

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

SKRIPSI

OLEH :

**WANDRIMAN LAIA
198130128**



**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 16/4/26

Access From (repositori.uma.ac.id)16/4/26

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

SKRIPSI

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

Oleh:

**WANDRIMAN LAIA
198130128**

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

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

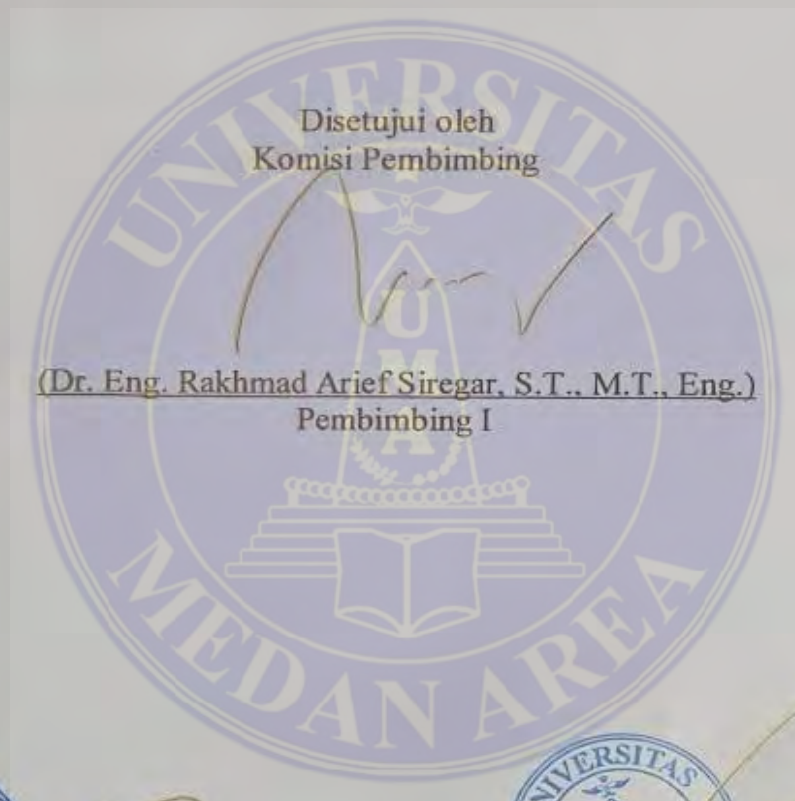
1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 16/4/26

Access From (repositori.uma.ac.id)16/4/26

HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

Judul Proposal : Penyelidikan Keausan Roda Gigi Lurus Bahan
Polyformaldehyde Dengan Kondisi Kering Dan Terlumasi
Nama Mahasiswa : Wandriman Laia
NPM : 198130128
Fakultas : Teknik



Tanggal Lulus:

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

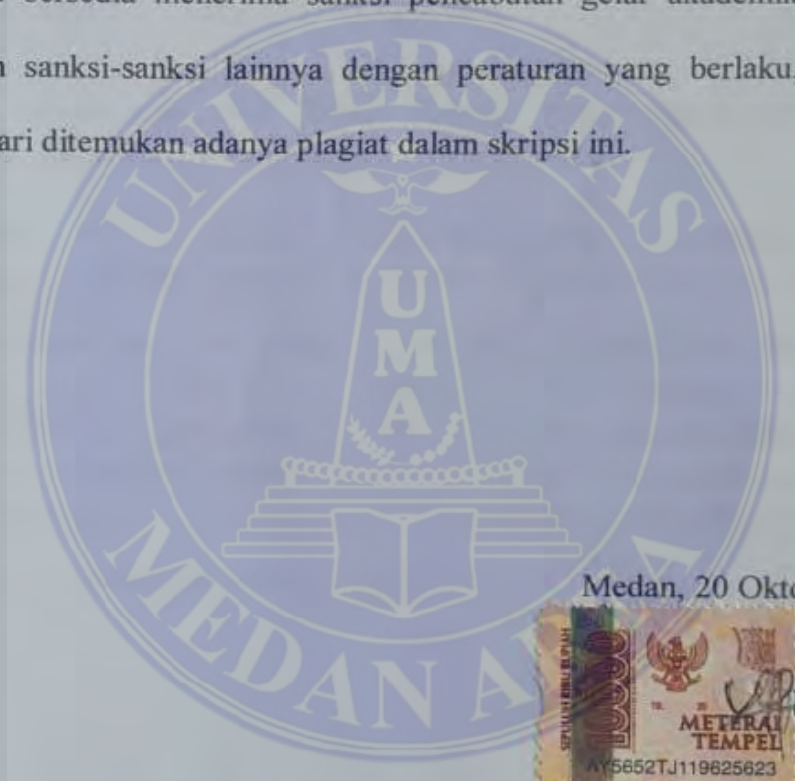
Document Accepted 16/4/26

Access From (repositori.uma.ac.id)16/4/26

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, 20 Oktober 2025



Wandriman Laia
198130128

**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 : Wandriman Laia
NPM : 198130128
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 Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

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

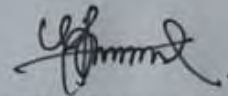
Beserta perangkat yang ada (jika di perlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir/skripsi/tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Medan

Pada tanggal : 20 Oktober 2025

Yang Menyatakan



(Wandriman Laia)

198130128

ABSTRAK

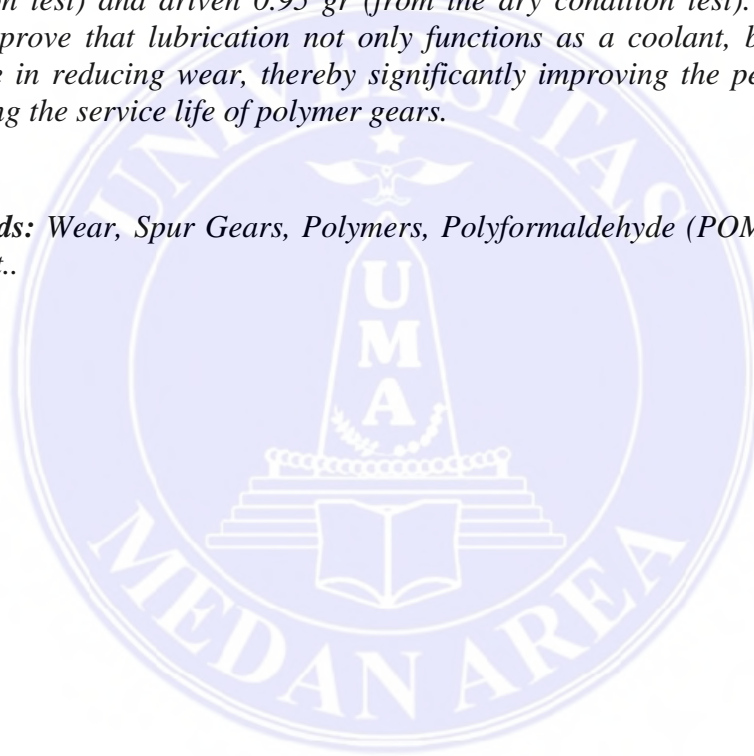
Penelitian ini bertujuan menyelidiki keausan roda gigi lurus berbahan polimer *Polyformaldehyde* (POM), pada kondisi kering dan terlumasi, mengingat peningkatan aplikasi polimer di industri akibat properti unggulnya seperti massa jenis rendah, ketahanan korosi, dan biaya efektif, namun sering dihadapkan pada masalah keausan akibat gesekan. Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimental pada mesin uji rig dengan beban torsi konstan 5,8 Nm selama 2 juta putaran, hasil pengujian menunjukkan keausan signifikan terjadi pada pengujian roda gigi POM dalam kondisi kering. Namun pada pengujian rasio 1:1 dengan kondisi terlumasi roda gigi mengalami penurunan keausan yaitu, *driver* 0,24 gr (dari pengujian kondisi kering) dan *driven* 0,22 gr (dari pengujian kondisi kering). Pada pengujian kondisi terlumasi rasio 1:0,75 roda gigi mengalami penurunan keausan yaitu, *driver* 0,20 gr (dari pengujian kondisi kering) dan *driven* 0,95 gr (dari pengujian kondisi kering). Temuan ini secara jelas membuktikan bahwa pelumasan tidak hanya berfungsi sebagai pendingin, tetapi juga sangat efektif mengurangi keausan, sehingga secara signifikan meningkatkan kinerja dan memperpanjang umur pakai roda gigi polimer.

Kata Kunci: Keausan, Roda Gigi Lurus, Polimer, *Polyformaldehyde* (POM), Pelumasan, Uji Rig.

ABSTRACT

This study aims to investigate the wear of straight gears made of Polyformaldehyde (POM) polymer, in dry and lubricated conditions, considering the increasing application of polymers in industry due to their superior properties such as low density, corrosion resistance, and cost-effectiveness, but often faced with wear problems due to friction. This study was conducted using an experimental method on a rig test machine with a constant torque load of 5.8 Nm for 2 million rotations, the test results showed significant wear occurred in the POM gear test in dry conditions. However, in the 1:1 ratio test with lubricated conditions the gears experienced a decrease in wear, namely, the driver 0.24 gr (from the dry condition test) and driven 0.22 gr (from the dry condition test). In the 1:0.75 ratio test the gears experienced a decrease in wear, namely, the driver 0.20 gr (from the dry condition test) and driven 0.95 gr (from the dry condition test). These findings clearly prove that lubrication not only functions as a coolant, but is also very effective in reducing wear, thereby significantly improving the performance and extending the service life of polymer gears.

Keywords: *Wear, Spur Gears, Polymers, Polyformaldehyde (POM), Lubrication, Rig Test..*



RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Hilisibohou pada tanggal 10 Oktober 2000 dari ayah Aroziduhu Laia dan ibu Satilia Laia, Penulis merupakan putra ke dua dari enam bersaudara.

Tahun 2017, Penulis lulus dari SMA Negeri 1 Susua dan pada tahun 2019 terdagar sebagai Mahasiswa Fakultas Universitas Medan Area.

Pada tahun 2022 penulis melaksanakan praktek kerja lapangan (PKL) di PTPN IV Unit PKS Dolok Ilir.



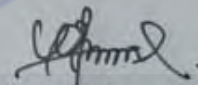
KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan yang Maha Kuasa atas segala karuniaNya sehingga skripsi ini berhasil di selesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian ini ialah pengujian keausan dengan judul Penyelidikan Keausan Roda Gigi Lurus Bahan *Polyformaldehyde* Dengan Kondisi Kering Dan Terlumasi.

Terima kasih penulis sampaikan kepada Dr. Eng. Rakhmad Arief Siregar, S.T., M.T., 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. Unkapan terima kasih disampaikan kepada Ayah, Ibu dan serta seluruh keluarga atas segala doa dan perhatiannya.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir/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 tugas akhir/skripsi/tesis ini dapat bermanfaat baik untuk kalangan pendidikan maupun masyarakat. Akhir kata penulis ucapkan terima kasih.

Penulis



(Wandriman Laia)

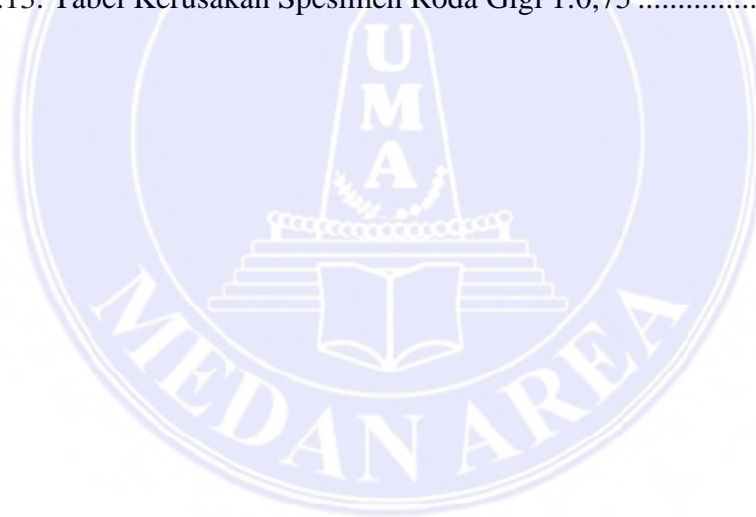
198130128

DAFTAR ISI

| | |
|---|------|
| PENYELIDIKAN KEAUSAN RODA GIGI LURUS BAHAN <i>POLYFORMALDEHYDE</i> DENGAN KONDISI KERING DAN TERLUMASI .. | i |
| HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI..... | ii |
| HALAMAN PERNYATAAN | iii |
| HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR/SKRIPSI/TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS | iv |
| RIWAYAT HIDUP..... | vii |
| KATA PENGANTAR | viii |
| DAFTAR ISI..... | ix |
| DAFTAR TABEL..... | x |
| DAFTAR GAMBAR | xi |
| DAFTAR NOTASI..... | xii |
| BAB I PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1. Latar Belakang Masalah..... | 1 |
| 1.2. Perumusan Masalah..... | 2 |
| 1.3. Tujuan Penelitian..... | 2 |
| 1.4. Hipotesis Penelitian..... | 3 |
| 1.5. Manfaat Penelitian..... | 3 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA..... | 4 |
| 2.1. Keausan | 4 |
| 2.2. Roda Gigi..... | 14 |
| 2.3. Jenis – Jenis Roda Gigi..... | 16 |
| 2.4. <i>Polyformaldehyde</i> (POM) | 23 |
| 2.5. Teflon | 26 |
| 2.6. Mc Blue | 27 |
| 2.7. Pelumasan..... | 28 |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN..... | 36 |
| 3.1. Waktu dan Tempat Penelitian | 36 |
| 3.2. Bahan dan Alat | 37 |
| 3.3. Metode Penelitian..... | 41 |
| 3.4. Populasi Dan Sampel..... | 42 |
| 3.5. Prosedur Kerja..... | 43 |
| 3.6. Diagram Alir Penelitian..... | 46 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN | 48 |
| 4.1. Hasil Pembuatan Spesimen Roda Gigi..... | 48 |
| 4.2. Hasil Pengujian Spesimen Roda Gigi..... | 50 |
| 4.3. Pembahasan | 56 |
| BAB V SIMPULAN DAN SARAN | 73 |
| 5.1. Simpulan..... | 73 |
| 5.2. Saran | 74 |
| DAFTAR PUSTAKA | 75 |
| GAMBAR TEKNIK RODA GIGI LURUS | 77 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 3.1. Jadwal Rencana Tugas Akhir..... | 36 |
| Tabel 3.2. Tabel Spesifikasi Polyformaldehyde | 37 |
| Tabel 3.3. Tabel Spesifikasi Oli Shell SPIRAX S5 ATF X..... | 37 |
| Tabel 3.4. Spesifikasi Internal Combustion Engine..... | 39 |
| Tabel 3.5. Tabel Sampel Roda Gigi Lurus..... | 42 |
| Tabel 4.1. Ukuran Parameter Roda Gigi Lurus Modul 3 Rasio 1:1..... | 50 |
| Tabel 4.2. Ukuran Parameter Roda Gigi Lurus Modul 3 Rasio 1:0,75..... | 51 |
| Tabel 4.3. Tabel massa spesimen sebelum pengujian..... | 54 |
| Tabel 4.4. Data hasil pengukuran pengujian massa kondisi kering 1:1 | 54 |
| Tabel 4.5. Data hasil pengukuran pengujian massa kondisi terlumasi 1:1 | 55 |
| Tabel 4.6. Data hasil pengukuran pengujian massa kondisi kering 1:0,75 | 55 |
| Tabel 4.7. Data hasil pengukuran pengujian massa kondisi terlumasi 1:0,75 | 56 |
| Tabel 4.8. Tabel Keausan Total Pada Pengujian Kering Rasio 1:1 | 59 |
| Tabel 4.9. Tabel Keausan Total Pada Pengujian Terlumasi Rasio 1:1 | 60 |
| Tabel 4.10. Tabel Keausan Total Pada Pengujian Kering Rasio 1:0,75 | 61 |
| Tabel 4.11. Tabel Keausan Total Pada Pengujian Terlumasi Rasio 1:0,75 | 62 |
| Tabel 4.12. Tabel Kerusakan Spesimen Roda Gigi 1:1 | 69 |
| Tabel 4.13. Tabel Kerusakan Spesimen Roda Gigi 1:0,75 | 70 |



DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 2.1. Mekanis Keausan Abrasif | 5 |
| Gambar 2.2. Mekanis Keausan Adhesive | 7 |
| Gambar 2.3. Mekanis Fretting Korosi..... | 10 |
| Gambar 2.4. Mekanis keausan Fretting Kelelahan. | 10 |
| Gambar 2.5. Mekanis Keausan Erosif..... | 11 |
| Gambar 2.6. Surface Fatigue Wear | 12 |
| Gambar 2.7. Mekanis Corrsive wear..... | 12 |
| Gambar 2.8. Mekanis Oxidative wear..... | 13 |
| Gambar 2.9. Roda Gigi Lurus | 16 |
| Gambar 2.10. Roda Gigi Miring | 18 |
| Gambar 2.11. Roda Gigi Kerucut | 19 |
| Gambar 2.12. Roda Gigi Cacing | 20 |
| Gambar 2.13. Bagian-Bagian Roda Gigi | 21 |
| Gambar 2.14. Profil Material Polyformaldehyde (POM) | 24 |
| Gambar 2.15. Profil Material Teflon..... | 26 |
| Gambar 2.16. Profil Material MC Blue | 27 |
| Gambar 3.1. material Polyformaldehyde | 37 |
| Gambar 3.2. Shell SPIRAX S5 ATF (SAE 70W-90) | 38 |
| Gambar 3.3. Mesin Uji Rig..... | 38 |
| Gambar 3.4. Gambar Thermogun | 39 |
| Gambar 3.5. Tachometer..... | 40 |
| Gambar 3.6. Timbangan Digital | 41 |
| Gambar 3.7. Tahap -Tahap Proses Pembuatan Roda Gigi Lurus | 43 |
| Gambar 3.8. Langkah-langkah Proses Pengujian Keausan..... | 44 |
| Gambar 3.9. Diagram Penelitian..... | 46 |
| Gambar 4.1. Mesin Miling | 49 |
| Gambar 4.2. Roda Gigi POM Modul 3 Rasio 1:1 | 49 |
| Gambar 4.3. Roda Gigi POM Modul 3 Rasio 1:0,75..... | 50 |
| Gambar 4.4. Pengujian Temperatur Roda Gigi lurus Bahan Polyformaldehyde | 51 |
| Gambar 4.5. Grafik Pengujian Temperatur Kondisi Kering Rasio 1:1 | 52 |
| Gambar 4.6. Grafik Pengujian Temperatur Kondisi Terlumasi Rasio 1:1..... | 52 |
| Gambar 4.7. Grafik Pengujian Temperatur Kondisi Kering Rasio 1:0,75..... | 53 |
| Gambar 4.8. Grafik Pengujian Temperatur Kondisi Terlumasi Rasio 1:0,75..... | 53 |
| Gambar 4.9. Grafik Pengujian Temperatur Roda Gigi Driver..... | 57 |
| Gambar 4.10. Grafik Pengujian Temperatur Roda Gigi Driven | 57 |
| Gambar 4.11. Grafik Keausan modul 3 rasio 1:1 kondisi kering..... | 59 |
| Gambar 4.12. Grafik Keausan Modul 3 Rasio 1:1 Kondisi Terlumasi..... | 60 |
| Gambar 4.13. Grafik Keausan modul 3 rasio 1:0,75 kondisi kering..... | 61 |
| Gambar 4.14. Grafik Keausan modul 3 rasio 1:0,75 kondisi terlumasi..... | 62 |

DAFTAR NOTASI

| | | |
|-------|---------------------------------|-------|
| A_1 | Luas penampang setelah keausan | m^2 |
| A_0 | Luas penampang sebelum keausan | m^2 |
| m | Modul | mm |
| D | Diameter <i>Pitch</i> | mm |
| z_1 | Jumlah roda gigi pertama | |
| z_2 | Jumlah roda gigi kedua | |
| p | <i>Pitch Circle</i> | mm |
| R_1 | Putaran roda gigi pertama | Rpm |
| R_2 | Putaran roda gigi kedua | |
| H_v | <i>Hardines</i> permukaan lunak | |
| L | Jarak gesekan | m |
| w | Berat beban | N |
| V | Volume keausan | m^3 |
| K | Koefisien keausan | |



BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Mekanisme tentang roda gigi telah ada beberapa ribu tahun yang lalu dan masih digunakan sampai sekarang. Roda gigi berperan penting untuk mentransmisikan daya pada industri permesinan. Di era globalisasi peran roda gigi pada kendaraan maupun dunia industri sangat penting untuk menghubungkan dan meneruskan putaran, daya yang dihasilkan dari proses *energy kinetic* menjadi *energy mekanik*. Roda gigi merupakan bagian dari perkembangan dan peningkatan industri permesinan karena perangnya sangat penting pada suatu mesin. Bahan untuk pembuatan roda gigi biasanya dari logam atau non-logam yang berbentuk bulat pipih dengan pinggir bergerigi.

Didalam aplikasi penggunaan transmisi roda gigi sering dijumpai suatu masalah yaitu keausan roda gigi. Keausan merupakan penguraian ketebalan permukaan akibat gesekan yang terjadi pada pembebanan dan gerakan.

Mekanisme keausan dikelompokkan menjadi dua kelompok, yaitu keausan yang penyebabnya dominan oleh perilaku mekanik dari bahan dan keausan yang penyebabnya dominan 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)

Bahan *polyformaldehyde* termasuk bahan plastik yang memiliki sifat dengan kekokohan yang bagus, benturan tinggi, kekuatan tinggi, resistansi Semak, stabilitas termal yang baik dan tahan mulur, yang dapat menggantikan logam sebagai bahan pembuatan roda gigi. Untuk mengetahui kekuatan material dilakukan

pengujian tarik dengan standart uji tarik plastik yaitu *ASTM D638*. Dan dilakukan Uji Rig pada bahan *Polyformaldehyde* dalam bentuk roda gigi lurus untuk perhitungan gesekan dan keausan.

Pengujian keausan dan kelelahan roda gigi lurus bahan *polyformaldehyde* ini di latar belakang karena di Universitas Medan Area belum ada pengujian tentang keausan roda gigi lurus bahan *polyformaldehyde*. Dengan diujinya roda gigi polimer ini, diharapkan pengujian ini bisa menambah pengetahuan bagi mahasiswa Program Studi Teknik Mesin Universitas Medan Area. Sehingga mahasiswa bisa menjadikan hasil pengujian sebagai referensi bagi peneliti berikutnya di Universitas Medan Area.

Berdasarkan latar belakang diatas maka peneliti tertarik unruk melakukan penelitian denga judul : **Penyelidikan Keausan Roda Gigi Lurus Bahan *Polyformaldehyde* Dengan Kondisi Kering Dan Terlumasi.**

1.2. Perumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang ingin diselesaikan dalam penelitian ini adalah :

Bagaimana menganalisis pengaruh putaran yang bervariasi pada uji keausan roda gigi lurus dari bahan polyformaldehyde dengan rasio yang berbeda pada kondisi kering dan terlumasi ?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang ingin dicapai dalam penelitian ini :

- a. Membuat spesimen roda gigi lurus bahan *polyformaldehyde* untuk pengujian keausan dengan kondisi kering dan terlumasi.

- b. Menguji keausan spesimen roda gigi lurus bahan *polyformaldehyde* dengan kondisi kering dan terlumasi.
- c. Menganalisis kerusakan dan pengaruh putaran yang bervariasi terhadap uji keausan spesimen roda gigi lurus bahan *polyformaldehyde* dengan kondisi kering dan terlumasi

1.4. Hipotesis Penelitian

Berdasarkan perumusan masalah, peneliti merumuskan hipotesis pada penelitian ini sebagai berikut :

- a. Terdapat pengaruh keausan yang berbeda terhadap spesimen roda gigi pada kondisi kering dan kondisi terlumas
- b. Putaran yang bervariasi mempengaruhi keausan yang berbeda terhadap spesimen roda gigi lurus bahan *polyformaldehyde*.

1.5. Manfaat Penelitian

- a. Memahami proses kerja mesin uji roda gigi lurus dengan putaran yang bervariasi pada roda gigi.
- b. Dapat di digunakan sebagai bahan pengganti untuk pembuatan roda gigi.
- c. Memberikan informasi kepada siswa dan Masyarakat umum bahwa *Polyformaldehyde* dapat digunakan sebagai bahan pengganti untuk pembuatan roda gigi.
- d. Hasil dari penelitian ini dapat dijadikan sebagai refrensi untuk penelitian berikutnya.
- e. Sebagai bahan masukan dan informasi bagi teman-teman Program Studi Teknik di Universitas Medan Area.
- f. Memberikan informasi kepada dunia pendidikan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Keausan

Keausan sering diartikan dengan kerusakan pada suatu penampang atau permukaan, kerusakan tersebut umumnya terjadi pada kehilangan material yang disebabkan oleh suatu gesekan antar permukaan, baik gesekan secara besar maupun kecil dan juga kondisi tersebut juga tidak lepas pada proses pelumasan. Definisi lain tentang keausan yaitu hilangnya bagian dari permukaan yang saling berinteraksi yang terjadi sebagai hasil gerak pada permukaan. Penyebab keausan dapat bersifat mekanis (misalnya erosi) atau kimiawi (misalnya korosi).

Keausan terjadi apabila dua benda yang saling kontak dan saling bergesekan, Roda gigi yang berputar berguna untuk mentransmisikan daya. Roda gigi memiliki gigi-gigi yang saling bersinggung dengan gigi yang lain. Roda gigi mengalami keausan dikarenakan adanya kontak mekanik.

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)

2.1.1. Jenis-Jenis Keausan

Gerakan-gerakan yang dapat menimbulkan keausan terutama disebabkan: keausan luncur pada bantalan luncur, roda gigi, peluncur, penghancur dan sebagainya. Keausan yang terjadi pada suatu material disebabkan oleh adanya

beberapa mekanisme yang berbeda dan terbentuk oleh beberapa parameter yang bervariasi meliputi bahan, lingkungan, kondisi operasi, dan geometri permukaan benda yang terjadi keausan. Mekanisme keausan dikelompokkan menjadi dua kelompok, yaitu keausan yang penyebabnya didominasi oleh perilaku mekanis dari bahan dan keausan yang penyebabnya didominasi oleh perilaku kimia dari bahan. Berikut ini penjelasan singkat tentang jenis-jenis aus:

2.1.2. Keausan Yang Disebabkan Perilaku Mekanis (*Mechanical*)

1. *Abrasive Wear*

Keausan abrasif terjadi ketika permukaan yang keras dan kasar meluncur melintasi permukaan yang lebih lembut. ASTM Internasional mendefinisikannya sebagai hilangnya material akibat partikel keras atau tonjolan keras yang dipaksa melawan dan bergerak sepanjang permukaan padat.

Keausan abrasif umumnya diklasifikasikan menurut jenis kontak dan lingkungan kontak. Jenis kontak menentukan metode keausan abrasif. Keausan abrasif memiliki dua mode yaitu keausan abrasif dua badan dan tiga badan.



Gambar 2.1. Mekanis Keausan Abrasif

Keausan dua benda terjadi ketika butiran pasir atau partikel keras menghilangkan

material dari permukaan berlawanan. Analogi yang umum adalah material dipindahkan atau dipindahkan melalui operasi pemotongan atau pembajakan. Keausan tiga benda terjadi ketika partikel tidak dibatasi, dan bebas menggelinding dan meluncur ke bawah suatu permukaan. Lingkungan kontak menentukan apakah keausan diklasifikasikan sebagai terbuka atau tertutup. Lingkungan kontak terbuka terjadi ketika permukaan mempunyai perpindahan yang cukup sehingga tidak tergantung satu sama lain. Keausan abrasif dapat dilihat pada gambar 2.1.

Tiga mekanisme keausan abrasif yang umum diidentifikasi antara lain :

1. *Plowing*

Plowing terjadi Keausan tiga benda terjadi ketika partikel tidak dibatasi, dan bebas menggelinding dan meluncur ke bawah suatu permukaan. Lingkungan kontak menentukan apakah keausan diklasifikasikan sebagai terbuka atau tertutup. Lingkungan kontak terbuka terjadi ketika permukaan mempunyai perpindahan yang cukup sehingga tidak tergantung satu sama lain

2. *Cutting*

Pemotongan terjadi ketika material dipisahkan dari permukaan dalam bentuk serpihan *primer*, atau *microchip*, dengan sedikit atau tanpa material yang dipindahkan ke sisi alur. Mekanisme ini sangat mirip dengan pemesinan konvensional.

3. *Fragmentation*

Fragmentasi terjadi ketika material dipisahkan dari suatu permukaan melalui proses pemotongan dan bahan abrasif yang menyorok ke dalam menyebabkan fraktur lokal pada material aus. Retakan ini kemudian menyebar dengan bebas secara lokal di sekitar alur keausan, sehingga mengakibatkan

hilangnya material tambahan melalui pengelupasan. Keausan abrasif dapat diukur sebagai hilangnya massa dengan uji abrasi.

Rumus mencari volume keausan abrasif antara lain :

$$V = K \frac{WL}{Hv} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

V = Volume keausan (m³)

W = Berat beban (N)

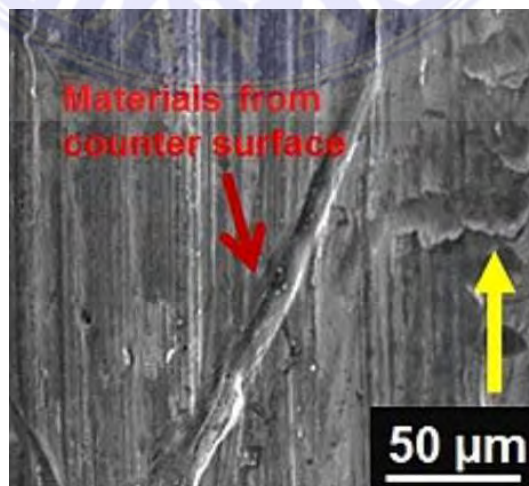
K = Koefisien keausan

L = Jarak gesekan (m)

H = *Hardines* dari permukaan lunak

2. *Adhesive Wear*

Keausan perekat terjadi Ketika dua benda yang bergeser atau saling menekan sehingga mendorong perpindahan material. Hal ini dapat digambarkan sebagai deformasi plastis dari *fragmen* yang sangat kecil di dalam lapisan permukaan. Kekasaran atau titik tinggi mikroskopis (kekasaran permukaan) yang



Gambar 2.2. Mekanis Keausan *Adhesive*

ditemukan pada setiap permukaan mempengaruhi tingkat keparahan bagaimana fragmen oksida ditarik dan ditambahkan ke permukaan lainnya tetapi permukaan, Sebagian disebabkan oleh gaya rekat yang kuat antar atom, juga karena akumulasi oksida. energi di zona plastis antara asperitas selama gerakan relatif. Keausan perekat dapat dilihat pada gambar 2.2.

Keausan perekat dapat ditemukan di antara permukaan selama kontak gesaka yang umumnya mengacu pada perpindahan yang tidak diinginkan dan melekatnya serpihan keausan dan senyawa material dari satu permukaan ke permukaan lainnya. Keausan perekat dibedakan menjadi dua jenis keausan perekat yaitu :

1. Keausan perekat disebabkan oleh Gerakan relatif “kontak langsung” dan deformasi plastis yang menyebabkan serpihan keausan dan perpindahan material dari satu permukaan ke permukaan lainnya.
2. Gaya perekat kohesif, menyatukan dua permukaan meskipun dipisahkan oleh jarak yang dapat diukur, dengan atau tanpa adanya perpindahan material yang sebenarnya *Tribo chemical wear*.

Keausan perekat dapat menyebabkan peningkatan kekasaran dan timbulnya tonjolan (yaitu gumpalan) di atas permukaan aslinya. Dalam industri manufaktur, hal ini disebut dengan *galling*, yang pada akhirnya akan merusak lapisan permukaan yang teroksidasi dan menyatu dengan material curah di bawahnya, sehingga meningkatkan kemungkinan *adhesi* yang lebih kuat dan aliran plastik di sekitar gumpalan.

Rumus sederhana untuk volume keausan perekat antara lain :

$$V = K \frac{WL}{Hv} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

- V = Volume keausan (m³)
- W = Berat beban (N)
- K = Koefisien keausan
- L = Jarak gesekan (m)
- H = *H*Ardines dari permukaan lunak

3. *Fretting Wear*

Keausan *fretting* disebabkan karena banyaknya siklus gerakan geser bolak-balik dengan amplitudo pendek pada antarmuka material. Keausan ini menyebabkan kerusakan parah yang menyebabkan disintegrasi material dan kelelahan permukaan. Mekanisme keausannya unik dan sering diabaikan. Pada kondisi geser yang sedikit maka keausannya relatif lebih sedikit, namun pada titik tertentu geseran tersebut cukup mempengaruhi perubahan mikroskopis pada permukaan akibat perubahan beban normal dan tangensial, perubahan tersebut menyebabkan keausan *fretting*.

Keausan *fretting* terutama disebabkan oleh kegagalan siklik yang berulang pada permukaan ketika permukaan berada pada kondisi geser bolak-balik.

Keausan *fretting* dapat dibedakan berdasarkan jenis efek yang menyebabkan hancurnya material pada permukaan material. Berdasarkan hal tersebut dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu keausan *fretting* korosi dan keausan *fretting* kelelahan.

a. *Corrosion Fretting Wear*

Keausan *fretting* korosi ini terjadi pada permukaan selama keausan *fretting* karena kondisi yang menguntungkan. Selama *fretting*, material yang pecah akan teroksidasi di permukaan karena bereaksi dengan udara atmosfer. Hal ini bergantung pada jenis material yang bersentuhan dan karena material yang hancur



Gambar 2.3. Mekanis *Fretting* Korosi

terperangkap pada antarmuka kontak, siklus ini berulang. Keausan *fretting* korosi dapat dilihat pada gambar 2.3.

b. *Fatigue Fretting Wear*

Keausan *fretting* kelelahan ini disebabkan karena adanya tegangan gesekan siklik pada permukaan yang menyebabkan kelelahan pada permukaan. Tegangan gesek ini maksimum pada permukaan dan mengecil pada bagian dalam material sehingga kelelahan pada permukaan material tinggi. Keausan *fretting* kelelahan dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4. Mekanis keausan *Fretting* Kelelahan.

4. *Erosive Wear*

Keausan erosif dapat didefinisikan sebagai gerakan geser yang sangat singkat dan dilakukan dalam interval waktu yang singkat. Keausan erosif disebabkan oleh tumbukan partikel padat atau cair terhadap permukaan suatu benda. Partikel yang terkena dampak secara bertahap menghilangkan material dari permukaan melalui benda yang berulang-ulang. Keausan erosif dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5. Mekanis Keausan Erosif

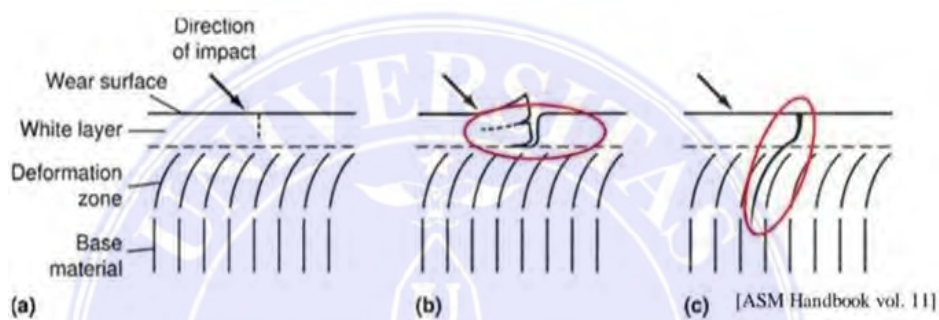
Pembentukan keausan erosif pada permukaan disebabkan oleh dampak partikel pengikis pada permukaan, cara bagaimana partikel pengikis ini berdampak pada permukaan berperan penting dalam pembentukan keausan erosif. Sudut tumbukan partikel yang terkikis, kecepatan tumbukan, material, dan ukuran partikel yang terkikis merupakan parameter yang mempengaruhi mekanisme erosi.

Tingkat keausan erosif bergantung pada sejumlah faktor. Karakteristik material partikel, seperti bentuk, kekerasan, kecepatan tumbukan, dan sudut tumbukan merupakan faktor utama seiring dengan sifat permukaan yang terkikis.

5. *Surface fatigue wear*

Keausan lelah pada permukaan pada hakikatnya bisa terjadi baik secara *abrasif* atau *adhesif*. Tetapi keausan jenis ini terjadi secara berulang-ulang dan

periodik. Hal ini akan berakibat pada meningkatnya tegangan geser. Ketidaktepatan dalam struktur material salah satu penyebabnya adalah lokasi yang kosong yang ada dalam susunan butir pembentuk material. Karena tekanan yang terjadi selama gesekan antara dua benda, maka lubang yang ada akan melebar. Proses berikutnya adalah menyatunya lubang yang telah melebar tadi menjadi alur retak sehingga perambatan retak yang terjadi akan mengakibatkan terlepasnya permukaan menjadi rapuh. *Surface fatigue wear* dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6. *Surface Fatigue Wear*

2.1.3. Keausan Yang Disebabkan Perilaku Kimia

1. *Corrosive Wear*

Jenis keausan ini terjadi permukaan material terdisintegrasi akibat reaksi kimia antara permukaan material dan media korosi yang dapat berupa bahan kimia, pelumas, atau media atmosferik. Ini adalah jenis keausan umum yang disebut jika terjadi keausan yang disebabkan oleh reaksi kimia atau korosi. Karena keausan ini

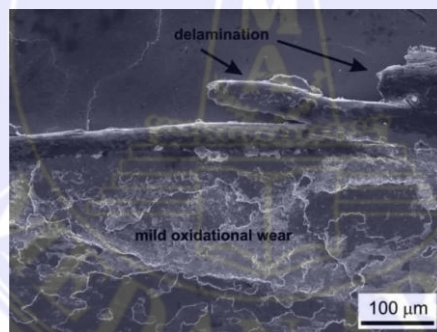


Gambar 2.7. Mekanis *Corrosive wear*

ditandai dengan proses keausan dan korosi, material yang mengalami hal ini akan mengalami kerusakan parah atau kehilangan material. *Corrosive wear* dapat dilihat pada gambar 2.7.

2. *Oxidative Wear*

Keausan oksidatif adalah jenis keausan yang terjadi pada permukaan material dalam kondisi tanpa pelumasan. Ciri khas permukaan telaga ini adalah permukaannya yang halus dan sisa-sisa keausan oksidatif. Pembentukan keausan oksidatif terjadi ketika permukaan pada antarmuka geser menghasilkan serpihan keausan dan selanjutnya geser akibat peningkatan suhu, serpihan ini membentuk oksida logam masing-masing yang membentuk keausan oksidatif. Jenis keausan ini paling banyak ditemukan pada komponen mekanis yang bekerja pada kondisi suhu sangat tinggi. *Oxidative wear* dapat dilihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.8. Mekanis *Oxidative wear*

Kerusakan roda gigi dapat disebabkan oleh berbagai faktor termasuk pelumasan yang tidak memadai, kondisi operasi, material dan proses manufaktur yang tidak sesuai dengan spesifikasi. Pelumasan efektif sangat penting pada sistem gigi karena dapat mencegah kontak langsung diantara permukaan gigi, mengurangi gesekan, menghilangkan panas yang dihasilkan oleh permukaan gigi yang saling bersinggungan dan melindungi gigi dari korosi. Secara umum setiap bentuk kegagalan meninggalkan petunjuk berupa model kegagalan yang khas pada roda

gigi. Untuk mendapatkan perhitungan menganalisa keausan dalam sebuah gear sebagai berikut :

$$\text{Keausan} = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\% \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

A_0 = Luas awal (mm)

A_1 = Luas akhir (mm)

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)

$$\text{Keausan} = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100\% \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

m_0 = Massa sebelum keausan (gr)

m_1 = Massa setelah keausan (gr)

2.2. Roda Gigi

Roda gigi adalah salah satu elemen mesin yang di desain untuk memindahkan daya (*power*) dan gerak (*motion*) dari satu bagian mekanik kebagian lainnya. Roda gigi menjadi salah satu elemen mesin yang paling banyak digunakan pada sisten transmisi daya. Roda gigi juga dapat mengalami keausan di karenakan adanya kontak antara kontak mekanik.

Roda gigi digunakan untuk mentransmisikan daya besar dan putaran yang tepat. roda gigi memiliki gigi di sekelilingnya, sehingga penerusan daya dilakukan

oleh gigi-gigi kedua roda yang saling berkait. Roda gigi sering digunakan karena dapat meneruskan putaran dan daya yang lebih bervariasi dan lebih kompak daripada menggunakan alat transmisi yang lainnya. Roda gigi juga memiliki Beberapa kelebihan jika dibandingkan dengan alat transmisi lainnya, yaitu:

1. Sistem transmisinya lebih ringkas, putaran lebih tinggi dan daya yang besar.
2. Sistem yang kompak sehingga konstruksinya sederhana.
3. Kemampuan menerima beban lebih tinggi.
4. Efisiensi pemindahan dayanya tinggi karena faktor terjadinya slip sangat kecil
5. Kecepatan transmisi rodagigi dapat ditentukan sehingga dapat digunakan dengan pengukuran yang kecil dan daya yang besar (Erinopriadi et al, 2015).

Menurut (Yefrichan.2007) pengertian roda gigi adalah salah satu bentuk sistem yang mempunyai fungsi untuk mentransmisikan gaya, membalikkan putaran, mereduksi atau menaikkan putaran/kecepatan.

2.2.1. Fungsi Roda Gigi.

1. Mengubah Arah Daya.

Selain dapat mengatur kecepatan hingga mengubah torsi, keberadaan roda gigi dapat juga mengubah arah daya, contohnya seperti yang terdapat pada pintu bendungan atau waduk. Dengan adanya roda gigi, kita dapat mengubah gerak putar pintu menjadi naik dan turun disaat kita memutar *handle* pintunya.(Alfauzy, 2019)

2. Mentransmisikan Daya.

Fungsi roda gigi yang kedua adalah dapat menyalurkan gaya melalui gigi-gigi yang saling berhubungan tanpa menimbulkan selip. Contohnya termasuk yang ditemukan di menara. Motor bubut tidak dapat langsung berperan sebagai spindel

untuk menggerakkan *chuck*. Untuk itu diperlukan roda gigi sebagai transmisi dari motor ke poros untuk menggerakkan *chuck*. (Alfauzy, 2019).

3. Peredam Gaya Torsi.

Roda gigi juga berfungsi sebagai peredam gaya torsi yang dihasilkan oleh mesin. Ketika tenaga yang dihasilkan oleh mesin tiba-tiba berubah, misalnya saat kendaraan melintasi hambatan atau saat mengemudi dalam medan yang sulit, gigi roda dapat mengurangi tekanan yang ditransmisikan ke sistem transmisi, sehingga mengurangi risiko kerusakan pada komponen lainnya.

4. Mengatur Kecepatan Putaran

Roda gigi dapat mengatur kecepatan putaran suatu gaya, misalnya kecepatan putaran mesin sepeda motor. Cara roda gigi mengatur tenaga tersebut adalah dengan memberikan rasio roda gigi tertentu. Misalnya pada sepeda motor listrik dengan RPM 1400, kita bisa menaikkan atau menurunkan RPM sepeda motor

2.3. Jenis – Jenis Roda Gigi

2.3.1. Roda Gigi Lurus

Roda gigi lurus digunakan untuk poros yang sejajar atau paralel. Dibandingkan dengan jenis roda gigi yang lain roda gigi lurus ini paling mudah dalam proses pengerjaannya (*machining*) sehingga harganya lebih murah. Roda



Gambar 2.9. Roda Gigi Lurus

gigi lurus ini digunakan pada sistem transmisi yang gaya kelilingnya besar, karena tidak menimbulkan gaya aksial. Roda gigi lurus dapat dilihat pada gambar 2.9.

Roda gigi lurus adalah jenis roda gigi yang dapat mentransmisikan daya dan putaran antara dua poros yang sejajar. Roda gigi ini merupakan yang paling dasar dengan jalur gigi yang sejajar dengan poros.

Jenis-jenis roda gigi lurus antara lain:

1. Roda gigi lurus luar (*external gearing*), pasangan roda gigi lurus ini digunakan untuk menaikkan atau menurunkan putaran dalam arah yang berlawanan.
2. Roda gigi lurus dalam (*internal gearing*), dipakai jika diinginkan alat transmisi yang berukuran kecil dengan perbandingan reduksi besar.
3. Roda gigi *Rack* dan *Pinion*, berupa pasangan antara batang gigi dan pinion roda gigi digunakan untuk merubah gerakan putar menjadi lurus dan sebaliknya

Roda gigi lurus atau *spur gear* pada umumnya sangat tepat digunakan untuk aplikasi yang memerlukan pengurangan kecepatan dan penggandaan torsi. Berikut ini merupakan beberapa aplikasi dan penggunaan roda gigi lurus.

1. Mesin pemotong logam
2. Mesin kelautan
3. Pembangkit listrik
4. *Gearbox* otomotif
5. Jam dan arloji mekanis
6. Pompa bahan bakar
7. Mesin cuci
8. Pabrik baja
9. Pabrik penggilingan

10. Motor roda gigi dan pompa roda gigi

2.3.2. Roda Gigi Miring

Roda gigi miring mempunyai jalur gigi yang membentuk ulir pada jarak bagi. Jumlah pasangan gigi yang saling membuat kontak serentak lebih besar dari pada roda gigi lurus, sehingga pemindahan momen atau putaran melalui gigi-gigi tersebut dapat berlangsung dengan halus. Sifat ini sangat baik untuk mentransmisikan putaran tinggi dan beban besar. Namun roda gigi miring memerlukan bantalan aksial dan kotak roda gigi yang lebih kokoh, karena jalur gigi yang berbentuk ulir tersebut menimbulkan gaya reaksi yang sejajar dengan poros. Roda gigi miring dapat dilihat pada gambar 2.10.



Gambar 2.10. Roda Gigi Miring

Ciri-ciri roda gigi miring adalah :

1. Arah gigi membentuk sudut terhadap sumbu poros.
2. Distribusi beban sepanjang garis kontak tidak *uniform*.
3. Kemampuan pembebanan lebih besar dari pada rodagigi lurus.
4. Gaya aksial lebih besar sehingga memerlukan bantalan
5. aksial dan roda gigi yang kokoh.

Jenis -jenis roda gigi miring antara lain :

1. Roda gigi miring biasa
2. Roda gigi miring silang
3. Roda gigi miring ganda

4. Roda gigi ganda bersambung.

2.3.3. Roda Gigi Kerucut

Dalam roda gigi kerucut bidang jarak bagi merupakan bidang kerucut yang puncaknya terletak di titik potong sumbu poros. Roda gigi kerucut lurus dengan gigi lurus, adalah yang paling mudah dibuat dan paling sering dipakai. Tetapi roda gigi ini sangat berisik karena perbandingan kontakannya yang kecil. Juga konstruksinya tidak memungkinkan pemasangan bantalan pada kedua ujung poros-porosnya. Roda gigi kerucut dapat dilihat pada gambar 2.11.



Gambar 2.11. Roda Gigi Kerucut

Jenis-jenis roda gigi kerucut antara lain :

1. Roda gigi kerucut lurus.
2. Roda gigi kerucut miring.
3. Roda gigi kerucut *spiral*.
4. Roda gigi kerucut *hypoid*.

2.3.4. Roda Gigi Cacing

Roda gigi cacing ialah suatu elemen transmisi yang dapat meneruskan daya dan putaran pada poros yang bersilang. Roda gigi cacing mempunyai gigi yang dipotong menyudut seperti pada roda gigi helik dan dipasangkan dengan ulir yang

dinamakan ulir cacing. Penggunaan roda gigi ini biasanya untuk mereduksi kecepatan, roda gigi ini dalam operasionalnya akan mengunci sendiri, sehingga tidak dapat diputar pada arah yang berlawanan.

Keuntungan dari roda gigi ini adalah dengan memberikan *input* minimal dapat dihasilkan *output* dengan kekuatan maksimal. Roda gigi ini biasanya digunakan untuk kecepatan-kecepatan tinggi dengan kemampuan mereduksi kecepatan yang maksimal. Roda gigi cacing dapat dilihat pada gambar 2.12.



Gambar 2.12. Roda Gigi Cacing

Ciri-ciri roda gigi cacing antara lain :

1. Kedua sumbu saling bersilang dengan jarak sebesar biasanya sudut yang dibentuk kedua sumbu sebesar 90° .
2. Kerjanya halus dan hampir tanpa bunyi.
3. Umumnya arah transmisi tidak dapat dibalik untuk mengubah putaran
4. Perbandingan reduksi bisa dibuat sampai 1 : 150.
5. Kapasitas beban yang besar dimungkinkan karena beberapa gigi (biasanya 2 sampai 4).

2.3.5. Nama-Nama Bagian Roda Gigi

Nama-nama bagian utama Roda gigi diberikan dalam gambar 2.13. Adapun ukurannya dinyatakan dengan diameter lingkaran jarak bagi, yaitu Lingkaran hayal yang menggelinding tanpa *slip*. Ukuran gigi dinyatakan dengan jarak bagi lingkaran yaitu jarak sepanjang lingkaran jarak bagi antara profil dua gigi yang berdekatan.



Gambar 2.13. Bagian-Bagian Roda Gigi

Keterangan dari gambar :

1. *Pitch Circle* adalah lingkaran rekayasa dimana roda gigi saling menyinggung.
2. *Pitch Diameter* adalah *diameter pitch* dari roda gigi.
3. *Circular Pitch* adalah jarak dari satu titik ke titik terdekat gigi berikutnya sehingga jumlah *circular pitch* adalah ketebalan gigi ditambah dengan ruangan kosong yang memisahkan gigi dengan gigi selanjutnya.

$$p = \pi \frac{d}{z} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :

p = *Pitch Circle* (mm)

d = *Diameter pitch* (mm)

z = Jumlah gigi

4. *Module* adalah rasio dari *Diameter Pitch* dengan jumlah gigi. Umumnya ditulis dengan satuan *Metrics*.

$$m = \frac{D}{z} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

- m = Modul (mm)
d = *Diameter Pitch* (mm)
z = Jumlah Gigi

5. *Diametral Pitch* adalah ratio dari jumlah gigi dengan *Diameter Pitch*, pengertian ini bertimbal balik dengan pengertian *Module*. Umumnya ditulis dengan satuan *teeth per inch*.

6. *Addendum* adalah jarak dari ujung gigi ke *Pitch Circle*.

$$\text{Addendum} = m \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana :

- m = modul (mm)

7. *Dedendum* adalah jarak dari pangkal/bawah gigi ke *Pitch Circle*.

$$\text{Dedendum} = 1.25 m \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana :

- m = modul (mm)

8. *Whole depth* adalah jarak *addendum* ditambah dengan *dedendum*. (Richard G Budynas, 2011)

Berikut adalah ciri-ciri performa yang baik dari roda gigi.

1. Kualitas material

Roda gigi yang berkualitas terbuat dari bahan yang kuat dan ketahanan terhadap keausan yang tinggi yang memperpanjang umur roda gigi.

2. Desain dan manufaktur

Roda gigi yang bagus di potong dengan presisi tinggi menggunakan peralatan dan teknik manufaktur yang canggih untuk memastikan profil roda gigi yang sempurna.

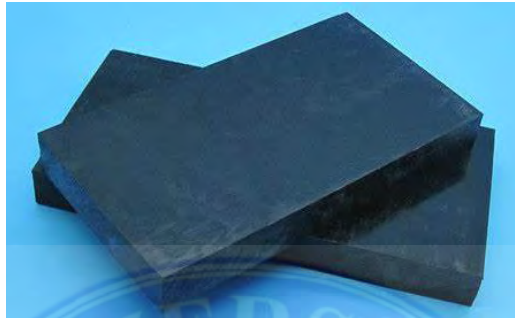
3. Kondisi fisik

Roda gigi yang bagus memiliki permukaan yang rata dan tidak ada retakan atau patahan yang dapat menyebabkan kerusakan mekanis.

2.4. Polyformaldehyde (POM)

Polyformaldehyde atau *polioksimetilen*, juga dikenal sebagai POM atau asetal, adalah termoplastik rekayasa yang digunakan pada komponen presisi yang memerlukan kekakuan tinggi, gesekan rendah, dan stabilitas dimensi yang sangat baik. Asetal adalah bahan semikristalin nonhigroskopis, buram, yang digunakan dalam pencetakan injeksi dan ekstrusi. Salah satu termoplastik paling kaku yang tersedia sebelum bahan pengisi ditambahkan, ia juga dikenal sebagai plastik yang paling mirip logam dan karena pelumasannya yang tinggi. Asetal sering kali dipilih bila diperlukan koefisien gesek yang rendah, sehingga menghasilkan keausan yang sangat baik dan kelelahan jangka panjang selain kemampuan mesin yang mudah. Dalam batas tertentu, bagian asetal akan kembali ke bentuk aslinya setelah tegangan dilepaskan, sehingga bahan ini ideal untuk bagian dengan fitur seperti pegas.

POM kerap diaplikasi di dalam komponen mesin seperti *gear*, *spring*, engsel dan lain-lain. POM biasanya beroperasi di bawah beban dan suhu melampau. Seperti bahan polimer lain, POM membawa sifat *viskoelastik* yang mempunyai



Gambar 2.14. Profil Material (POM)

kelebihan untuknya digunakan sebagai antara bahan penting dalam penghasilan komponen mesin. (Kiyokatsu Suga, 2004). POM dapat dilihat pada gambar 2.14.

POM mempunyai sifat mekanik yang unggul, termasuk kekuatan, ketahanan aus, ketangguhan, ketahanan lelah, dan ketahanan mulur. Sifat pelumasannya sendiri dan ringan menyebabkan penggunaannya secara luas dalam aplikasi industri, seperti roda gigi, bantalan, dan *roller*. Roda gigi yang diuji dalam penelitian ini terbuat dari bahan POM

POM mempunyai kombinasi koefisien gesek yang rendah, Tingkat abrasi yang baik dan kekerasan material. POM memiliki kestabilan yang baik pada peningkatan suhu, hingga temperature sekitar 100°C. POM dikenal sebagai material thermoplastik yang tahan terhadap *hydrolysis*. POM sering digunakan untuk menggantikan beberapa aplikasi-aplikasi metal.

POM 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 strenght*) membuat POM lebih ulet tahan menerima gaya tekan dan tarik.

Keuntungan POM antara lain :

1. Ketahanan terhadap hidrokarbon.
2. Ketahanan *strain* dan Lelah yang tinggi.
3. Penyerapan kelembapan rendah.
4. Ketahanan kimia yang sangat baik

Keterbatasan POM antara lain :

1. Ketahanan yang buruk terhadap asam kuat, basa dan zat pengoksidasi.
2. Mudah terbakar tanpa bahan penghambat api karena kandungan oksigennya yang tinggi
3. Stabilitas termal yang buruk tanpa sistem stabilisator yang sesuai
4. Kisaran suhu pemrosesan terbatas
5. Penyusutan cetakan yang tinggi
6. Resistensi yang buruk terhadap radiasi UV. Paparan yang terlalu lama menyebabkan perubahan warna, kerapuhan, dan hilangnya kekuatan.

Poliformaldehida memiliki tingkat penyerapan air yang sangat rendah sekitar 0,2%, dan membuat stabilisasi dimensi selalu terjaga.

POM Pertama kali disintesis dan dipelajari pada awal abad ke-20. Polimer ini termasuk polimer asetal. Para peneliti menemukan bahwa formaldehida dapat berpolimerisasi untuk membentuk bahan dengan sifat yang diinginkan.

Pada tahun 1920, Hermann Staudinger, seorang ahli kimia Jerman menemukan *Polyoxymethylene*. Dia melakukan penelitian ekstensif tentang polimer dan konsep makromolekul. Karyanya meletakkan dasar bagi pengembangan polimer poliasetal. Kemudian ia menerima Hadiah Nobel Kimia pada tahun 1953.

DuPont menjadi perusahaan pertama yang memproduksi homopolimer POM. Mereka memperkenalkan metode berdasarkan polimerisasi formaldehida menggunakan katalis koordinasi.

2.5. Teflon

Polytetrafluoroethylene (Teflon atau PTFE), umumnya dikenal sebagai “Raja Plastik”. Ini memiliki stabilitas kimia yang sangat baik, ketahanan terhadap korosi, penyegelan dan pelumasan yang tinggi. Anti lengket, isolasi listrik dan ketahanan yang baik terhadap penuaan. Digunakan sebagai plastik rekayasa, dapat dibuat menjadi tabung PTFE, batang, strip, pelat, film, dll. Umumnya digunakan pada pipa tahan korosi, wadah, pompa, katup, dan radar, peralatan komunikasi frekuensi tinggi, peralatan radio, dll. Teflon dapat dilihat pada gambar 2.15.



Gambar 2.15. Profil Material Teflon

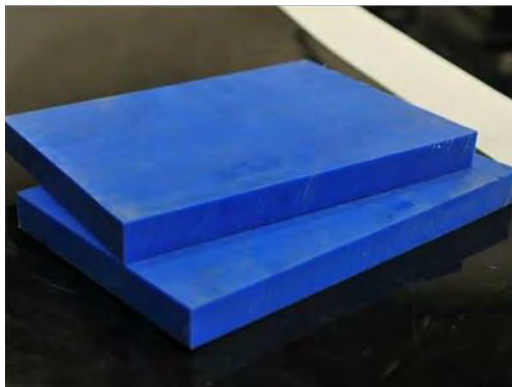
Teflon adalah nama merk dari sebuah *compound* polimer yang ditemukan oleh Roy J. plunked (1910-1994) di *DuPont* pada 1938 dan diperkenalkan sebagai produk komersial pada 1946. Teflon merupakan sebuah *fluoropolimres thermoplastik*. Teflon adalah nama dagang terdaftar dari bahan plastik yang sangat berguna yaitu *Poly Tetra Fluoro Ethylene* (PTFE). PTFE adalah salah satu kelas dari plastik yang dikenal sebagai *fluoropolymers*. PTFE ditemukan secara tidak sengaja pada tahun 1938.

Keunggulan Teflon sebagai berikut :

1. Tahan suhu tinggi – gunakan suhu kerja hingga 260 °C.
2. Ketahanan suhu rendah – ketangguhan mekanik yang baik; Perpanjangan 5% bahkan pada suhu hingga -196 °C.
3. Tahan korosi – lembam terhadap sebagian besar bahan kimia dan pelarut, tahan terhadap asam dan basa kuat, air dan berbagai pelarut organik.
4. Tahan cuaca – masa pakai plastik terbaik.
5. Sangat terlumasi – koefisien gesekan terendah pada material padat.
6. Non-perekat – merupakan tegangan permukaan terkecil pada bahan padat dan tidak melekat pada zat apa pun.
7. Tidak beracun – implantasi pembuluh darah dan organ buatan yang inert secara fisiologis dan berjangka panjang tanpa efek samping.
8. Isolasi listrik – dapat menahan tegangan tinggi 1500 volt

2.6. Mc Blue

Nilon MC Biru merupakan sejenis polimer yang dihasilkan melalui kaedah pemangkin-alkali *anion* (pempolimeran rantaian terbuka) dan berasal dari poliamida. Nilon MC Biru mempunyai ciri kekuatan mekanikal yang baik dan



Gambar 2.16. Profil Material *MC Blue*

berprestasi pelincir mandiri yang bagus. Polimer ini selalu digunakan untuk penghasilan gear, bebola dan gelas. Nilon MC Biru semakin mendapat tempat di industri pembuatan dan kerap menggantikan peranan bahan logam seperti tembaga, aluminum dan keluli. *MC Blue* dapat dilihat pada gambar 2.16.

MC merupakan singkatan *Monomer Casting* dan terdiri dari berbagai warna seperti hitam, putih gading dan merah selain dari biru. (Raharja & Sunada, 2018).

Keunggulan *MC blue* antara lain :

1. Suhu penggunaan terus menerus 120 °C
2. Sifat mekanik yang sangat baik
3. Ketahanan kimia yang sangat baik (pelarut organik, minyak, alkali) dan ketahanan terhadap korosi
4. Daya tahan yang sangat baik seperti ketahanan terhadap abrasi, ketahanan terhadap benturan, dan sifat pembawa beban
5. Tingkat penyerapan air (sekitar 2% perubahan dimensi di lingkungan lembab).

2.7. Pelumasan

Pelumas merupakan satu komponen yang terpenting dari kinerja sebuah mesin yang berfungsi mengurangi terjadinya gesekan dan keausan antar komponen yang dapat mengakibatkan kerusakan komponen mesin. Selain itu, minyak pelumas sekaligus berfungsi sebagai pelicin gerakan bagi komponen-komponen tersebut (Abd. Rahman).

2.7.1. Klasifikasi dan Spesifikasi Pelumasan

Sifat fisik dan kimia suatu pelumas tidak cukup untuk memilih pelumas

yang terbaik untuk sebuah mesin. Pengujian mesin dilakukan untuk menguji dan memahami kinerja dari suatu pelumas.

1. Klasifikasi Berdasarkan Komposisi

a. Minyak Mineral

Minyak mineral berasal dari minyak bumi dan menjalani proses pemurnian.

b. Oli Sintetis

Pelumas sintetis diproduksi melalui proses kimia untuk mencapai sifat dan karakteristik kinerja tertentu. Minyak ini menawarkan stabilitas termal, ketahanan oksidasi, dan indeks viskositas yang unggul dibandingkan minyak mineral.

c. Minyak Nabati

Pelumas berbahan dasar nabati berasal dari sumber nabati seperti minyak lobak, bunga matahari, atau kedelai. Bahan ini bersifat *biodegradable* dan memiliki toksisitas rendah, sehingga cocok untuk aplikasi yang sensitif terhadap lingkungan.

2. Klasifikasi Berdasarkan Sifat Fisik

a. Viskositas

Viskositas adalah ukuran ketahanan pelumas terhadap aliran. Pelumas dapat dikategorikan dengan viskositas rendah, sedang, atau tinggi, bergantung pada ketebalan atau ketahanannya terhadap deformasi. Tingkat viskositas yang sesuai dipilih berdasarkan kondisi pengoperasian, beban, dan kecepatan mesin.

b. Indeks Viskositas

Mengukur seberapa besar perubahan viskositas pelumas terhadap variasi suhu.

c. Titik Tuang

Titik tuang ialah temperatur terendah dimana pelumas dapat mengalir. Ini menentukan kemampuan pelumas untuk berfungsi di lingkungan dingin.

3. Klasifikasi Berdasarkan Aplikasi

a. Pelumas Otomotif

pelumas ini diformulasikan khusus untuk digunakan pada mesin otomotif, transmisi, dan komponen kendaraan lainnya.

b. Pelumas Industri

Pelumas industri digunakan di berbagai mesin dan peralatan industri, termasuk sistem hidrolik, kompresor, turbin, dan bantalan.

c. Pelumas *Food Grade*

Pelumas *food grade* digunakan dalam industri makanan dan minuman, dimana terdapat risiko kontak pelumas dengan produk yang dapat dimakan.

4. Klasifikasi *API* dan *ILSAC*

API bersama dengan *ASTM* dan *SAE*, telah menciptakan sistem di mana mesinminyak diklasifikasikan menurut kebutuhannya, dengan mempertimbangkannya berbagai kondisi di mana mereka beroperasi dan desain mesin yang berbedagunakan. Pengujian tersebut merupakan pengujian mesin standar. *API* telah mendefinisikan kelas untuk mesin bensin ($S \frac{1}{4}$ oli servis) dan untuk mesin diesel ($C \frac{1}{4}$ komersial).

5. *MIL* Spesifikasi

Spesifikasi ini berasal dari Angkatan Darat AS, yang menetapkan persyaratan minimum- persyaratan untuk oli mesinnya, dan didasarkan pada data fisik dan kimia tertentu, bersama dengan beberapa terstandarisasi mesin tes. Di

dalam itu masa lalu, ini klasifikasi adalah Juga digunakan di sektor sipil untuk menentukan kualitas oli mesin.

6. ACEA Spesifikasi

Klasifikasi ACEA mulai berlaku pada tanggal 1 Januari 1996, direvisi pada tahun 1996, dan mengalami beberapa revisi. Sejak 1 November 2004, dan dapat diklaim oleh pemasar minyak. Minyak dalam kategori ini adalah kompatibel dengan semua masalah lainnya. Kategori A dan B sekarang digabungkan Dan Bisa hanya menjadi diklaim bersama, ketika kategori C1, C2, Dan C3 adalah baru Dan merujuk ke oli mesin untuk digunakan pada mobil dengan sistem pembuangan setelah perawatan seperti diesel filter partikulat (DPF). Minyak semacam itu dicirikan oleh kandungannya yang sangat rendah komponen pembentuk abu dan mengurangi kadar *sulfur* dan *fosfor* untuk meminimalkan dampak pada menyaring sistem Dan katalis.

Fungsi lain dari Sistem Pelumasan adalah Untuk mendinginkan Mesin dengan cara menyerap panas dari bantalan-bantalan silinder dan bagian-bagian lainnya yang saling bergesekan. Selain itu juga lapisan film minyak pelumas pada dinding silinder (*cylinder liner*) juga harus berfungsi sebagai sebuah *seal*, sehingga dapat mencegah keluarnya gas-gas pembakaran melewati pegas torak yang akhirnya menentukan sekali terhadap kerja mesin maupun *long life time* dari mesin tersebut. Seperti kita ketahui bersama fungsi dari suatu sistem pelumasan adalah untuk menyediakan minyak pelumas yang cukup dan bersih ke dalam mesin untuk melumasi secara efektif dan cukup terhadap semua bagian yang saling bergesekan dan bergerak yang terjadi di dalam mesin itu sendiri.

2.7.2. Jenis-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 gabungan 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 sifatsifat khusus, seperti daya tahan terhadap suhu tinggi yang lebih baik daripada pelumas mineral atau nabati, daya tahan terhadap asam, dll.

2. Jenis Pelumasan Berdasarkan *Viscosity* (Kekentalan)

- a. Oli *monograde*, yaitu oli yang indeks kekentalannya dinyatakan hanya satu angka.
- b. Oli *multigrade*, yaitu oli yang indeks kekentalannya dinyatakan dalam lebih dari satu angka.

3. Jenis Pelumas Menurut Bentuknya

- 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 di lingkungan tertentu
 3. Ketahanan yang cukup untuk dipakai
 4. Tidak beracun
 5. Pemakaian mudah
- 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

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

2.7.3. Fungsi Pelumasan

Fungsi sistem pelumasan adalah untuk menurunkan atau mengurangi terjadinya keausan antara bagian-bagian yang saling bergesekan, sehingga dapat meningkatkan output tenaga dan *long life time* dari mesin. Bila mesin pelumasannya kurang baik, maka dapat mengakibatkan keausan dan kerusakan pada mesin.

Sistem pelumasan ini memiliki beberapa fungsi dan tujuan, antara lain:

1. Mengurangi gesekan serta mencegah keausan dan panas, dengan cara yaitu oli membentuk suatu lapisan tipis (*oil film*) untuk mencegah kontak langsung permukaan logam dengan logam.
2. Sebagai media pendingin, yaitu dengan menyerap panas dari bagian-bagian yang mendapat pelumasan dan kemudian membawa serta memindahkannya pada sistem pendingin.
3. Sebagai bahan pembersih, yaitu dengan mengeluarkan kotoran pada bagian-bagian mesin.
4. Mencegah karat pada bagian-bagian mesin.
5. Mencegah terjadinya kebocoran gas hasil pembakaran.
6. Sebagai perantara oksidasi.

Beberapa kode umum yang digunakan pada oli :

1. Kode Oli *Api*

API merupakan singkatan dari *American Petroleum Institute*, yang merupakan badan internasional yang mengeluarkan sertifikasi untuk oli secara umum. Pengujian yang dilakukan tentu menyeluruh, sehingga penggolongannya juga mendetail. Kode *API* ini diikuti dengan huruf berbeda, *S* untuk kendaraan

berbahan bakar bensin, dan N untuk kendaraan berbahan bakar solar. Kemudian diikuti satu huruf lagi yang menandakan kualitas oli, mulai dari A untuk kualitas standar, sampai Z untuk kualitas terbaik.

2. Kode Oli *ILSAC*

ILSAC singkatan dari *International Lubricant Standardization and Approval Committee*, dan biasa digunakan pada produk oli untuk kendaraan di Jepang dan Amerika. Kode yang biasa dicantumkan adalah GF-5 untuk memperlihatkan parameter uji coba oli untuk *fuel economy environment*, simulasi deposit ruang bahan bakar, piston, dan sebagainya.

3. Kode Oli *SAE*

SAE adalah singkatan dari *Society of Automotive Engineer*, yang bisa menunjukkan kekentalan sebuah produk oli. Kode yang disematkan biasanya muncul dalam 5 karakter, yakni dua angka diikuti satu huruf, dan kemudian dua angka lagi. Misalnya pada kode oli *SAE 20W-50*, artinya oli ini bisa tetap encer pada suhu rendah (20 derajat *Celcius*) dan akan tetap akan bekerja optimal ketika mesin mobil dinyalakan (suhu oli akan mencapai 50 derajat *Celcius* saja). Demikian seterusnya.

4. Kode Oli *JASO*

Japanese Automotive Standart Association (JASO), yang merupakan lembaga di Jepang yang bertugas melakukan standarisasi kualitas oli. Kode *JASO* sendiri biasa digunakan untuk oli motor. Oli *JASO* memiliki dua kode yang berbeda, MA, dan MB. MA dikhususkan untuk motor dengan kopling basah, sedangkan MB untuk motor matic.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

3.1.1. Waktu Penelitian

Berikut adalah rencana jadwal penelitian skripsi, dapat dilihat pada tabel

3.1. Tempat penelitian ini dilakukan di laboratorium Fakultas Teknik Mesin Universitas Medan Area.

Tabel 3.1. Jadwal Rencana Tugas Akhir

| Aktifitas | Tahun 2024 – Tahun 2025 | | | | | | |
|--------------------------|-------------------------|-----|-----|------|------|-----|-----|
| | Jan | Mar | Mei | Juni | Agst | Sep | Okt |
| Pengajuan Judul | | | | | | | |
| Penulisan Proposal | | | | | | | |
| Seminar Proposal | | | | | | | |
| Persiapan Bahan dan Alat | | | | | | | |
| Pembuatan Roda Gigi | | | | | | | |
| Pengujian Roda Gigi | | | | | | | |
| Menganalisa Data | | | | | | | |
| Senimar hasil | | | | | | | |
| Sidang Sarjana | | | | | | | |

3.2. Bahan dan Alat

3.2.1. Bahan

1. Polyformaldehyde

Polyformaldehyde membawa sifat viskoplastik yang mempunyai kelebihan untuknya digunakan sebagai antara bahan penting dalam penghasilan komponen mesin. Pom dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1. material *Polyformaldehyde*

Berikut tabel spesifikasi material *Polyformaldehyde*.

Tabel 3.2. Tabel Spesifikasi *Polyformaldehyde*

| <i>Property</i> | <i>Material density (kg/m³)</i> | <i>Tensile strength (Mpa)</i> | <i>Elongation at break (%)</i> | <i>Elastis Modulus (Mpa)</i> | <i>Yield strength</i> |
|-------------------------|--|-------------------------------|--------------------------------|------------------------------|-----------------------|
| <i>Polyformaldehyde</i> | 1.410 | 57,125 | 98,098 | 21,698 | 57,11 |

2. Pelumas

Pelumas yang di gunakan peneliti pada penelitian ini yaitu oli transmisi *Shell SPIRAX S5 ATF* (SAE 75W-90). Berikut gambar dan spesifikasi *Shell SPIRAX S5 ATF* (SAE 75W-90).

Tabel 3.3. Tabel Spesifikasi Oli *Shell SPIRAX S5 ATF X* (SAE 75W-90)

| <i>Property</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 |

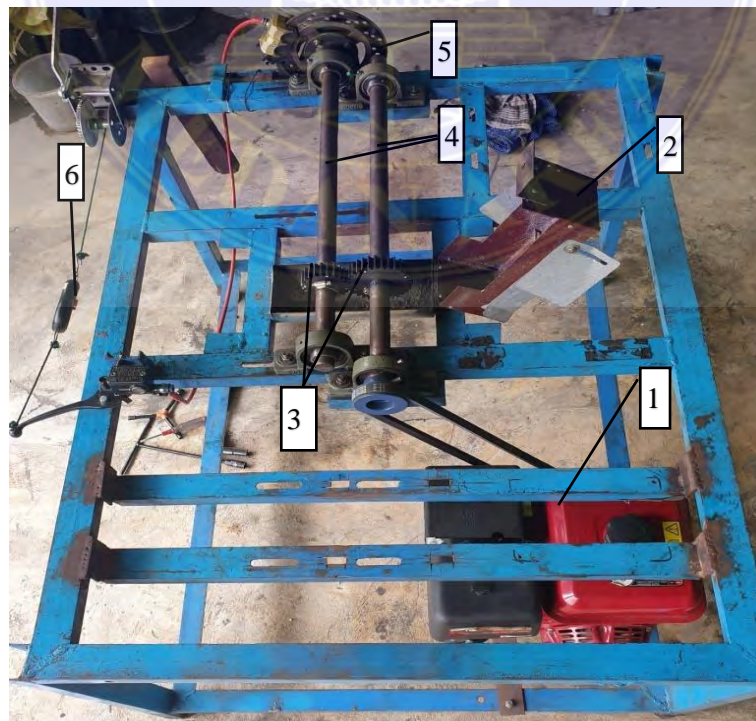


Gambar 3.2. Shell SPIRAX S5 ATF (SAE 75W-90)

3.2.2. Alat

1. Mesin Uji Keausan

Mesin uji keausan berfungsi untuk menguji keausan dengan menggunakan tipe berdasarkan perangkat keras yaitu arduino uno, sensor *loadcell* dan sensor rpm.



Gambar 3.3. Mesin Uji Rig

Berikut adalah bagian – bagian dari mesin uji rig.

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

Alat ini nantinya akan digunakan peneliti menguji roda gigi lurus bahan *polyformaldehyde*, dapat dilihat pada gambar 3.3.

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

Tabel 3.4. 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 merupakan alat yang pada umumnya digunakan untuk mengukur suhu. *Thermogun* yang digunakan peneliti pada penelitian ini adalah *Thermogun*



Gambar 3.4. *Thermogun*

GM320 *Infrared Thermometer* , spesifikasi *Thermogun* mampu mengukur suhu dari -50°C hingga 400°C . Dimana ini sangat cukup pada penelitian ini.

3. *Tachometer*

Tachometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan rotasi dari sebuah objek, biasanya dalam satuan putaran per menit (RPM). *Tachometer* yang digunakan peneliti pada penelitian ini adalah DT-2234C⁺ .

Tachometer ini dapat mengukur putaran hingga 10.000 rpm. Dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3.5. *Tachometer*

4. Timbangan

Timbangan digital digunakan untuk mengukur massa dari spesimen sebelum dan sesudah pengujian, timbangan ini mampu mengukur massa hingga 500 gram dengan resolusi akurasi 0,01 gram. Timbangan dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3.6. Timbangan Digital

3.3. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu secara 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 :

1. Studi literatur.

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

2. 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.

3. Pengolahan data

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

4. Saran dan simpulan

Selanjutnya pengambilan kesimpulan dan saran untuk penelitian selanjutnya.

3.4. Populasi Dan Sampel

3.4.1. Populasi Penelitian

Populasi pada penelitian ini terdiri dari jenis roda gigi lurus yang terbuat dari material polimer yaitu *Polyformaldehyde* dengan modul 3.

3.4.2. Sampel Penelitian

Teknik pengambilan sampel yang digunakan peneliti adalah *sample random sampling*.

Berikut adalah sampel roda dan gambar teknik gigi lurus yang di di buat peneliti.

Tabel 3.5. Tabel Sampel Roda Gigi Lurus.

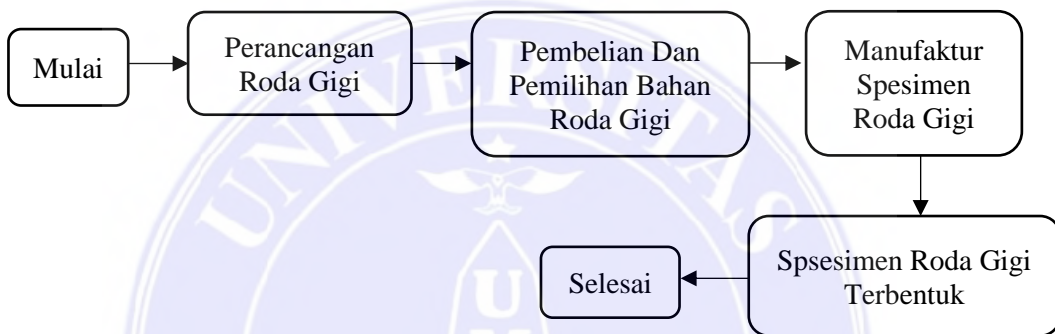
| No | Bahan | D_{Luar} (mm) | Modul (mm) | D_{pitch} (mm) | Jumlah gigi | Ketebalan (mm) | Jumlah Spesimen |
|-----------------|-------|--------------------|---------------|---------------------|----------------|-------------------|--------------------|
| 1 | POM | 100 | 3 | 94 | 31 | 25 | 6 |
| 2 | POM | 75 | 3 | 69 | 23 | 25 | 2 |
| jumlah spesimen | | | | | | | 8 |

3.5. Prosedur Kerja

Prosedur kerja adalah langkah – langkah atau tahapan kerja yang harus di ikuti penulis dengan tujuan agar penelitian berjalan sesuai dengan tujuan penelitian.

3.5.1. Proses Pembuatan Spesimen

Proses pembuatan roda gigi lurus dari bahan *Polyformaldehyde* melibatkan beberapa tahapan yang penting dan terstruktur. Berikut adalah tahap – tahap proses pembuatan roda gigi lurus.



Gambar 3.7. Tahap -Tahap Proses Pembuatan Roda Gigi Lurus

Berikut adalah penjelasan tahap – tahap proses pembuatan roda gigi.

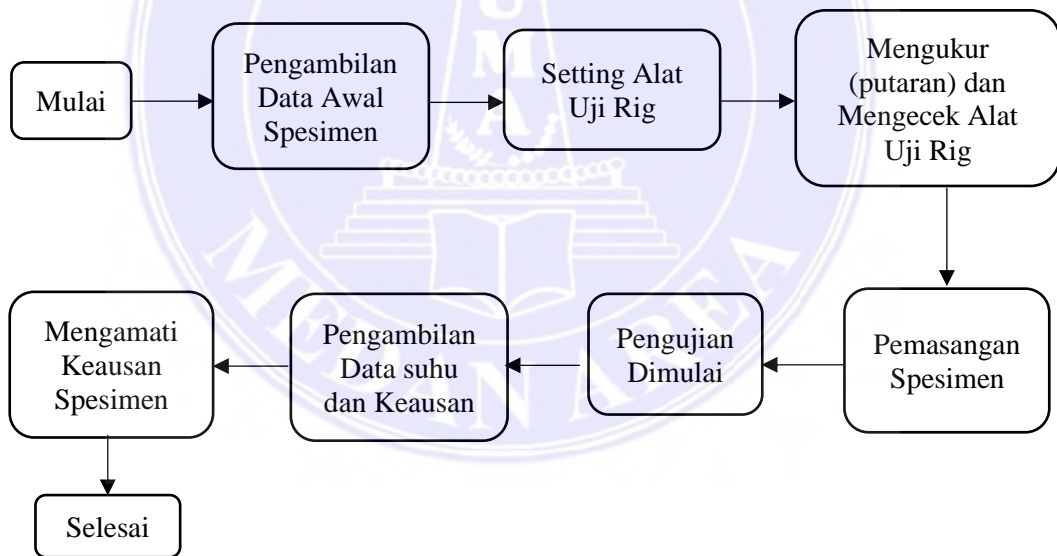
1. Pembuatan roda gigi lurus dimulai dari perhitungan rumus-rumus roda gigi untuk menentukan diameter *pitch* dan jumlah gigi.
2. Pembelian dan pemilihan material/bahan roda gigi, pada penelitian ini material yang digunakan *Polyformaldehyde*.
3. Memanufaktur material menjadi spesimen roda gigi. Berikut langkah – langkah manufaktur yang dilakukan.
 - a. spesimen material yang berbentuk silinder akan dibubut permukaannya sehingga OD material menjadi 100mm dan 75mm.
 - b. 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.

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. Setelah proses *finishing* selesai, roda gigi lurus siap digunakan pada penelitian ini. Pembuatan roda gigi lurus pada penelitian ini menggunakan *standart ISO 1328 grade 5* (kualitas presisi tinggi).

3.5.2. Proses Pengujian Keausan

Setelah spesimen roda gigi lurus selesai di manufaktur, kemudian dilakukan pengujian keausan dari spesimen sesuai dengan tujuan pada penelitian ini. Berikut adalah langkah – langkah proses pengujian yang di rencanakan.



Gambar 3.8. Langkah-langkah Proses Pengujian Keausan

Berikut adalah penjelasan langkah-langkah proses pengujian keausan.

1. 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*.

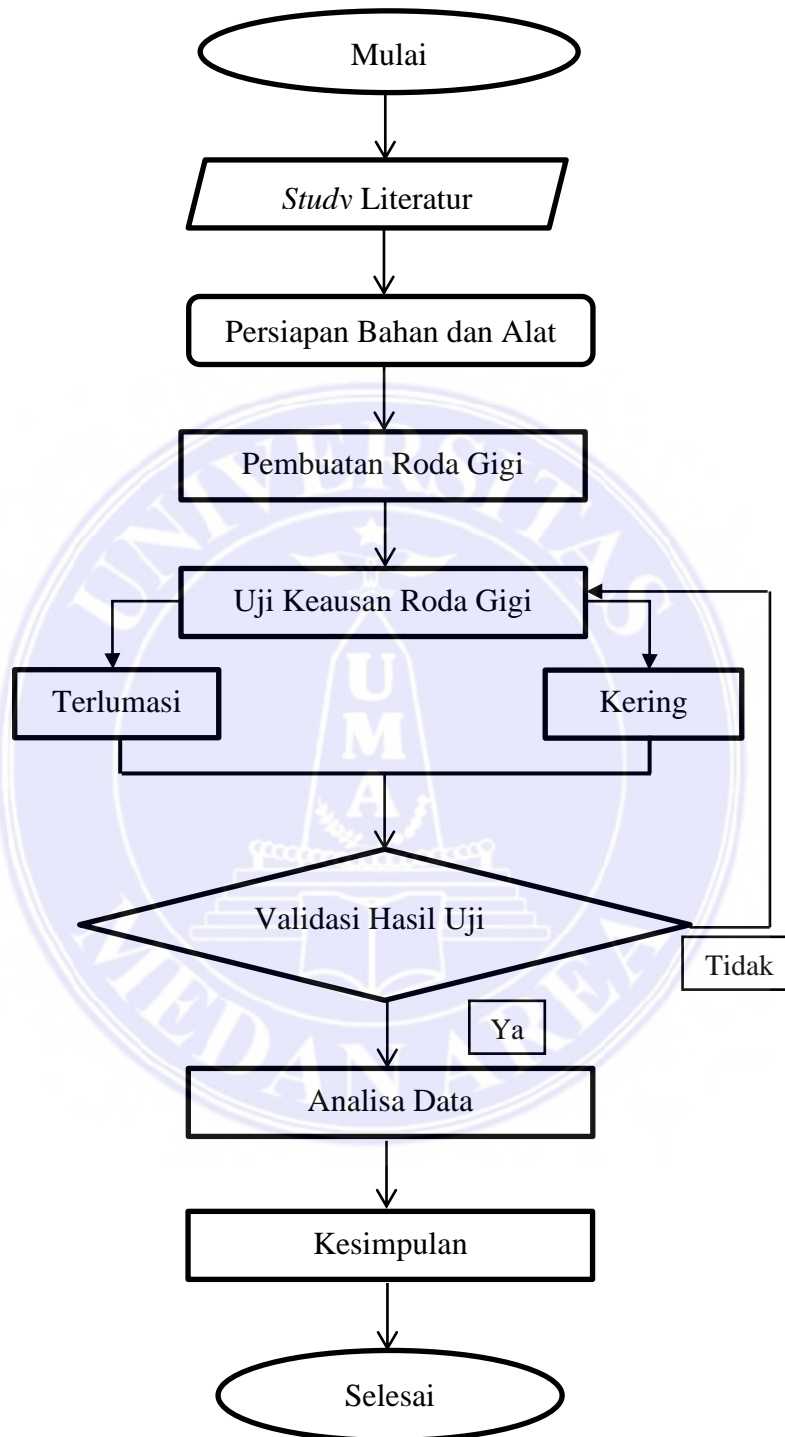
3. Kecepatan dan beban yang diinginkan pada pengujian ini di rencanakan sebesar 3400rpm dan 5.8Nm.

4. Langkah berikutnya, pemasangan spesimen roda gigi pada mesin uji rig. Setelah spesimen roda gigi selesai di pasang, pengujian keausan dapat dimulai. Pengujian keausan roda gigi akan berlangsung hingga roda gigi mencapai putaran total sebanyak 2 juta putaran dan 5.8Nm beban.

5. Setiap 20×10^4 putaran atau setiap 60 menit, lepas lalu timbang massa roda gigi 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 atau 200×10^4 putaran. Standar pengujian keausan roda gigi bahan *polyformaldehyde* pada penelitian ini adalah *ISO 10825 (Gear-wear and damage to gear teeth- terminologi)* yang mengklasifikasikan dan mendeskripsikan berbagai jenis keausan dan kerusakan yang di temukan pada roda gigi lurus saat pengujian.

3.6. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 3.9. Diagram Penelitian

Berikut adalah penjelasan dari 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. 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, dan memastikan mesin pengujian tidak ada kerusakan.
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. Saat pengujian berlangsung peneliti melakukan validasi kualitatif dengan metode pengujian di hentikan setiap siklus 20×10^4 atau waktu 1 jam dan mengamati serta mendokumentasikan perkembangan keausan yang terjadi, misalnya *abrasive wear*, *pitting* dan yang lainnya.
5. Setelah pengujian selesai maka pengambilan data seperti massa 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. Terakhir, penulis akan menyimpulkan penelitian yang dilaksanakan melalui data, studi literatur dan pengetahuan yang dimiliki dan memberi saran dalam penelitiannya.

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai keausan roda gigi lurus berbahan *polyformaldehyde* dalam kondisi kering dan terlumasi, beberapa kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut:

1. Pembuatan spesimen roda gigi lurus dengan bahan *polyformaldehyde* dengan OD 100 mm dan 75 mm, jumlah gigi 31 dan 23 dan ketebalan 25 mm dengan modul 3. Spesimen ini berhasil dibuat sebanyak 4 set (8 pcs) roda gigi lurus.
2. Hasil dari pengujian keausan roda gigi lurus, dimana dengan menggunakan pelumasan keausan/kehilangan material pada roda gigi berkurang cukup signifikan dari pengujian kondisi kering. Dari hasil pengujian rasio 1:1 roda gigi *driver* mengalami penurunan keausan 0,24 gr (dari pengujian kondisi kering) dan *driven* 0,22 gr (dari pengujian kondisi kering). Pada pengujian rasio 1:0,75 mengalami penurunan keausan *driver* 0,20 gr (dari pengujian kondisi kering) dan *driven* 0,95 gr (dari pengujian kondisi kering). Berdasarkan hasil pengujian, menunjukkan bahwa pelumasan sangat berpengaruh terhadap keausan yang terjadi pada roda gigi.
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

Adapun beberapa saran yang perlu disampaikan oleh penulis yaitu dijabarkan sebagai berikut.

1. Keamanan dan kesehatan kerja adalah aspek yang krusial dan harus diutamakan dalam proses manufaktur.
2. Simpan rig uji di lokasi yang terlindungi dari panas dan hujan untuk memastikan keandalan peralatan.



DAFTAR PUSTAKA

- Akbarzadeh S., Khonsari M.M., 2011, “*Experimental And Theoretical Investigation Of Running- In,*” *Tribology International* 44, Pp. 92–100
- Arief, Rakhmad Siregar, Studi Eksperimen Terhadap Keausan Pada Roda Gigi Cacing Komposit, *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi*, Medan: 2019
- Chattopadhyay, R. (2001). *Surface Wear - Analysis, Treatment, And Prevention. Oh, Usa: Asm-International. Isbn 978-0-87170-702-4.*
- D.K.Kokareã, S.S.Patil., 2014. “*Numerical Analysis Of Variation In Mesh Stiffness For Spur Gear Pair With Method Of Phasing*”, *International Journal Of Current Engineering And Technology, Special Issue-3*,
- 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.*
- Gurupujaz. (2019, January 4). Nama-Nama Bagian Roda Gigi.
- Irawan, R. (2018). Pengaruh Pembebanan Terhadap Kekuatan Roda Gigi Lurus Komposit. *Konstruksi Dan Manufaktur. Industrial Research Workshop And National Seminar 2012 ISBN 978-979-3541-25-9*
- Jac. Stolk, C. Kros., “*Elemen Mesin*” 1981, Erlangga , Jakarta
- J.R.Davis, Associates. “*Sueface Engineering And Wear Resistance*”, 2001.
- Koji Kato, (2001) *Friction And Wear Of Self-Mated Sic And Si3N4 Sliding In Water*, 246-255.
- Neimann. G., “*Elemen Mesin*”, 1990, Erlangga, Jakarta
- Niemann Gustav, *Machine Elements, Vol.I, II*, Spring Verlag, Berlin, 1990.
- Robert L.Mott, (2009). *Elemen-Elemen Mesin Dalam Perancangan Mekanis: Perancangan Elemen Mesin Terpadu*, Jakarta: Andi
- Raharja, B. S., & Sunada, I. M. (2018). Analisa Keausan Roda Gigi Lurus Secara Mikroskopik Dengan Variasi Beban. *Jurnal Teknik Mesin*, 14(2), 299–305.
- 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.
- Siregar, R., I Isranuri, & Suherman. (2015). Kajian Perilaku Getaran Torsional Untuk Deteksi Kerusakan Roda Gigi Lurus. *Widya Teknika*, 30-34.
- Sugiyono, “*Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, Dan R&D*”, 2013, Alfabeta, Cv. Bandung
- Syahransirajuddin, Awal. 2010. Analisis Eksperimental Ciri Kerusakan Roda Gigi Lurus Berbasispektrum Getaran. Universitasadulako: Palu.
- Syafaat, I. 2008.”*Tribologi, Daerah Pelumasan Dan Keausan*”.*Sejarah Tribologi, Daerah Pelumasan Dan Keausan*.4(2)
- Thomson, W.T. “*Teory Of Vibration With Application, 4th Edition*”. 1993. *Prentice-Hall, USA.*
- Theo Mang, Kristen Bobzin, Thorsten Brtels. “*Indusrial Tribology*”. 2010.

Yudha Swara M, “Penerapan Analisis Cepstrum Getaran Pada Sistem Transmisi Roda Gigi Lurus Bertingkat”, 2008, Thesis Magister, Itb-Bandung, Bandung
Yefrichan, 2007, Dasar Analisis Rodagigi. Teknik *Engineering*



GAMBAR TEKNIK RODA GIGI LURUS

