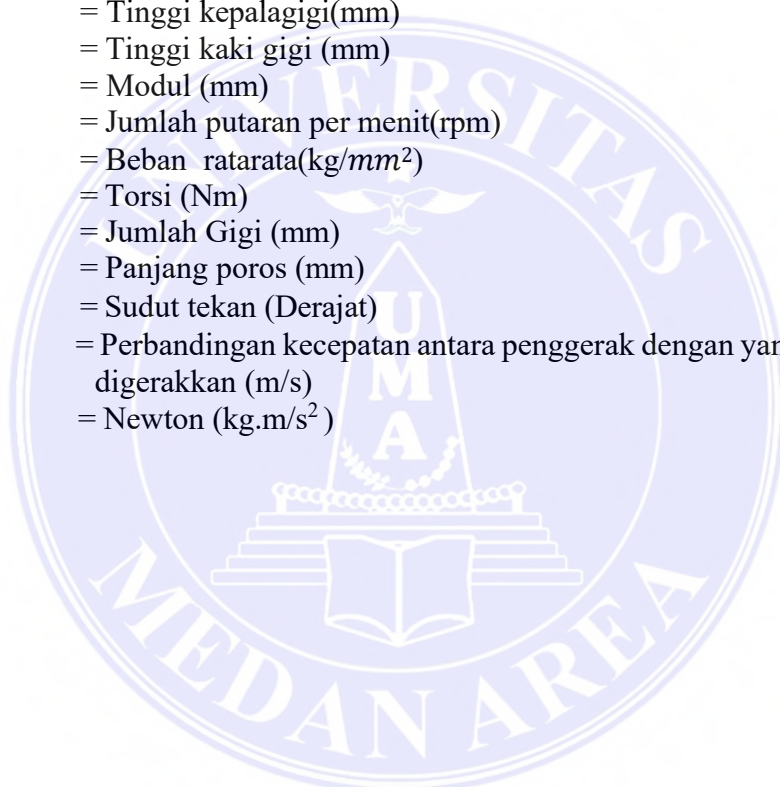
Gambar 2.1. <i>Abrasive Wear Micro Cutting</i>	6
Gambar 2.2. Proses Perpindahan Logam karena <i>Adhesive Wear</i>	6
Gambar 2.3. <i>Flow Wear</i>	6
Gambar 2.4. <i>Fatigue Wear</i>	7
Gambar 2.5. <i>Corrosive Wear</i>	8
Gambar 2.6. <i>Sliding Contact</i>	9
Gambar 2.7. <i>Rolling Contact</i>	10
Gambar 2.8. <i>Rolling Sliding Contact</i>	11
Gambar 2.9. Roda Gigi	13
Gambar 2.10. Bagian Roda Gigi	14
Gambar 2.11. Roda Gigi Lurus	16
Gambar 2.12. Roda Gigi Luar dan dalam	16
Gambar 2.13. Roda Gigi Heliks	17
Gambar 2.14. Roda Gigi Heliks Ganda	17
Gambar 2.15. Roda Gigi <i>Bevel</i>	18
Gambar 2.16. Roda Gigi <i>Hypoid</i>	19
Gambar 2.17. Roda Gigi Cacing	19
Gambar 2.18. Roda Gigi non Sirkular	20
Gambar 2.19. Roda Gigi Episiklik	21
Gambar 2.20. Roda Gigi Pinion	21
Gambar 2.21. Profil Lembaran <i>Polyformaldehyde</i> (POM)	24
Gambar 2.22. Profil <i>Polytetrafluoroetilen</i> (Teflon)	25
Gambar 2.23. Profil Lembaran LDPE	26
Gambar 2.24. Profil Lembaran HDPE	27
Gambar 2.25. Profil <i>Mcblue</i>	28
Gambar 3.1. Bahan Pom (<i>Polyformaldehyde</i>)	34
Gambar 3.2. Oli transmisi SGMW API GL-5	35
Gambar 3.3. Alat uji keausan roda gigi	35
Gambar 3.4. Mesin <i>Frais</i>	36
Gambar 3.5. Kertas Milimeter	36
Gambar 3.6. <i>Thermogun</i>	37
Gambar 3.7. <i>Scanner</i>	37
Gambar 3.8. Timbangan	38
Gambar 3.9. <i>Tachometer</i>	38
Gambar 3.10. Laptop	38
Gambar 3.11. Spesimen roda gigi miring modul 2,rasio 1:1	40
Gambar 3.12. Spesimen roda gigi miring modul 2,rasio 1:0,75	40
Gambar 3.13. Prosedur pembuatan roda gigi	42
Gambar 3.14. Prosedur pengujian keausan roda gigi	43
Gambar 3.15. Diagram alur penelitian	44
Gambar 4.1. Mesin <i>frais</i>	47
Gambar 4.2. Roda gigi miring POM diameter 75mm	47
Gambar 4.3. Roda gigi miring POM diameter 100mm	47

Gambar 4.4. Pengujian roda gigi miring bahan <i>Polyformaldehyde</i>	49
Gambar 4.5. Grafik pengujian tempratur kondisi kering rasio 1:1	50
Gambar 4.6. Grafik pengujian tempratur kondisi kering rasio 1:0,75	50
Gambar 4.7. Grafik pengujian tempratur kondisi terlumasi rasio 1:1	51
Gambar 4.8. Grafik pengujian tempratur kondisi terlumaso rasio 1:0,75	51
Gambar 4.9. Grafik tempratur <i>driver</i>	54
Gambar 4.10. Grafik tempratur <i>driven</i>	55
Gambar 4.11. Grafik Akumulasi keausan kondisi kering rasio 1:1	56
Gambar 4.12. Grafik Akumulasi keausan kondisi kering rasio 1:0,75	57
Gambar 4.13. Grafik Akumulasi keausan kondisi terlumasi rasio 1:1	58
Gambar 4.14. Grafik Akumulasi keausan kondisi terlumasi rasio 1:0,75	59



DAFTAR NOTASI

A_0	= Luas awal (mm)
A_1	= Luas akhir (mm)
D_g	= Diameter lingkaran kaki (mm).
D_k	= Diameter lingkaran kepala (mm)
σ_b	= Kekuatan Tarik (Mpa/N)
r_t	= Tegangan Tarik (Mpa/N)
d	= Diameter poros (mm)
D_a	= Diameter <i>pitch</i> luar (mm)
D_f	= Diameter Dalam (mm)
D_p	= Diameter <i>pitch</i> (mm)
H	= Tinggi Gigi (mm)
H_a	= Tinggi kepalagigi (mm)
H_f	= Tinggi kaki gigi (mm)
M	= Modul (mm)
N	= Jumlah putaran per menit (rpm)
p	= Beban rata-rata (kg/mm^2)
T	= Torsi (Nm)
Z	= Jumlah Gigi (mm)
l	= Panjang poros (mm)
α	= Sudut tekan (Derajat)
(i)	= Perbandingan kecepatan antara penggerak dengan yang digerakkan (m/s)
N	= Newton ($\text{kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2$)



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Peran Roda gigi dalam kendaraan maupun dunia industri sangat penting dalam menghubungkan atau meneruskan putaran, daya yang dihasilkan dari proses energi kinetik menjadi energi mekanik. Sehingga dengan kemajuan teknologi, ilmu pengetahuan dan pertumbuhan penduduk maka manusia mengembangkan teknologi baru dengan berbagai inovasi dan lebih modern (Bagus Setya Raharja,dkk 2018). Hilangnya sebagian material dari permukaan yang saling bergesekan dalam gerak yang saling berhubungan. Ada beberapa jenis kontak, salah satunya kontak roda gigi. Dimana kontak roda yang terjadi disertai dengan gigi, sehingga terjadi slip dan mengakibatkan keausan. Jenis kontak ini dapat ditemui dalam mekanisme pergerakan pasangan kontak roda gigi. Tidak semua jenis keausan merugikan, akan tetapi ada juga yang menguntungkan, misal proses "Running-in". Bagaimanapun juga, keausan penting untuk dipelajari agar dapat diketahui karakteristiknya. Keausan dapat diketahui menggunakan metode eksperimen, analitik dan metode numerik.

Terlepas dari bahan *Polyformaldehyde* yang termasuk kategori bahan plastik yang memiliki sifat dengan kekokohan bagus, benturan tinggi, kekuatan tinggi, kekokohan kuat, resistansi semak, stabilitas termal yang baik dan tahan mulur, yang dapat menggantikan logam sebagian

Untuk itu maka dilakukan pengujian keausan dengan bahan *Polyformaldehide* dalam bentuk Roda Gigi dan akan diuji dengan metode Uji Tarik dan juga Uji RIG sehingga akan diketahui kekuatan material tersebut serta perhitungan pengaruh gesekan dan keausan Roda Gigi tersebut yang terbuat dari bahan *Polyformaldehide* Keausan adalah kerusakan yang terjadi pada permukaan yang disebabkan oleh gerakanyang berhubungan dengan komponen lainnya . Sebagai komponen yang selalu bergerak kerusakan pada roda gigi didominasi oleh faktor keausan (R.A Siregar,Dkk,2019) .Mekanisme keausan dikelompokkan menjadi dua kelompok, yaitu keausan yang penyebabnya dominan oleh perilaku mekanik dari bahan dan keausan yang penyebabnya domionan oleh perilaku kimia dari bahan, sedangkan menurut Koji Kato, tipe keausan terdiri dari tiga macam, yaitu *mechanical, chemical and thermal wear* (Bagus Setya Raharja dan I Made Sunada ,2018) Walaupun demikian, kerusakan atau cacat roda gigi tetap dapat terjadi pada roda gigi yang telah dipakai dalam jangka waktu tertentu. Setiap kerusakan kecil pada roda gigi tersebut menyebabkan kegagalan yang tak terduga pada mesindan akan menyebabkan kerugian yang dalam hal waktu dan uang. Banyak penelitian dilakukan untuk mendeteksi kerusakan pada roda gigi dengan menggunakan sinyal getaran,(Gigih Pribadi,Dkk ,2014

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas diketahui bahwa salah satu cara untuk menganalisa pengaruh keausan roda dengan bahan tertentu maka dilakukan Penyelidikan Keausan Roda Gigi Miring Bahan *Polyformaldehide* Dengan Rasio Diameter Berbeda Pada Kondisi Kering dan terlumasi.

1.3 Tujuan penelitian

Tujuan penelitian diperlukan untuk menghindari pembahasan atau pengkajian yang tidak terarah dan agar dalam pemecahan masalah dapat dengan mudah dilaksanakan. Adapaun batasan-batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

- a) Membuat spesimen roda gigi miring bahan *polyformaldehyde* dengan rasio diameter berbeda untuk pengujian keausan pada kondisi kering dan terlumasi.
- b) Menguji keausan spesimen roda gigi miring dengan rasio diameter berbeda pada kondisi kering dan terlumasi.
- c) Menganalisis pengaruh beban yang bervariasi terhadap uji keausan spesimen roda gigi miring dengan rasio diameter berbeda pada kondisi kering dan terlumasi.

1.4 Hipotesis Penelitian

Hipotesis dalam penelitian ini menyatakan penyelidikan ini dapat berguna untuk mengetahui manfaat, kelebihan, kelemahan serta hasil yang dapat membuat kesimpulan apakah bahan *Polyformaldehyde* cocok sebagai bahan komponen roda gigi serta pengaruh di saat kondisi kering dan terlumasi

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diperoleh dari penelitian ini bekenaan memberikan manfaat ilmiah dan manfaat praktis. Yakni:

- a) Penulis dapat memperoleh hasil dari penyelidikan keausan pada roda gigi dari bahan *Polyformaldehyde*
- b) Hasil Penyelidikan dapat digunakan untuk mengetahui solusi dan inovasi untuk mengatasi nilai keausan pada roda gigi dengan material *Polyformaldehyde*

- c) Dapat mengetahui pengaruh dari perbedaan rasio diameter roda gigi terhadap keausan
- d) Dapat memperoleh hasil pengaruh keausan Roda Gigi terhadap kondisikering dan terlumas



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Keausan

Pengertian keausan yang telah dikenal sekitar 50 tahun lebih yaitu hilangnya bahan dari suatu permukaan atau perpindahan bahan dari permukaannya ke bagian yang lain atau Bergeraknya bahan pada suatu permukaan. Definisi lain tentang keausan yaitu sebagai hilangnya bagian dari permukaan yang saling berinteraksi yang terjadi sebagai hasil gerak pada permukaan. Keausan yang terjadi pada suatu material disebabkan oleh adanya beberapa mekanisme yang berbeda dan terbentuk oleh beberapa factor yang meliputi bahan, lingkungan, kondisi operasi, dan kondisi permukaan benda yang terjadi keausan.

2.1.1 Jenis-jenis keausan dan penyebabnya.

Keausan dikelompokkan menjadi dua kelompok, yaitu keausan yang penyebabnya dominan oleh perilaku mekanik dari bahan dan keausan yang penyebabnya didominasi oleh perilaku kimia dari bahan, sedangkan menurut, tipe keausan terdiri dari tiga macam, yaitu *mechanical*, *chemical* and *thermal wear* (Koji Kato, 2001)

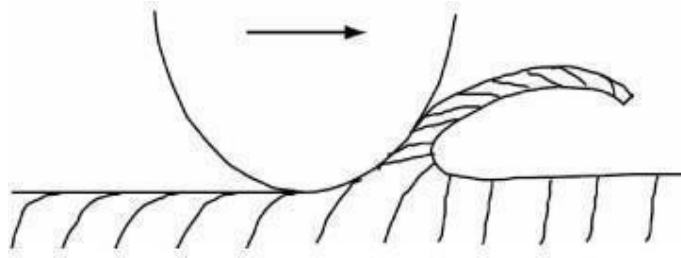
2.1.2 Keausan yang disebabkan perilaku mekanis (*mechanical*)

Keausan yang disebabkan oleh perilaku mekanis digolongkan menjadi:

1. *Abrasive wear*.

Keausan ini terjadi jika permukaan keras yang kasar menggerus dan memotong permukaan sehingga mengakibatkan hilangnya material yang ada dipermukaan tersebut (*earth moving equipment*). Contoh : *micro-cutting*,

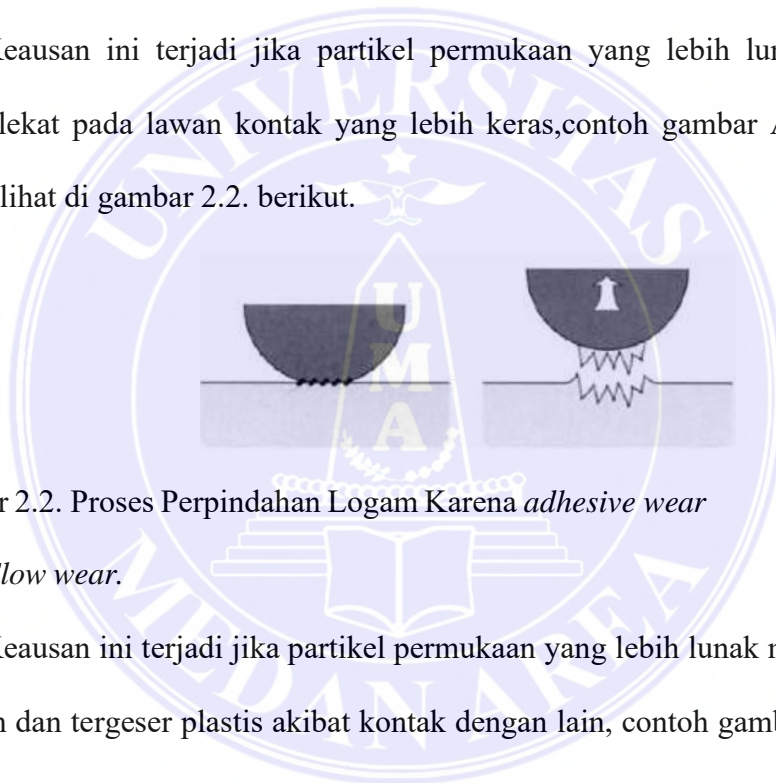
wedgeforming, dan *ploughing*., gambar dapat dilihat pada gambar 2.1. berikut



Gambar 2.1. *Abrasive Wear Micro Cutting*

2. *Adhesive wear.*

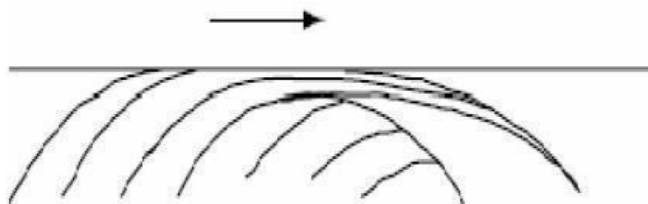
Keausan ini terjadi jika partikel permukaan yang lebih lunak menempel atau melekat pada lawan kontak yang lebih keras, contoh gambar Adhesive wear dapat dilihat di gambar 2.2. berikut.



Gambar 2.2. Proses Perpindahan Logam Karena *adhesive wear*

3. *Flow wear.*

Keausan ini terjadi jika partikel permukaan yang lebih lunak mengalir seperti meleleh dan tergeser plastis akibat kontak dengan lain, contoh gambar *Flow Wear* seperti Gambar 2.3. berikut.



Gambar 2.3. *Flow Wear Oleh Penumpukan Aliran Geseran Plastis*

4. *Fatigue wear*

Fenomena keausan ini didominasi akibat kondisi beban yang berulang (*cyclic loading*). Ciri-cirinya perambatan retak lelah biasanya tegak lurus pada permukaan tanpa deformasi plastis yang besar, seperti: *ball bearings*, *roller bearings* dan lain contoh gambar *Fatigue Wear* seperti pada Gambar 2.4. berikut.



Gambar 2.4. *Fatigue wear* karena retak di bagian dalam dan merambat

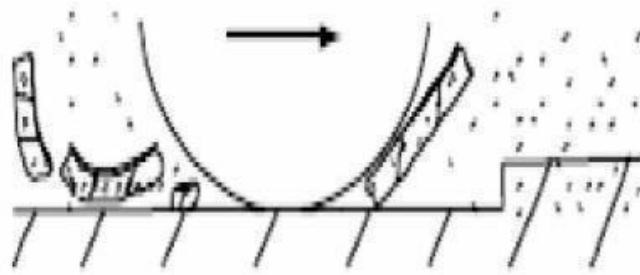
2.1.3. Keausan yang disebabkan perilaku kimia

1. *Oxidative wear*

Pada peningkatan kecepatan sliding dan beban rendah, lapisan oksida tipis, tidak lengkap, dan rapuh terbentuk. Pada percepatan yang jauh lebih tinggi, lapisan oksida menjadi berkelanjutan dan lebih tebal, mencakup seluruh permukaan. Contoh: Permukaan luncur di dalam lingkungan yang oksidatif.

2, *Corrosive Wear*.

Mekanisme ini ditandai oleh batas butir yang korosif dan pembentukan lubang. Misalnya, permukaan sliding di dalam lingkungan yang korosif, contoh gambar *Corrosive Wear* dapat dilihat di gambar 2.5. berikut.



Gambar 2.5. *Corrosive wear* karena pengelupasan yang terjadi pada lapisan yang rapuh

2.1.4. Keausan yang disebabkan perilaku panas (*Thermal Wear*)

1. *Melt wear*

Keausan yang terjadi karena panas yang muncul akibat gesekan benda sehingga permukaan aus meleleh.

2. *Diffusive wear*

Terjadi ketika ada pancaran (*diffusion*) elemen yang melintasi bidang kontak misalnya pada perkakas baja kecepatan tinggi. Dalam banyak situasi keausan, ada banyak mekanisme yang beroperasi secara serempak, akan tetapi biasanya akan ada satu mekanisme penentu tingkat keausan yang harus diteliti dalam hal ini berhubungan dengan masalah keausan. Hubungan antara koefisien gesek dan laju keausan belum ada penjelasan yang tepat, karena hubungan keduanya akan selalu berubah terhadap waktu. Saat ini yang paling banyak digunakan dan paling sederhana dalam memodelkan keausan adalah model keausan *Archard*, beberapa yang lain mencoba mengembangkan model keausan dengan memasukkan efek gesekan dalam menawarkan model yang lebih akurat yang dibandingkan dengan penelitian percobaan yang telah dibuat.

2.1.5. Teori *sliding*, *rolling* dan *rolling-sliding contact*.

Keausan pada suatu benda dapat terjadi ketika benda tersebut mengalami

kontak diantara dua permukaan, diantaranya dapat karena benda tersebut mengalami peristiwa *sliding*, *rolling* atau mengalami dua peristiwa yang bersamaan yaitu *rolling sliding*.

1. Teori *Sliding contact*.

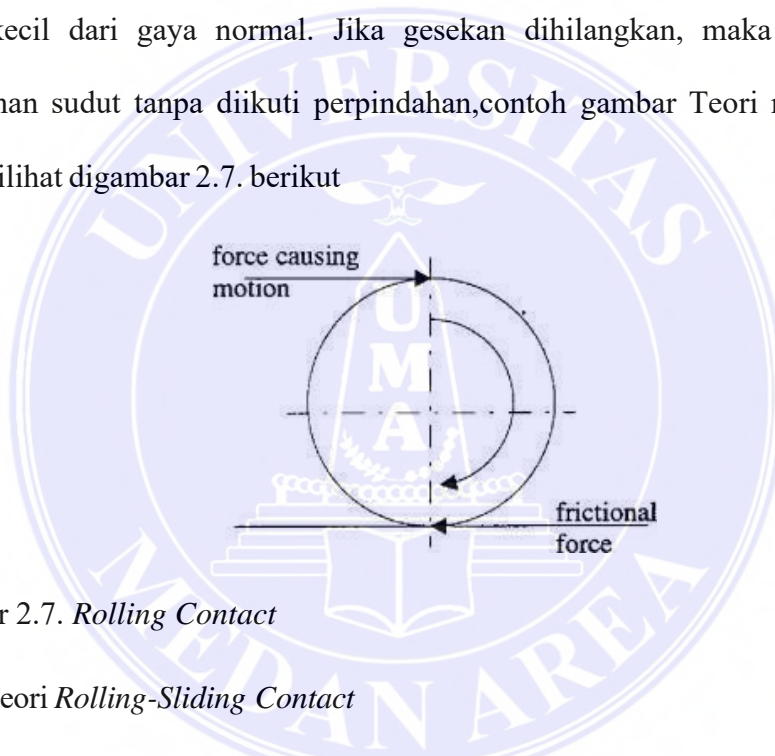
Gesekan biasanya terjadi di antara dua permukaan benda yang bersentuhan, baik terhadap udara, air atau benda padat. Ketika sebuah benda bergerak di udara, permukaan benda tersebut akan bersentuhan dengan udara sehingga terjadi gesekan antara benda tersebut dengan udara. Demikian juga ketika bergerak di dalam air. Gaya gesekan jugaselalu terjadi antara permukaan benda padat yang bersentuhan, sekalipun benda tersebut sangat licin. Permukaan benda yang sangat licin pun sebenarnya sangat kasar dalam skala mikroskopis (*asperity*). Jika permukaan suatu benda bergeseran dengan permukaan benda lain, masingmasing benda tersebut melakukan gaya gesekan antara satu dengan yang lain. Gaya gesekan pada benda yang bergerak selalu berlawanan arah dengan arah gerakan benda tersebut. Selain menghambat gerak benda, gesekan dapat menimbulkan ausdan kerusakan, contoh gambar *Sliding contact* dapat dilihat di gambar 2.6. berikut.



Gambar 2.6. *Sliding contact*

2. Teori *Rolling contact*

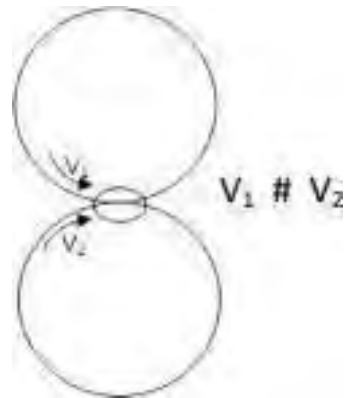
Rolling adalah perbedaan kecepatan sudut (*angular*) relatif antara dua benda terhadap suatu axis yang berada dalam suatu bidang tangensial. Yaitu fenomena terjadinya perpindahan (*displacement*) secara rotasi pada suatu titik, yang diakibatkan adanya perbedaan w . Pada problem 2-D untuk dua buah silinder, kontak yang terjadi berjenis *line contact*. *Rolling contact* sesungguhnya hanya dapat terjadi jika terdapat gesekan, sehingga gaya tangensial yang dipindahkan akan selalu lebih kecil dari gaya normal. Jika gesekan dihilangkan, maka hanya terjadi perubahan sudut tanpa diikuti perpindahan, contoh gambar Teori *rolling contact* dapat dilihat di gambar 2.7. berikut



Gambar 2.7. *Rolling Contact*

3. Teori *Rolling-Sliding Contact*

Rolling contact dapat diartikan adanya kontak antara dua buah benda dimana benda mengalami rotasi dan adanya pembebanan untuk benda tersebut sehingga terjadinya kontak. ketika dua buah benda tersebut mengalami rotasi yang sama dapat dikatakan bahwa benda tersebut mengalami *rolling sempurna*. Namun dalam kenyataannya kondisi *rolling sempurna* sangat sulit ditemui, contoh gambar Teori *rolling-sliding contact* dapat dilihat di gambar 2.8. berikut.



Gambar 2.8. *rolling-sliding contact*

Ketika benda tersebut berputar, sedemikian sehingga titik kontak bergerak ke permukaan benda, kemudian ada dua berbagai kemungkinan dimana kecepatan V_1 dari titik-kontak pada permukaan benda satu samadengan kecepatan V_2 dari titik-kontak di atas permukaan benda dua, atautidak. Dalam kasus ini (kecepatan yang sama) orang menyebutnyarolling, kemudian kasus tentang dorongan dinamakan sliding, atau rolling dengan *sliding*, Adapun perhitungan menganalisa keausan dalam sebuah gear sebagai berikut:

Rumus analisa keausan

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

Dimana :

A_0 = Luas awal (mm)

A_1 = Luas akhir (mm)

K = keausan (mm)

2.2 Roda Gigi

Roda gigi adalah komponen terpenting dalam transmisi daya pada komponen mekanik dan transportasi. Peningkatan variasi pada roda gigi meningkat, seperti untuk mengurangi kecepatan yang digunakan dalam mesin industri dan kendaraan listrik dengan kecepatan tinggi, serta pemeriksaan profil roda gigi dan tingkat kualitas yang akurat di lokasi, sangat penting dalam proses produksi roda gigi. Selain itu resolusi yang diperlukan untuk pemeriksaan profil roda gigi berkualitas tinggi berada dalam kisaran beberapa micrometer (Chen & Chen, 2019). Penggunaannya sudah memakai roda gigi differensial dan mungkin roda gigi *hypoid*. Mereka yang menggunakan aplikasi roda gigi pada perangkat mekaniknya menjadi leluhur dari semua roda gigi yang modern. Oleh karena banyak aplikasi penggunaan roda gigi di masa kuno, sehingga di kota Alexandria banyak di temukan barang kuno berupa fosil yang menguatkan hipotesa bahwa awal lahirnya roda gigi dan penggunaannya pada sistem mekanik terjadi di masa Yunani kuno Alexandria (Lewis, 1993).

Roda gigi adalah roda yang berguna untuk mentransmisikan daya besar atau putaran yang cepat. Rodanya dibuat bergerigi dan berbentuk silinder atau kerucut yang saling pada kelilingnya agar jika salah satu diputar maka yang lain akan ikut berputar (Foley, Vernard et al, 1982). dapat dilihat di gambar 2.9. berikut.



Gambar 2.9. Roda Gigi

2.2.1 Fungsi Roda Gigi

Adapun fungsi roda gigi sebagai berikut:

1. Mampu Merubah Daya

Dengan adanya roda gigi, Anda dapat mengubah arah gerak gerak putar roda kendaraan dengan kontrol melalui kemudi.

2. Merubah Torsi

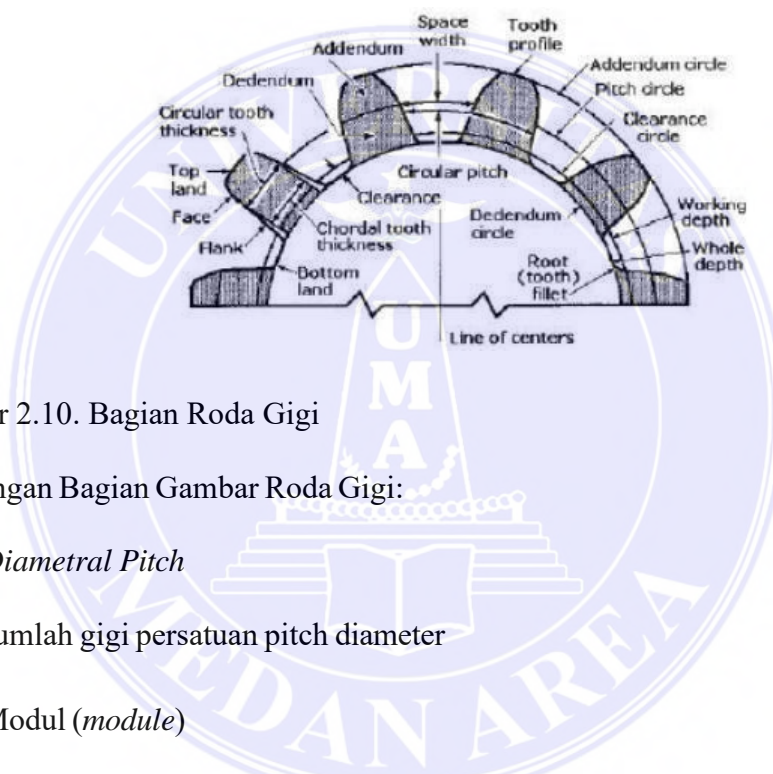
Angka dari torsi sebuah mesin bisa didapatkan dari perkalian gaya dengan jarak karena itulah semakin besar diameter roda gigi, maka besaran torsi yang dihasilkan juga lebih besar ataupun sebaliknya.

3. Sebagai *Transmitter* Daya

Disini dapat dianalisa bahwa ketika gigi saling berhubungan maka dapat mengalirkan daya, contoh nya di mesin bubut yang mana memiliki motor dengan roda gigi untuk transmisi motor sehingga bisa bekerja maksimal sesuai dengan kapasitasnya.

2.2.2. Bagian bagian Roda Gigi

Nama-nama bagian utama Roda gigi diberikan dalam gambar. Adapun ukurannya dinyatakan dengan diameter lingkaran jarak bagi, yaitu Lingkaran hayal yang mengelilingtana slip. Ukuran gigi dinyatakan dengan jarak bagi lingkaran yaitu jarak sepanjang lingkaran jarak bagi antara profil dua gigi yang berdekatan, berikut dapat dilihat di gambar 2.10.berikut.



Gambar 2.10. Bagian Roda Gigi

Keterangan Bagian Gambar Roda Gigi:

1. *Diametral Pitch*

Jumlah gigi persatuan pitch diameter

2. Modul (*module*)

Perbandingan antara diameter lingkaran pitch dengan jumlah gigi, secara formulasi dapat ditulis:

$$d = m \cdot z \dots\dots\dots(2.2)$$

dimana :

m = Modul (mm)

d = Diameter Pitch (mm)

z = Jumlah Gigi

3. Addendum (*Addendum*)

Jarak antara lingkaran kepala dengan lingkaran pitch dengan lingkaran pitch diukur dalam arah radial.

$$h_a = m \dots \dots \dots (2.3)$$

dimana :

h_a = Addendum

m = Modul (mm)

4. Dedendum (*Dedendum*)

Jarak antara lingkaran pitch dengan lingkaran kaki yang diukur dalam arah radial.

$$h_f = 1,25. m \dots \dots \dots (2.4)$$

dimana:

h_f = Dedendum

m = Modul (mm)

2.1.3 Jenis- Jenis Roda Gigi

1. Roda Gigi Lurus (Spur Gear)

Roda Gigi Lurus merupakan roda gigi yang paling sederhana. Terdiri dari silinder atau piringan dengan gigi-gigi yang terbentuk secara radial/berporos. Ujung dari gigi-gigi tersebut berbentuk lurus dan tersusun paralel terhadap aksis rotasi. Roda gigi ini hanya dapat dihubungkan secara paralel. Contoh spur ini terdapat di gear box pada mesin dapat dilihat di gambar 2.11. berikut.



Gambar 2.11. Roda Gigi Lurus

2. Roda Gigi Luar dan Dalam

Merupakan roda gigi yang gigi-giginya terletak dibagian dalam silinder roda gigi. Berbeda dengan roda gigi eksternal yang memiliki gigi-gigi di luar sillindernya, roda gigi internal tidak akan mengubah arah putarannya. Contoh penerapan roda gigi dalam adalah terdapat di lift dapat dilihat di gambar 2.12. berikut.



Gambar 2.12. Roda Gigi luar dan Dalam

3. Roda Gigi Heliks (*Helical Gear*)

Roda gigi heliks adalah roda gigi yang diciptakan untuk menyempurnakan spur gear. Bentuk ujung dari gigi-giginya tidak paralel terhadap aksis rotasi, melainkan miring pada derajat tertentu. Karena bagian giginya bersudut, maka roda gigi ini terlihat seperti heliks contoh gambar Roda Gigi Heliks dapat dilihat di gambar 2.13. berikut.



Gambar 2.13. Roda Gigi Heliks (*Helical Gear*)

4. Roda Gigi Heliks Ganda (*Herringbone Gear*)

Roda gigi heliks ganda atau roda gigi herringbone muncul karena masalah dorongan aksial (*axial thrust*) dari roda gigi heliks tunggal. Double helical gear mempunyai dua pasang gigi yang berbentuk V sehingga terlihat seperti dua roda gigi heliks yang disatukan. Hal ini akan membentuk dorongan aksial saling meniadakan. Roda gigi heliks ganda memiliki kerumitan bentuk yang lebih sulit dari roda gigi lainnya, contoh gambar Roda Gigi Heliks Ganda dapat dilihat di gambar 2.14 berikut



Gambar 2.14. Roda Gigi Heliks Ganda (*Herringbone Gear*)

5. Roda Gigi Bevel (*Bevel Gear*)

Roda gigi bevel berbentuk seperti kerucut terpotong dengan gigi-gigi yang

terbentuk di permukaannya. Ketika dua roda gigi bevel bersinggungan, titik ujung kerucut yang imajiner akan berada pada satu titik dan aksis poros yang akan saling berpotongan. Sudut antara kedua roda bisa berapa saja kecuali 0 dan 180 derajat. Roda gigi bevel bisa berbentuk lurus seperti spur ataupun spiral seperti roda gigi heliks. Untuksama seperti perbandingan antara spur dan roda gigi heliks, contoh roda gigi bevel dapat dilihat di gambar 2.15. berikut.



Gambar 2.15. Roda Gigi Bevel (Bevel Gear)

6. Roda Gigi Hypoid (Hypoid Gear)

Mempunyai alur gigi berbentuk spiral pada bidang kerucut yang sumbunya bersilang. Dan pemindahan gaya pada permukaan gigi berlangsung secara meluncur dan menggelinding. Contoh pemakaiannya seperti yang dipakai pada roda gigi difensial otomobil. Sebenarnya roda gigi hypoid mirip dengan roda gigi bevel, namunkedua aksisnya tidak berpotongan, contoh gambar Roda Gigi Hypoid dapat dilihat di gambar 2.16. berikut.



Gambar 2.16. Roda Gigi Hypoid (*Hypoid Gear*)

7. Roda Gigi Cacing (Worm Gear)

Roda gigi cacing menyerupai *screw* berbentuk batang yang dipasangkan dengan roda gigi biasa atau spur. Roda gigi cacing merupakan salah satu jenis gigi yang mudah digunakan untuk mendapatkan rasio torsi yang tinggi namun kecepatan putar gigi rendah. Pada umumnya, pasangan roda gigi spur atau heliks memiliki rasio maksimum 10:1, sedangkan rasio dari roda gigi cacing sendiri mampu mencapai 500:1. Namun, kerugian dari pemakaian roda gigi cacing adalah adanya gesekan pada roda gigi cacing yang mengakibatkan efisiensi yang rendah sehingga roda gigi harus diberi pelumas, contoh gambar Roda Gigi Cacing dapat dilihat di gambar 2.17. berikut



Gambar 2.17. Roda Gigi Cacing (*Worm Gear*)

8. Roda Gigi Non Sirkular

Roda Gigi Non-Sikular dirancang untuk tujuan tertentu. Roda gigi biasa dirancang untuk mengoptimisasikan transmisi daya dengan minimgetaran dan keausan, roda gigi non sikular dirancang untuk variasi radio, osilasi, dan sebagainya, contoh gambar Roda Gigi Non Sirkular dapat dilihat di gambar 2.18. berikut.



Gambar 2.18. Roda Gigi Non Sirkular

9. Roda Gigi Episiklik (*Planetary Gear*)

Roda gigi episiklik (*planetary gear* atau *epicyclic gear*) adalah kombinasi roda gigi yang menyerupai pergerakan planet dan matahari. Roda gigi episiklik digunakan untuk mengubah rasio putaran poros secara aksial, bukan parallel, contoh gambar Roda Gigi Episiklik dapat dilihat di gambar 2.19. berikut.



Gambar 2.19. Roda Gigi Episiklik (*Planetary Gear*)

10. Roda Gigi Pinion (*Rack and Pinion Gear*)

Pasangan roda gigi pinion terdiri atas roda gigi yang disebut dengan pinion dan batang bergerigi yang disebut dengan rack. Perpaduan dari rack dan pinion menghasilkan mekanisme transmisi torsi yang berbeda. Torsi ditransmisikan dari gaya putar menuju gaya translasi atau sebaliknya. Ketika roda gigi pinion berputar, batang rack akan bergerak lurus. Mekanisme ini digunakan pada beberapa jenis kendaraan untuk mengubah rotasi dan setir kendaraan menjadi pergerakan ke kanan dan ke kiri dari rack sehingga roda berubah arah, contoh gambar Roda Gigi Pinion dapat dilihat di gambar 2.19. berikut.



Gambar 2.20. Roda Gigi Pinion (*Rack and Pinion Gear*)

2.3 Polimer

Polimer merupakan bahan yang sangat bermanfaat dalam dunia teknik, khususnya dalam industri konstruksi. Polimer sebagai bahan konstruksi bangunan dapat digunakan baik berdiri sendiri, misalnya sebagai perekat, pelapis, cat, dan sebagai glazur maupun bergabung dengan bahan lain membentuk komposit. Untuk aplikasi struktur yang memerlukan kekuatan dan ketegaran, diperlukan perbaikan sifat mekanik polimer agar memenuhi syarat. Untuk kebutuhan tersebut, berkembanglah komposit polimer yang disertai penguat oleh berbagai *filler* di antaranya serat. Bahan polimer yang biasa digunakan dalam pembuatan komposit adalah polimer jenis termoset. Pemilihan bahan ini didasarkan bahwa polimer termoset memiliki ketahanan terhadap suhu dan bahan kimia atau pelarut yang disebabkan wujudnya yang cair dan kekentalannya tidak terlalu tinggi sehingga mampu membasahi permukaan serat. Sifat bahan komposit sangat dipengaruhi oleh sifat dan distribusi unsur penyusun, serta interaksi antara keduanya. Parameter penting lain yang mungkin mempengaruhi sifat bahan komposit adalah bentuk, ukuran, orientasi dan distribusi dari penguat (*filler*)

dan berbagai ciri-ciri dari matriks. Sifat mekanik merupakan salah satu sifat bahan komposit yang sangat penting untuk dipelajari. Untuk aplikasi struktur, sifat mekanik ditentukan oleh pemilihan bahan. Sifat mekanik bahan komposit bergantung pada sifat bahan penyusunnya. Peran utama dalam komposit berpenguat serat adalah untuk memindahkan tegangan (*stress*) antara serat, memberikan ketahanan terhadap lingkungan yang merugikan dan menjaga permukaan serat dari efek mekanik dan kimia. Sementara kontribusi serat sebagian besar berpengaruh pada kekuatan tarik (*tensile strength*) bahan komposit (R.Kartini, dkk 2002).

1. Jenis Jenis Polimer

Teknologi polimer berdasarkan sumbernya dapat dikelompokkan dalam 3 kelompok (Burhanuddin, 2015), yaitu :

- a. Polimer Alam yang terjadi secara alami seperti karet alam, karbohidrat, protein, selulosa, dan wol.
- b. Polimer Semi Sintetik yang diperoleh dari hasil modifikasi polimer alam dan bahan kimia seperti serat rayon dan selulosanitrat.
- c. Polimer Sintesis, yaitu polimer yang dibuat melalui Polimerisasi dari monomer-monomer polimer, seperti *formaldehida*."

Berdasarkan sumbernya

- a. Polimer alami : kayu, kulit binatang, kapas, karet alam, rambut
- b. Polimer sintesis
 1. Tidak terdapat secara alami: *nylon, polyester, polipropilen, polistiren*
 2. Terdapat di alam tetapi dibuat oleh proses buatan: karet sintesis
 3. Polimer alami yang dimodifikasi: seluloid, cellophane (bahan dasarnya dari selulosa tetapi telah mengalami modifikasi.

2 Sifat Sifat Dasar Polimer

Pada saat ini umumnya ada enam komoditas polimer yang banyak digunakan, mereka adalah

2.4 *Polyformaldehyde* (POM)

POM atau *Polyformaldehyde* adalah material kelas engineering POM memiliki kombinasi koefisien gesek rendah, tingkat abrasi yang baik dan kekerasan material yang cukup. POM sesuai kepatutan dari cost material adalah pilihan pertama untuk aplikasi-aplikasi yang membutuhkan presisi tinggi. POM memiliki

kestabilan dimensi yang baik pada peningkatan suhu, dan dapat diaplikasikan pada temperature sekitar 100°C POM juga tahan melawan hydrolysis. POM dikenal sebagai material thermoplastik yang sering digunakan untuk menggantikan beberapa aplikasi-aplikasi metal. Karakteristik utamanya adalah koefisien gesek yang rendah (0,35) , tahan aus, dan permukaannya yang keras. Selain itu, POM-C juga tahan terhadap cairan basa, bensin, alkohol, dan pelumas. Nilai ketahanan elastis (*E-modulus of elasticity*) yang cukup tinggi mencapai 2600 MPa dan kekerasan permukaan yang cukup (*notch impact strength*) membuat POM-C lebih ulet tahan menerima gaya tekan dan tarik. Tingkat penyerapan air yang sangat rendah hanya 0,2% , juga memberikelebihan tersendiri bagi POM-C membuat stabilitas dimensi selalu terjaga. POM yang diproduksi dengan kualitas raw material yang baik seharusnya tidak memiliki *Microporosity*, *Microporosity* dapat merusak material ketika material tersebut diberi tekanan dalam waktu lama (*continuous stress*) dan menimbulkan pecahan (*stress crack*) . gambar bahan dapat dilihat pada gambar 2.21. berikut.



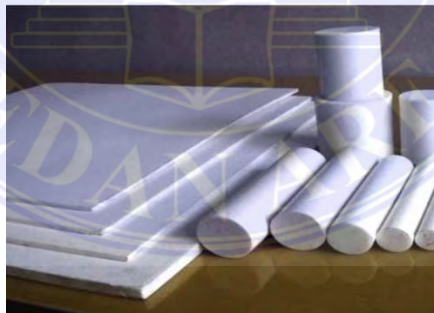
Gambar 2.21. Profil Lembaran *Polyformaldehyde*

Tabel 2.1. Spesifikasi Spesimen

	<i>Densitas</i> <i>Material</i> (kg/m^3)	<i>Tensile</i> <i>Strength</i> (<i>Mpa</i>)	<i>Elongation</i> <i>at break</i> (%)	<i>Elastic</i> <i>Modulu</i> (<i>Mpa</i>)	<i>Yield</i> <i>Strenth</i> (<i>Mpa</i>)
<i>Polyformaldehyde</i>	1.410	57.125	98.098	21.698	57.11

2.5 *Polytetrafluoroetilen (Teflon)*

Ketahan listrik baik, unggul dalam ketahanan panas dan ketahanan dingin. Indeks ketahanan abrasi rendah sekali yang berarti bahwa bahan tak saling melengket dengan zat lain. PTFE secara kimia stabil dengan kristalisasi sangat tinggi. Bahan ini lebih berat diantara polimer lain. Sifat mekaniknya bermassa jenis tinggi. Temperatur deformasinya termal pada 4,6 kgf/cm² adalah 120 °C dapat digunakan untuk waktu lebih lama 90 °C sampai 260 °C. ketahanan panas sekitar 288 °C. Kristalisasinya hilang bila melewati 300 °C, dan kekuatan tariknya berkurang sangat cepat. Sifat kimianya hanya diserang bertahap oleh logam alkali dan gas flour yang tinggi konsentrasinya, tetapi tak pernah diserang oleh aqua regia, asam nitrat panas, asam sulfat panas dan soda kaustik panas berkonsentrasi tinggi karena merupakan resin terkuat. Mengenai sifat listriknya, bahan unggul dalam isolasi listrik, dan kurang di pengaruhi oleh temperatur dan kelembaban. Warna putih seperti lilin dapat dilihat pada gambar 2.20. berikut.



Gambar 2.22. Profil *PolyTetrafluoroetilen (Teflon)*

2.6 *Polyethylene (PE)*

Polyethylene adalah bahan termoplastik yang kuat dan dapat dibuat dari bahan lunak sampai kaku. Ada dua jenis yaitu *polyethylene* densitas rendah (*Low Density Polyethylene/LDPE*) dan *Polyethylene* densitas tinggi (*High Density Polyethylene/hdpe*).

a. LDPE (*Low Density Polyethylene*)

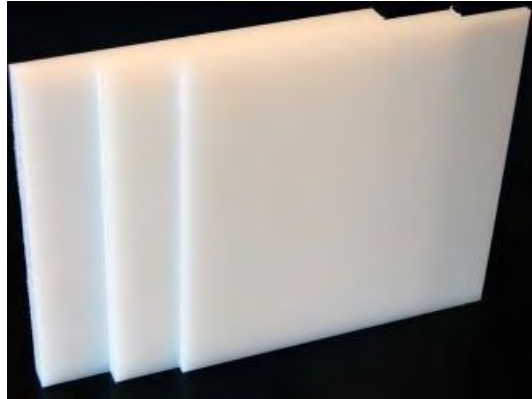
Polimer LDPE memiliki rantai cabang yang cukup banyak membuatnya tidak terlalu padat sehingga bisa menghasilkan jenis *polyethylene* yang lebih lunak dan fleksibel. LDPE (singkatan dari *Low-Density Polyethylene*) biasa digunakan sebagai bahan produk tas (belanja, laundry, roti, makanan beku, koran, sampah), pembungkus plastik, pelapis karton susu serta gelas minuman juga botol mustard yang bisa diremas, tempat penyimpanan makanan, dan tutup kemasan. LDPE juga digunakan untuk pelapis kabel dan kawat, dapat dilihat pada gambar 2.23. berikut.



Gambar 2.23. Profil LDPE (*Low Density Polyethylene*)

b. *High Density Polyethylene* (HDPE)

HDPE (*High density polyethylene*) adalah polimer termoplastik yang terbuat dari proses pemanasan minyak bumi. Sifatnya keras tahan terhadap suhu tinggi, dan dapat dibentuk menjadi beragam benda tanpa kehilangan kekuatannya. Lapisan HDPE cenderung terlihat buram setelah diproses, dan dapat didaur ulang. Ketangguhan HDPE datang dari susunan molekulnya. Percabangan molekulnya cukup jarang dan berjauhan, menciptakan kekuatan tensil yang tangguh. Hal ini memberi plastik HDPE kelenturan serta daya tahan tinggi. HDPE contohnya digunakan sebagai kantung belanja, karton susu, botol jus, botol shampoo dan botol kemasan obat, dapat dilihat pada gambar 2.24. berikut.



Gambar 2.24. Profil Lembaran *High Density Polyethylene* (HDPE)

2.7 *Mc Blue*

MC Nylon adalah sejenis resin industri yang terbuat dari *monomernylon 6* yang di *inject* langsung dengan *caprolactam* ke dalam bentuk cetakannya dan terjadi polymerisasi dengan menggunakan anion. Walaupun *mc nylon* secara kimia identik dengan sejenis *nylon 6 mold* injeksi atau *modal ekstruksi* lainnya yang memiliki molekul lebih besar dan suhu kristalisasi lebih tinggi karena memiliki beberapa sifat rekayasa yang superior.

mc nylon secara cepat menjadi material industri yang menggantikan logam dan kayu dalam banyak bentuk keperluan manufaktur. *mc nylon* memiliki berat yang sangat ringan hanya 1/7 dari masa logam pada umumnya. Material ini juga dapat meredam kejutan dan suara dengan sangat baik, mudah diproses mesin, sangat tahan terhadap erosi dan tahan terhadap jenis cairan, kemampuan insulasi dan konduksi listrik juga sangat ekonomis, Gambar *mc nylon* dapat dilihat pada gambar 2.25. berikut



Gambar 2.25. Profil Mc Blue

2.8 Sistem Pelumasan

Sistem Pelumasan adalah zat kimia yang umumnya cairan yang diberikan diantara dua benda bergerak untuk mengurangi gaya gesek, Pelumasan berfungsi sebagai lapisan pelindung yang memisahkan dua permukaan yang berhubungan, cairan minyak lumas merupakan salah satu dari empat fase benda yang volumenya tetap dalam kondisi suhu dan tekanan tetap. Dari empat fase benda tersebut adalah zat cair, padat, gas dan massa jenis, cairan termasuk golongan fluida yang mana disebut zat cair. Didalam hukum aliran viskos geseran dalam (*viskositas*) fluida adalah konstan sehubungan dengan gesekannya. Minyak lumas memiliki kekentalan yang berbeda-beda, kekentalan (*viskositas*) pelumas diklasifikasikan secara khusus oleh international *organization for standardization* (ISO).

2.8.1 Jenis Pelumasan

1. Jenis Pelumasan Menurut Bahan Dasarnya

a. Pelumas mineral (pelikan)

yang berasal dari minyak bumi. Mineral yang terbaik digunakan untuk pelumas mesin-mesin diesel otomotif, kapal, dan industri.

b. Pelumas nabati,

yaitu yang terbuat dari bahan lemak binatang atau tumbuh-tumbuhan. Sifat penting yang dipunyai pelumas nabati ini ialah bebas sulfur atau belerang, tetapi tidak tahan suhu tinggi, sehingga untuk mendapatkan sifat gabung yang baik biasanya sering dicampur dengan bahan pelumas yang berasal dari bahan minyak mineral, biasa disebut juga *compound oil*.

c. Pelumas sintetik

yaitu pelumas yang bukan berasal dari nabati ataupun mineral. Minyak pelumas ini berasal dari suatu bahan yang dihasilkan dari pengolahan tersendiri. Pada umumnya pelumas sintetik mempunyai sifat-sifat khusus, seperti daya tahan terhadap suhu tinggi yang lebih baik daripada pelumas mineral atau nabati, daya tahan terhadap asam, dll

2. Jenis Pelumasan Menurut Bentuknya

Fungsi pelumas antara lain untuk pengaturan panas, menutup kotoran atau debu, transmisi daya, mengurangi oksidasi, dan mencegah terjadinya korosi. Biasanya pelumas berbentuk semi padat atau cair, namun ada juga yang memiliki wujud lainnya, antara lain :

a. Pelumas Padat

Padat apa pun dapat bertindak sebagai pelumas padat asalkan mudah tergeser dan mulus ketika ada sela di antara permukaan geser. Ada banyak sifat lain yang diinginkan, yaitu:

1. Kemampuan untuk menempel pada satu atau kedua permukaan bantalan untuk memastikan retensi di bidang kontak
2. Stabilitas kimia pada kisaran suhu yang diperlukan dilingkungan tertentu
3. Ketahanan yang cukup untuk dipakai

4. Tidak beracun
5. Pemakaian mudah
6. Ekonomis

Sebagian besar bahan yang tersedia dieliminasi oleh persyaratan ini, dan pada praktikum hampir semua pelumas padat dalam ilmu teknik terdiri dari tiga bahan yaitu *grafit*, *molibdenum disulfida*, dan *polytetrafluoroethylene (PTFE)*. Pelumas padat dapat digunakan dalam beberapa bentuk yang berbeda, seperti bubuk padat, bubuk perekat, filmberikat, atau blok padat. Dalam bentuk balok padat, bahannya sering disebut kering bahan bantalan daripada pelumas padat.

b. Pelumas Semi Padat

Pelumas yang semi padat (Semi solid Lubricant) Pelumas semi padat ciri khasnya adalah, akan menjadi cair manakala suhu naik, dan sebaliknya akan menjadi kental jika temperatur turun. Contohnya, Gemuk (*Grease*). *Grease* adalah pelumas padat atau semi padat dan umumnya terbuat dari sabun, minyak mineral, dan bermacam-macam bahan tambah serta aditif. Pelumas ini melekat kuat pada permukaan logam dan sangat kental (*highly viscous*). Viskositasnya tergantung pada laju geseran antar permukaan logam.

c. Pelumas Cair

Umumnya adalah minyak oli mineral (alam), minyak oli dari tumbuhan atau binatang, dan oli sintesis. Kadang-kadang air juga digunakan pada peralatan dalam lingkungan air. Pelumas memerlukan *additive* untuk meningkatkan kualitas pelumasan untuk keperluan tertentu. Misalnya *additive* untuk *extreme pressure* diperlukan pada pelumas untuk roda gigi di mana pelumas akan mengalami beban tekanan yang tinggi. Aditif anti oksidasi dan tahan temperatur tinggi diperlukan

untuk oli pelumas engine. Oli pelumas diklasifikasikan berdasarkan viskositas dan kandungan aditifnya. Oli-oli yang beredar di pasaran sebaiknya telah memiliki kode SAE dan API. SAE adalah singkatan dari *Society of Automotive Engineer* yang menunjukkan kekentalan oli. SAE adalah asosiasi yang berfungsi menstandarisasi berbagai bidang rancang desain teknik dan manufaktur. Bisadikatakan bahwa SAE ini adalah standar internasional untuk kekentalan oli. Contoh kode SAE oli yang tertulis pada oli misalnya SAE 10W-30, 20W-50, dan 20W-Ini adalah contoh oli multigrade. Huruf W pada kode SAE itu merujuk kepada Winter. Jadi, angka di depan huruf W adalah tingkatan kekentalan oli pada suhu dingin. Sedangkan angka di belakang huruf W menunjukkan kekentalan oli saat mesin bekerja atau saat kondisinya panas. Semakin kecil angka di depan huruf W, artinya oli tersebut semakin encer. Pengujian keenceran oli ini dilakukan pada suhu -30 atau 035 derajat celcius. Misalnya ada kode 5W-35. Oli ini akan lebih mampu mengalir ketika cuaca dingin daripada 10W-30, Adapun jenis oli pelumas yang akan digunakan dalam pengujian ini yaitu oli Shell SPIRAX S5 ATF X (*automatic transmission fluid.*) dengan spesifikasi sebagai berikut,

Tabel 2.2. 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	ASTEM 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

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian

1. Tempat

Tempat Adapun pelaksanaan penelitian ini yaitu dilakukan di Cv, Rimbun Jaya di Jalan Jl. Monginsidi no. 91, Kota Medan

2. Waktu

Adapun waktu dan penelitian yang sejak tanggal di keluarkannya Surat keputusan tugas akhir dan penentuan dosen pembimbing sebagai berikut.

Tabel 3.1. Rencana Jadwal Penelitian Tugas Akhir

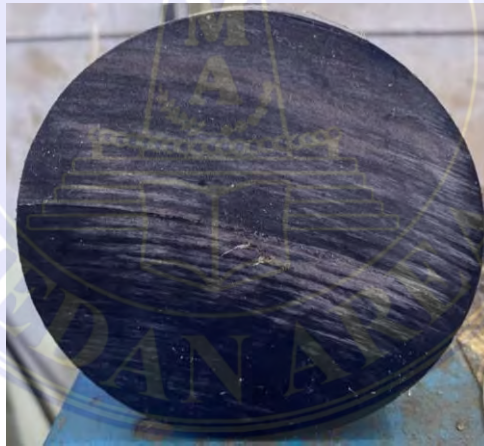
Aktifitas	Tahun 2023 – Tahun 2024						
	Des	Jan	Feb	Mar	Apr	Jul	Sep
Pengajuan Judul							
Penulisan Proposal							
Seminar Proposal							
Proses Penelitian							
Pengolahan Data							
Penyelesaian Laporan							
Seminar Hasil							
Evaluasi dan persiapan							
Sidang							
Sidang Sarjana							

3.2 Bahan dan Alat

3.2.1 Bahan

1. POM (*Polyformaldehyde*)

POM (juga dikenal sebagai Saigang, Trane). Itu diperoleh dengan polimerisasi formaldehida sebagai bahan baku. POM-H (*polyoxymethylene, homopolymer*) dan POM-K (*polyoxymethylene copolymer*) adalah plastik rekayasa termoplastik dengan kepadatan tinggi dan kristalinitas tinggi. Memiliki sifat fisik, mekanik dan kimia yang baik, terutama ketahanan gesekan yang sangat baik, adapun grade bahan yang digunakan yaitu *derlin 100* ,contoh Bahan POM (*Polyformaldehyde*) dapat dilihat di gambar 3.1. berikut.



Gambar 3.1 Bahan POM (*Polyformaldehyde*)

2. Oli (Pelumas)

Adapaun bahan pelumas yang digunakan yaitu oli transmisi SGMW API GL-5 yang digunakan untuk melumasi saat pengujian roda gigi dalam keadaan terlumasi ,gambar dapat dilihat digambar 3.2. berikut.



Gambar 3.2. Oli Transmisi Shell SPIRAX S5 ATF X

3.2.2 Alat

1. Uji Keausan Roda Gigi

Alat uji keausan berfungsi untuk menguji keausan dengan menggunakan tipe berdasarkan perangkat keras yaitu arduino uno, sensor loadcell dan sensor rpm. Alat ini nantinya akan digunakan peneliti menguji roda gigi dengan berbagai variasi bahan, gambar Alat Uji Keausan Roda gigi dapat dilihat di gambar 3.3. berikut.



Gambar 3.3. Alat Uji Keausan Roda gigi

2. Mesin Frais

Mesin frais adalah mesin perkakas yang memiliki gerak utama berputar untuk memutar alat potong yang digunakan untuk menyayat benda kerja agar menjadi bentuk tertentu. Mesin ini digunakan pada pemebentukan roda gigi setelah proses milling. Gambar mesin frais dapat dilihat pada gambar 3.4. dibawah



Gambar 3.4. Mesin Frais

3. Kertas *Milimeter*

Digunakan untuk mengukur keausan roda gigi bahan variasi dengan meletakan roda gigi di atas kertas film transparan . yang sudah di print sep ,Salah satu digunakan yang sesuai kegunaan, kertas film transparan dapat dilihat di gambar 3.5. berikut.



Gambar 3.5. Kertas *Milimeter*

4. *Thermogun*

Adapun digunakan thermogun untuk mengukur tempratur roda gigi saat pengujian berlangsung dikarenakan aman saat digunakan dari jarak jauh



Gambar 3.6. *Thermogun*

5. *Scanner*

Scanner digunakan mengukur keausan roda gigi, Roda gigi akan di scan untuk mengetahui keausan. Gambar scanner dapat dilihat pada gambar 3.7. dibawah



Gambar 3.7, *Scanner*

6. *Timbangan*

Timbangan digunakan untuk mengukur massa roda gigi sebelum dan sesudah pengujian agar diketahui keausan dari pengujain tersebut,Gambar dapat dilihat pada gambar 3.8. dibawah.



Gambar 3.8. Timbangan

7. Tachometer

Digunakan untuk mengukur kecepatan putaran poros alat uji keausan



Gambar 3.9. Tachometer

8. Laptop

Digunakan untuk mengerjakan data penelitian serta menampilkan data grafik dan pengukuran keausan. Dapat dilihat pada gambar 3.9.



Gambar 3.10. Laptop

3.3. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu secara metode eksperimen yang merupakan pembuatan atau tindakan dan pengamatan yang dilakukan dan bertujuan untuk mencari tahu penyebab terjadinya keausan pada roda gigi yang diteliti. Sistematis pada analisis pada pembuatan rig uji keausan dan kelelahan roda gigi dengan sensor putaran dan beban adalah sebagai berikut:

3.3.1 Sistematis Penelitian

Sistematis pada analisis pada pembuatan rig uji keausan roda gigi dengan putaran dan beban yang sudah ditentukan adalah sebagai berikut:

1. Studi literatur.

Mengumpulkan informasi tentang karakteristik roda gigi yang diambil dari berbagai sumber, termasuk spesifikasi teknis, material, dimensi, dan parameter desain.

2. Mengukur dimensi dan fitur fisik dari setiap roda gigi menggunakan kertas milimeter.

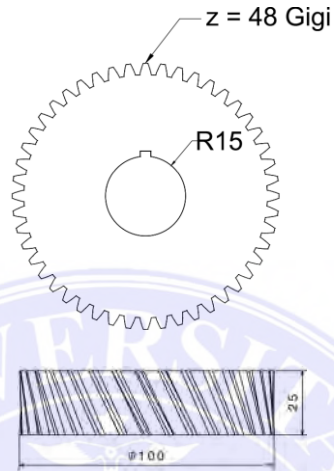
3. Menguji ketahanan dan kekuatan setiap roda gigi menggunakan metode uji kekuatan yang sesuai, seperti tes keausan, tes uji *impact*, dan lain-lain. Meng analisis data yang diperoleh dari pengujian fisik dan simulasi dengan menggunakan metode statistik untuk mendapatkan informasi tentang kekuatan, daya tahan, dan karakteristik lainnya dari roda gigi lurus.

3.3.2. Prosedur Penelitian

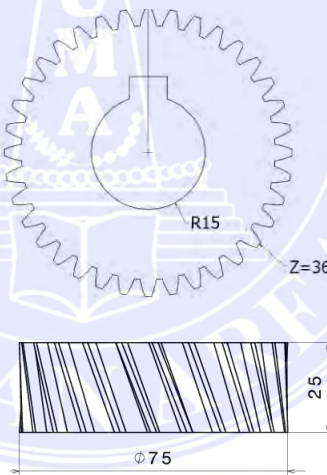
Langkah-langkah prosedur pelaksanaan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan peralatan dan bahan uji.

2. Menyiapkan lembar data *sheet* pengujian keausan roda gigi.
3. Memeriksa dan memastikan pembacaan alat ukur dapat berfungsi dengan baik dan memastikan bahwa alat uji berfungsi dengan baik.



Gambar 3.11. Spesimen Roda gigi miring modul 2, rasio 1:1



Gambar 3.12. Spesimen Roda gigi miring modul 2, rasio 1:0,75

3.4 Populasi dan Sampel

3.4.1 Populasi Penelitian:

Populasi penelitian ini terdiri dari berbagai jenis roda gigi miring yang digunakan dalam sistem transmisi mesin industri di berbagai sektor seperti manufaktur, pertambangan, otomotif, dan lain-lain. Populasi ini mencakup berbagai ukuran dan material rodagigi yang digunakan dalam berbagai aplikasi.

3.4.2 Sampel Penelitian:

Untuk membatasi penelitian, akan diambil sampel acak dari populasi diatas. Sampel penelitian ini akan terdiri dari 3 buah rodagigi miring yang dipilih secara acak dari berbagai sektor industri yangtelah disebutkan sebelumnya. Sampel ini akan mencakup berbagai ukuran dan material roda gigi untuk mencerminkan keragaman yang ada dalam populasi.

Tabel 3.2. Data Populasi dan Sampel

No.	Bahan	Modul (mm)	Rasio	Kondisi	Jumlah
1	POM	2	1:1	Kering dan terlumasi	2
2	POM	2	1:0,75	Kering dan terlumasi	2

3.5 Prosedur Kerja

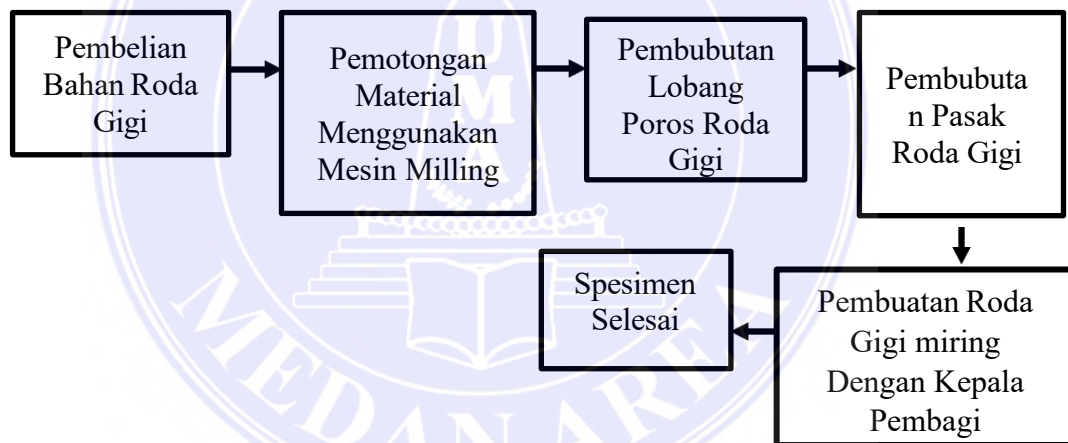
Langkah–langkah prosedur pelaksanaan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Scan Roda gigi sebelum di uji untuk mengetahui ukuran awal sebelum di uji dengan cara meletakkan roda gigi di atas kertas millimeter kemudian atur tata letak roda gigi pada alat scan untuk mendapatkan posisi yang di butuhkan
2. Setting roda gigi pada alat uji, atur posisi roda gigi pada alat uji rig kemudian kencangkan
3. Nyalakan Mesin uji rig dengan menyalakan mesin motor bensin
4. Berikan Beban beban pada handle rem dengan menarik tuas *handwich* pada alat uji rig, berikan beban sesuai yang di butuh kan.
5. Setiap 20×10^4 putaran atau setiap 1 jam lepas roda gigi lalu timbang massa roda gigi serta scan ulang untuk mengetahui perkembangan keausan, lakukan sampai 200×10^4 putaran.

6. Setelah itu, hitung luas penampang awal dan luas penampang akhir untuk mendapatkan banyak material yang hilang pada pengujian.

3.5.1 Proses Pembuatan Spesimen

Proses pembuatan roda gigi miring dari bahan *polyformaldehyde* melibatkan beberapa tahap yang penting dan terstruktur. Tahap pertama adalah pemilihan bahan, di mana bahan POM dipilih karena sifat-sifatnya yang sesuai untuk aplikasi ini, seperti kekuatan, ketahanan terhadap aus, dan kemampuannya untuk dibentuk dengan presisi tinggi. Setelah bahan dipilih, langkah selanjutnya adalah desain dan perhitungan awal. Roda gigi yang dirancang memiliki 2 jenis rasio, yaitu 1:1 dan 1:0,75 dengan modul 2 sebagai parameter penting dalam desain ini.

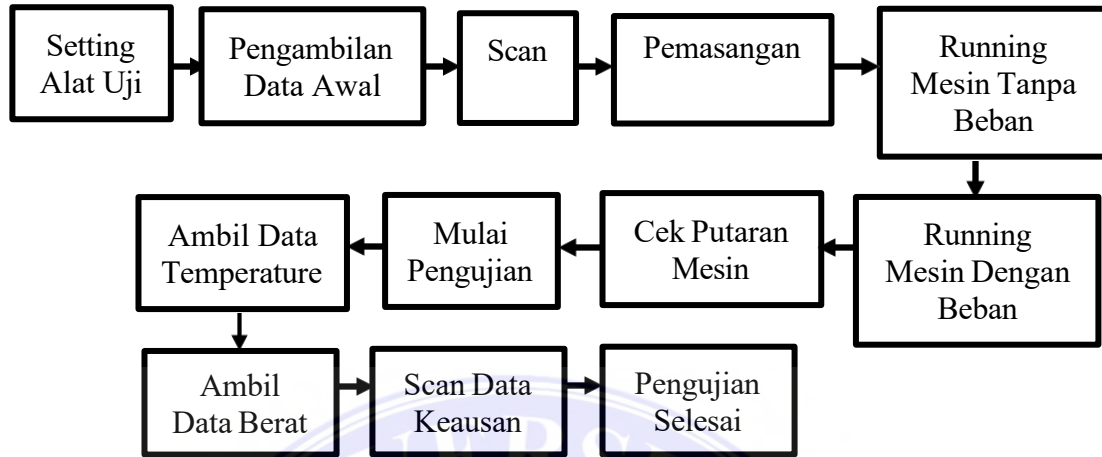


Gambar 3.13. Prosedur Pembuatan Roda Gigi

3.5.1. Proses Pengujian Keausan

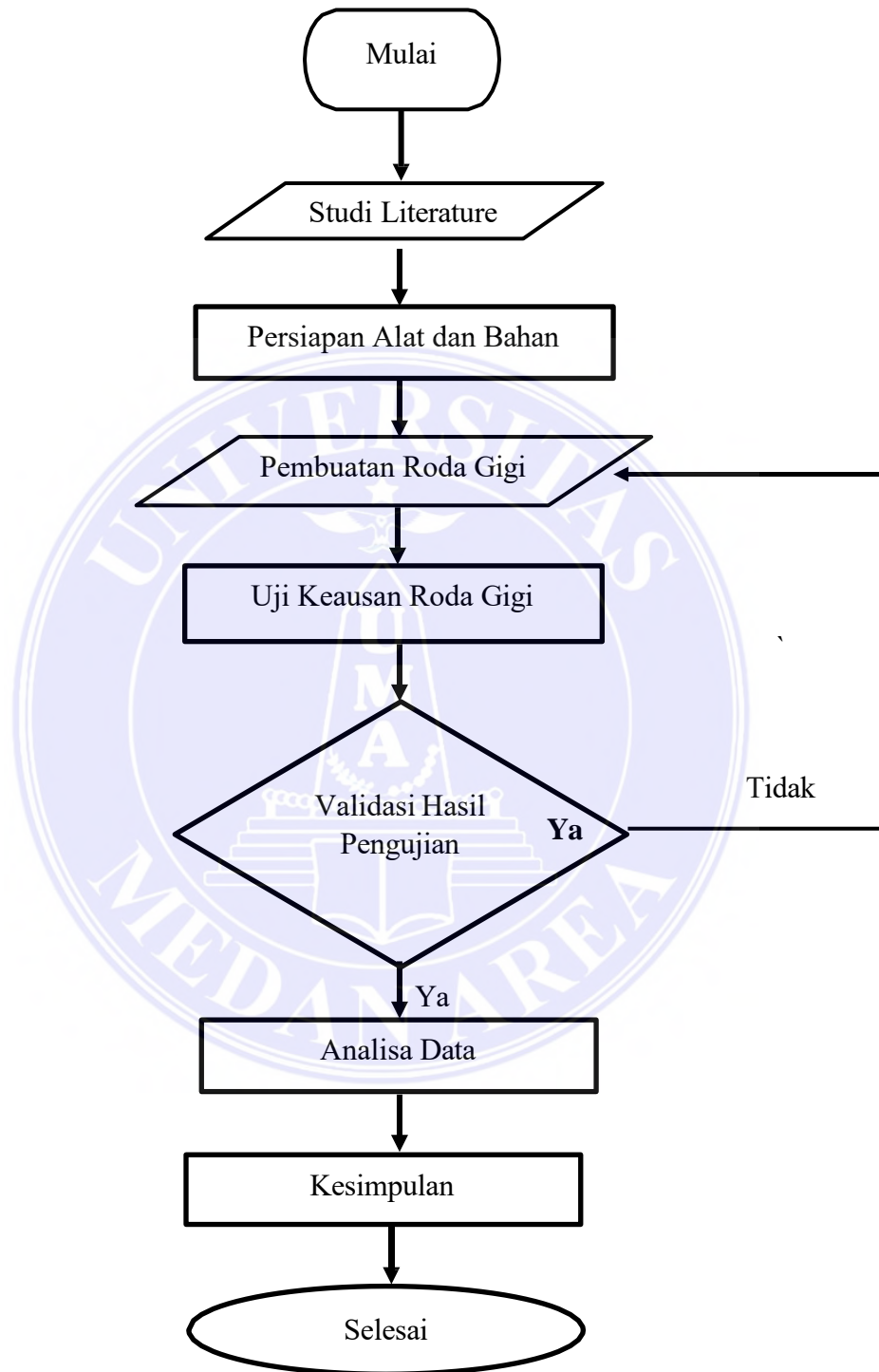
Tahap persiapan meliputi penentuan parameter pengujian dan penyiapan peralatan pengujian yang diperlukan. Selanjutnya, proses pengujian melibatkan pengujian keausan abrasif dengan menggunakan mesin uji gesek, di mana roda gigi mengalami gesekan untuk mensimulasikan kondisi operasional yang sebenarnya. Selama pengujian berlangsung, parameter seperti beban dan kecepatan Selama

pengujian berlangsung, parameter seperti beban dan kecepatan dipantau dengan ketat.



Gambar 3.14. Prosedur Pengujian Keausan Roda Gigi

3.5.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.15. Diagram alir penelitian

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian terhadap pengujian keausan pada roda gigi miring polimer, dapat diambil beberapa kesimpulan antara lain sebagai berikut :

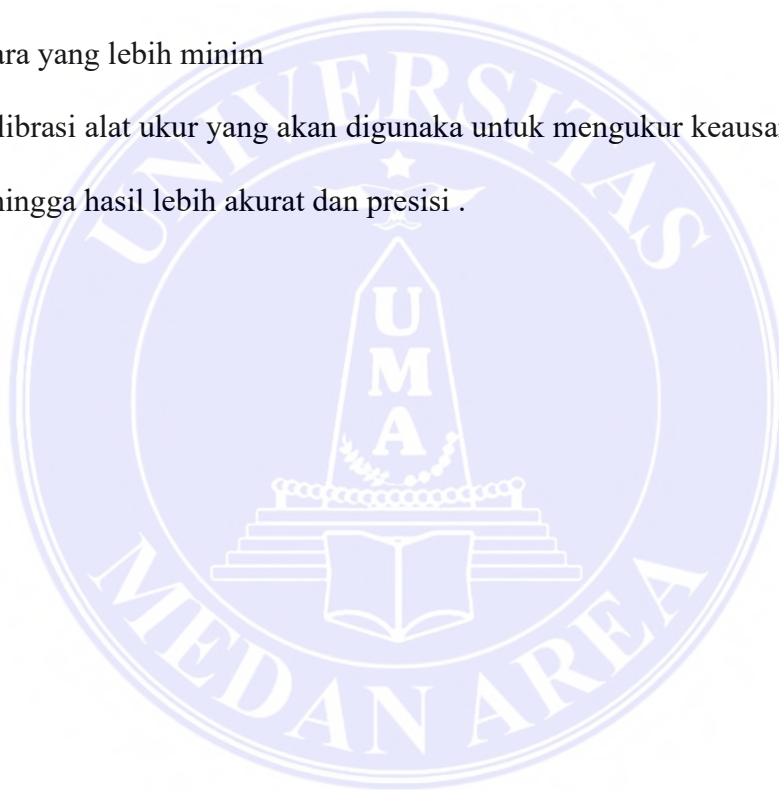
1. Membuat Spesimen roda gigi miring dari bahan *polyformaldehyde* dibuat dengan rasio 1:1 dan 1:0,75 , Spesimen ini dibuat dengan modul 2 dengan diameter luar 100 mm dengan jumlah gigi 48, dan diameter 75 mm dengan jumlah gigi 36 Ketebalan spesimen adalah 25 mm, dan total roda gigi yang digunakan untuk pengujian ini sebanyak 8 buah.
2. Menguji keausan roda gigi, variasi putaran diterapkan. Semakin besar beban yang diberikan, semakin tinggi tingkat keausan yang terjadi pada roda gigi berbahan polimer. Pada pengujian dengan kecepatan siklus putaran di 3350 rpm dan beban 3 kg, tingkat keausan tertinggi yang dicapai adalah 0,06%.
3. Menganalisis pengaruh putaran dengan variasi rasio dan kondisi pengujian terhadap uji keausan spesimen yang dimana analisis yang ditemukan mencakup sejauh mana pengaruh putaran dan hasil pengaruh putaran sangatlah berpengaruh terhadap keausan yang terjadi dan berbeda-beda pada setiap rasio dan kondisi pengujian sesuai yang dilakukan

5.2 Saran

Berdasarkan hasil dari penelitian mesin uji keausan roda gigi miring bahan *Polyformaldehyde* ini. Maka saya dapat menyarankan agar penulis berikutnya

dapat mengembangkan lagi alat yang ada didalam laboratorium teknik mesin universitas medan area antara lain sebagai berikut:

1. Bagi penulis yang ingin melanjutkan penelitian tentang uji keausan roda gigi miring ini saya rekomendasikan untuk kedepannya sebelum pengujian harus benar-benar di perhatikan bagian dudukan rpm, agar data yang di dapat lebih baik lagi dan sempurna.
2. Mempertimbangkan motor penggerak alat uji keausan dengan getaran dan suara yang lebih minim
3. Kalibrasi alat ukur yang akan digunakan untuk mengukur keausan roda gigi sehingga hasil lebih akurat dan presisi .



DAFTAR PUSTAKA

- Bagus Setya Raharja, I Made Sunada ,2018 “Analisa Keausan Roda Gigi Lurus Secara Mikroskopik Dengan Variasai Beban ”. *Transmisi*14 (2) : 301.
- Bingru Lu,Ruiheng Zhang,Jingnan,Liahao Mao,2023 ”Kajian Karakteristik Gasifikasi dan Kinetika Plastik Poliformaldehida Pada Air Superkritis”.*Journal of Clearance Production* 383(20)
- Burhanuddin, 2015 “Teknologi dan Rekayasa Material Polimer Komposit”. Prodi Teknik Arsitektur UIN Alauddin Makasar. 1: 3-5
- Ellysa Kusuma Laksanawati,Alvin Adhita Gunawan, 2018”Penguujian Kekuatan Rig Untuk Uji Tarik Baja A36 Diameter 30mm Bentuk Standard Dengan Analisa Software Solidworks”. *Jurnal Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Tangerang* 2(1):33
- Gigih Pribadi,Achmad Widodo,Djoeli Satrijo 2014 “Deteksi Kerusakan Roda Gigi Dengan Analisis Sinyal Getaran Berbasis Domain Frekuensi ”. *Jurnal Teknik Mesin S-1* 2(3) : 184
- I.Mujiarto, 2005. “Sifat dan Karakteristik Material Plastik dan berubahadiktif”.*Traksi* 3(2) : 65
- Kevin Alfiansyah, Reza Setiawan,Bobie Suhendra, 2023” Proses Pembuatan RodaGigi Miring Pada Mesin Kertas”. *Jurnal Kajian Teknik Mesin* 8 (2):100
- Kiyokatsu Suga, S. 2004. *Dasar perencanaan dan pemilihan elemen mesin* (Ke1). Pra dnya Paramita.
- M.S.Tunangliao,B.V.Agca,2022. “Wear and servixe life of 3-D Printed Polymeric Gears”. *Journal Polymers* (6)11
doi:10.3390/polym14102064
- Neimann, G. Anton Budiman, B. P. 1999. *elemen mesin* (Ir. Anton Budiman(Ed.)). Penerbit Erlangga.
- R.A Siregar,K.Umurani,Muklas, 2019 “Studi Eksperimen Terhadap Keausan PadaRoda Gigi Cacing Komposit .” *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi* 2 (2) : 158.
- Raharja, B. S., & Sunada, I. M. 2018. Analisa Keausan Roda Gigi Lurus Secara Mikroskopik Dengan Variasi Beban. *Jurnal TeknikMesin*, 14(2):299–305.
- Rullah, A. A., Samudra, B. T., Rizki, F. T., Azharis, V., Prasetyo, J., & Junaidi, J.2019. *Analisis Karakteristik Roda Gigi Miring Pada Transmissi. March*, 1– 6.
- Shigley, Joseph E. 2020. *Perancangan Teknik Mesin (ke-2)*. Penerbit Erlangga.
- Syafrida. 2021. *Metodologi Penelitian*.Penerbit KBM Indonesia