

PEMBUATAN RIG UJI KEAUSAN DAN KELELAHAN RODA GIGI DENGAN SENSOR PUTARAN DAN BEBAN

SKRIPSI

OLEH:

**JOEL CHRISTIAN PURBA
198130069**



**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 2/5/24

Access From (repository.uma.ac.id)2/5/24

HALAMAN JUDUL

PEMBUATAN RIG UJI KEAUSAN DAN KELELAHAN RODA GIGI DENGAN SENSOR PUTARAN DAN BEBAN

SKRIPSI

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

Oleh:

JOEL CHRISTIAN PURBA
198130069

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 2/5/24

Access From (repository.uma.ac.id)2/5/24

HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

Judul Proposal : Pembuatan Rig Uji Keausan dan Kelelahan Roda
Gigi dengan Sensor Putaran dan Beban
Nama Mahasiswa : Joel Christian Purba
NIM : 198130069
Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh
Komisi Pembimbing


(Dr. Eng. Rakhmad Arief Siregar, ST, M. Eng)


(Dr. Eng. Supriatno, ST, MT)
FAKULTAS Dekan


(Dr. Iswandi, ST, MT)
Ka. Prodi
PRODI. TEKNIK

Tanggal Lulus:

HALAMAN PERNYATAAN

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



HALAMAN PERSETUJUAN PERNYATAAN PUBLIKASI SKRIPSI

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

Nama : Joel Christian Purba
NPM : 198130069
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 skripsi saya yang berjudul: Pembuatan Rig Uji Keausan dan Kelelahan Roda Gigi dengan Sensor Putaran dan Beban, beserta perangkat yang ada. 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 dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Medan, 23 Maret 2024
Yang menyatakan


(Joel Christian Purba)

ABSTRAK

Perkembangan teknologi mesin saat ini, penggunaan roda gigi masih sangat dibutuhkan sebagai alat transmisi pada berbagai mesin industri. Untuk menguji kekuatan suatu roda gigi dibutuhkan suatu alat untuk menguji roda gigi guna mengukur kekuatan suatu roda gigi. Untuk menciptakan alat tersebut, maka dilakukan pembuatan rig uji keausan dan kelelahan roda gigi dengan sensor putaran dan beban.

Pembuatan rig uji roda gigi ini dilakukan dengan mengikuti prosedur manufaktur seperti pemilihan bahan hingga pengujian produk. Dalam proses pembuatan rig uji ini meliputi proses manufaktur, seperti pemotongan, pembubutan, pengelasan, pengeboran, dan sambungan menggunakan mur dan baut. Penelitian ini dilakukan dengan metode pembuatan alat dengan menyiapkan alat dan bahan sebagai objek penelitiannya.

Pembuatan mesin rig uji roda gigi ini menggunakan konsep pembuatan yang ke-3 dengan menggunakan sambungan baut, menggunakan kotak kardus dan menggunakan cat clear dengan kisaran harga Rp. 6.000.000 dan lama garansi selama 12 bulan. Bahan yang digunakan dalam pembuatan mesin rig uji ini, meliputi besi UNP, motor, poros, *bearing*, *inverter*, rem, cakram, sensor rpm, sensor beban, arduino, dan *hand winch*. Pembuatan rig uji keausan dan kelelahan roda gigi dengan sensor putaran dan beban ini menggunakan biaya sebesar Rp. 6.175.000. Pengujian mesin rig uji menggunakan roda gigi bahan polimer dengan diameter 100 mm menggunakan modul 3 dan didapatkan hasil putaran maksimum sebesar 1430 rpm dengan beban maksimal sebesar 4,903 N.

Kata kunci: Pembuatan rig uji roda gigi

ABSTRACT

The current development of machine technology, the use of gears is still very much needed as a means of transmission in various industrial machines. To test the strength of a gear, a tool is needed to test a gear to measure the strength of a gear. To create this tool, a gear wear and fatigue test rig was made with sensor rotation and load.

The manufacture of the gear test rig is carried out by following manufacturing procedures such as material selection to product testing. The manufacturing process of this test rig includes manufacturing processes, such as cutting, turning, welding, drilling, and connecting using nuts and bolts. This research was conducted using the method of making tools by preparing tools and materials as research objects.

The manufacture of this gear test rig machine uses the third manufacturing concept by using bolt connections, using cardboard boxes and using clear paint with a price range of Rp. 6.000.000 and a long guarantee of 12 months. The materials used in making this test rig machine include UNP iron, motor, shaft, bearing, inverter, brake, disc, rpm sensor, load sensor, Arduino, and hand winch. Making a gear wear and fatigue test rig with rotation and load sensors costs Rp. 6,175,000. The test rig engine was tested using polymer gears with a diameter of 100 mm using module 3 and obtained maximum rotation results of 1430 rpm with a maximum load of 4,903 N.

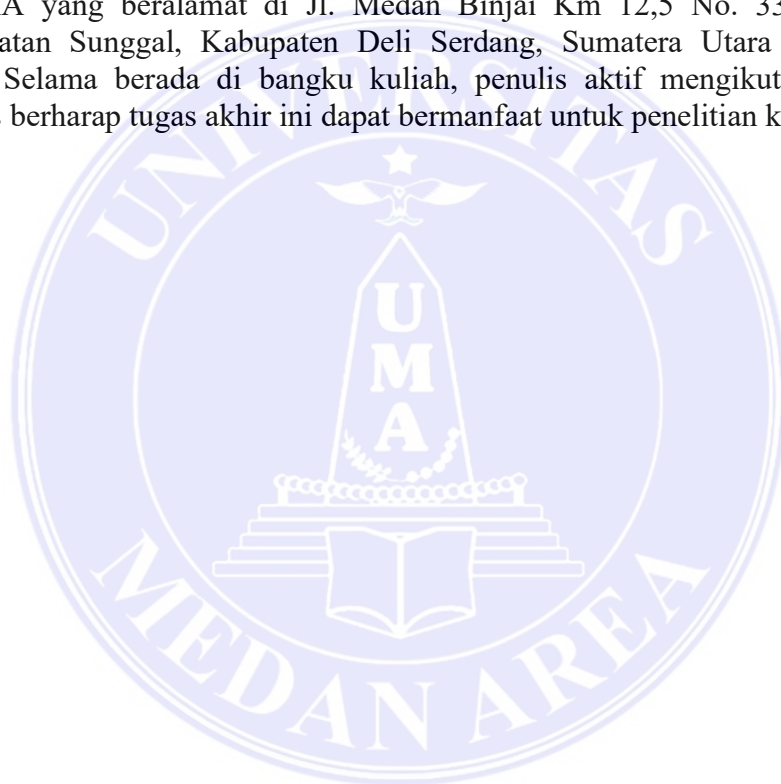
Keyword: Manufacture of gear test rigs

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Gunung Hulan, pada tanggal 22 September 2001 dari pasangan Bapak Jarlinsen Purba dan Ibu Junita Sinurat. Penulis merupakan anak ketiga dari enam bersaudara. Penulis bertempat tinggal Gunung Hulan, Kecamatan Raya, Kabupaten Simalungun, Sumatera Utara.

Pada tahun 2007 penulis memulai pendidikan formal di SD Negeri 095158 Gunung Hulan. Selanjutnya pada tahun 2013 penulis melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 1 Pematang Raya. Kemudian pada tahun 2016 melanjutkan Pendidikan di SMA GKPS 1 Pematang Raya. Pada tahun 2019 penulis terdaftar menjadi mahasiswa Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Medan Area.

Penulis melaksanakan program magang di PT. GANDA SARIBU UTAMA yang beralamat di Jl. Medan Binjai Km 12,5 No. 33 Puji Mulyo, Kecamatan Sunggal, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara selama enam bulan. Selama berada di bangku kuliah, penulis aktif mengikuti perkuliahan. Penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat untuk penelitian kedepannya.



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur saya ucapkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa sehingga saya dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini. Berkat anugerah-Nya saya dapat menyelesaikan Skripsi yang menjadi tugas akhir agar memenuhi syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Universitas Medan Area dengan judul "*Pembuatan Rig Uji Keausan dan Kelelahan Roda Gigi dengan Sensor Putaran dan Beban*" ini dengan tepat waktu.

Penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada Bapak Prof. Dr. Dadan Ramdan, M,Eng, M.Sc., selaku rektor Universitas Medan Area. Bapak Dr. Eng. Supriatno, S.T, M.T, selaku Dekan fakultas teknik Universitas Medan Area. Bapak Dr. Iswandi, ST, MT, selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Medan Area, Bapak Dr. Eng., Rakhmad Arief Siregar, ST., M. Eng., selaku Dosen pembimbing yang telah banyak meluangkan waktunya untuk membimbing penulis dalam penulisan skripsi ini. Jarlinsen Purba dan Junita Sinurat selaku Orang tua penulis, beserta keluarga yang memberikan dukungan dan doa untuk saya dalam penulisan skripsi ini.

Saya menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki kekurangan, oleh sebab itu, segala kritik dan saran yang digunakan untuk perbaikan serta penyempurnaan pada skripsi ini sangat saya harapkan. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis serta bagi para pembaca pada umumnya.

Medan, 23 Maret 2024
Penulis,



Joel Christian Purba

DAFTAR ISI

| | |
|---|-----------|
| HALAMAN JUDUL..... | i |
| HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI..... | ii |
| HALAMAN PERNYATAAN | iii |
| HALAMAN PERSETUJUAN PERNYATAAN PUBLIKASI SKRIPSI..... | iv |
| ABSTRAK | v |
| 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..... | 3 |
| 1.3 Tujuan Penelitian..... | 3 |
| 1.4 Hipotesis Penelitian | 3 |
| 1.5 Manfaat Penelitian..... | 4 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA..... | 5 |
| 2.1. Pembuatan (<i>Manufacture</i>) | 5 |
| 2.2 Pemilihan Bahan (<i>Material Selection</i>) | 11 |
| 2.3 Pengujian | 13 |
| 2.4 Rig Uji | 14 |
| 2.5 Keausan (<i>Wear</i>) | 16 |
| 2.6 Kelelahan (<i>Fatigue</i>)..... | 21 |
| 2.7 Roda Gigi (<i>Gear</i>)..... | 25 |
| 2.8 Sensor Putaran | 27 |
| 2.9 Sensor Beban | 28 |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN..... | 29 |
| 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian | 29 |
| 3.2 Bahan dan Alat | 30 |
| 3.3 Metode Penelitian..... | 38 |
| 3.4 Populasi dan Sampel..... | 39 |
| 3.5 Prosedur Kerja | 39 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN | 41 |
| 4.1 Hasil..... | 41 |
| 4.2 Pembahasan | 47 |
| 4.3 Hasil Perakitan Rig Uji..... | 53 |
| 4.4 Hasil Pengujian..... | 54 |
| 4.5 Spesifikasi Rig Uji..... | 56 |
| 4.5 Biaya Pembuatan | 57 |
| BAB V SIMPULAN DAN SARAN..... | 58 |
| 5.1 Simpulan..... | 58 |
| 5.2 Saran | 58 |
| DAFTAR PUSTAKA | 59 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 2.1. Klasifikasi Proses Permesinan | 11 |
| Tabel 3.1. Jadwal Tugas Akhir | 29 |
| Tabel 4.1. Tabel Morfologi | 41 |
| Tabel 4.2. Pemilihan Konsep | 42 |
| Tabel 4.3. Matrik Keputusan (<i>Pugh Chart</i>) | 44 |
| Tabel 4.4. Daftar Komponen | 46 |
| Tabel 4.5. Jumlah Potongan Bahan Rangka | 47 |
| Tabel 4.6. Hasil Pengujian | 54 |
| Tabel 4.7. Spesifikasi Rig Uji Roda Gigi | 56 |
| Tabel 4.8. Biaya Pembuatan | 57 |



DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2.1. <i>Crack Initiation</i> | 22 |
| Gambar 2.2. <i>Crack Propagation</i> | 23 |
| Gambar 2.3. Patah | 23 |
| Gambar 3.1. Besi UNP | 30 |
| Gambar 3.2. Motor Listrik | 31 |
| Gambar 3.3. Rem Cakram | 31 |
| Gambar 3.4. Poros | 32 |
| Gambar 3.5. Roda Gigi Lurus | 32 |
| Gambar 3.6. Sensor RPM | 33 |
| Gambar 3.7. Timbangan Digital | 33 |
| Gambar 3.8. Inverter | 34 |
| Gambar 3.9. Arduino Uno | 34 |
| Gambar 3.10. <i>Bearing</i> . | 35 |
| Gambar 3.11. <i>Hand winch</i> | 35 |
| Gambar 3.12. Mesin Frais | 36 |
| Gambar 3.13. Mesin Las | 36 |
| Gambar 3.14. Mesin Gerinda Potong | 37 |
| Gambar 3.15. Meteran | 37 |
| Gambar 3.16. Mesin Bor | 38 |
| Gambar 3.17. Diagram Alir Penelitian | 40 |
| Gambar 4.1. Grafik Perbandingan Harga | 42 |
| Gambar 4.2. Grafik Perbandingan Konsep | 45 |
| Gambar 4.3. Bagian-bagian yang dilas | 49 |
| Gambar 4.4. Bagian yang dibor | 50 |
| Gambar 4.5. Alur Pasak | 51 |
| Gambar 4.6. Gambar Rancangan Rig Uji | 53 |
| Gambar 4.7. Hasil Pembuatan Rig Uji | 53 |
| Gambar 4.8. Grafik Hasil Pengujian Mesin Rig Uji | 55 |

DAFTAR NOTASI

| | |
|-------|---|
| D | = Diameter mata gerinda (mm) |
| D_a | = Diameter mata bor (mm) |
| D_b | = Diameter <i>cutter</i> (mm) |
| F_p | = Gerak makan |
| I | = Kuat arus listrik (A) |
| L | = Panjang benda kerja (mm) |
| N | = Kecepatan putar mata gerinda (rpm) |
| N_a | = Putaran mata bor (rpm) |
| N_b | = Kecepatan putaran <i>cutter</i> mesin milling (rpm) |
| R | = Resistansi (ohm) |
| t | = Waktu pemotongan (s) |
| V | = Tegangan arus (volt) |
| v | = Kecepatan potong gerinda (m/s) |
| v_a | = Kecepatan pengeboran (m/s) |
| v_b | = Kecepatan pengefraisan (m/s) |



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Dalam perkembangan teknologi mesin saat ini, penggunaan roda gigi masih sangat dibutuhkan hingga saat ini sebagai alat transmisi daya dan putaran dalam suatu mesin. Daya dan putaran tersebut diteruskan oleh roda gigi dari suatu bagian ke bagian yang lainnya yang saling berhubungan. Roda gigi biasanya memiliki pasangan yang dipasang secara bersingungan sehingga menghasilkan putaran yang berlawanan dengan pasangannya. Roda gigi sering dipakai karena bisa meneruskan putaran dan tenaga dengan berbagai variasi dan akan lebih kompak dibandingkan dengan alat transmisi yang lain. Roda gigi juga memiliki keunggulan bila dibandingkan dengan alat transmisi yang lain, seperti daya yang dihasilkan lebih besar dan sitemnya yang lebih fleksibel. Selain itu, juga mampu menerima beban yang lebih besar daripada transmisi yang lain.

Oleh karena hal tersebut, roda gigi merupakan komponen mesin yang rentan terhadap keausan dan kelelahan. Di dalam aplikasi penggunaan transmisi roda gigi sering ditemukan berbagai permasalahan kegagalan sehingga mengurangi kualitas kerja roda gigi itu. Terlebih pada mesin-mesin yang beroperasi pada putaran tinggi sehingga sangat memungkinkan terjadinya keausan dan kelelahan pada roda giginya.

Keausan adalah kerusakan perubahan karakteristik pada permukaan yang disebabkan penggunaan jangka panjang maupun oleh bercampurnya material dengan zat yang lain (Raharja & Sunanda, 2018). Faktor penyebab keausan yang

terjadi diakibatkan oleh pergerakan roda gigi itu sendiri yang terus berulang-ulang. Keausan merupakan keadaan dimana terkikisnya bagian permukaan roda gigi akibat bergesekan secara terus-menerus dengan pasangannya dalam jangka waktu yang lama. Keausan diakibatkan oleh gesekan antar roda gigi ketika beroperasi sehingga perlu dilakukan pengujian terhadap keausan dan kelelahan roda gigi. Roda gigi yang telah aus tidak dapat berfungsi secara maksimal.

Kelelahan merupakan kerusakan yang terjadi pada roda gigi yang dikibatkan oleh beban yang diterima oleh roda gigi melebihi kapasitasnya (Suprpto & Ismanto, 2010). Bila roda gigi mengalami kelelahan maka cenderung akan terjadi patah gigi saat menerima beban. Pengujian lelah adalah cara yang bisa dilakukan untuk menguji ketahanan pada suatu struktur roda gigi untuk mengetahui tanda, penyebab dan cara mengatasinya. Terjadinya kelelahan sendiri terdiri dari tiga langkah, yaitu memulai retakan dan perambatan retakan hingga patah (*fracture*).

Oleh karena permasalahan tersebut, diperlukan adanya rig uji untuk mengevaluasi tingkat kekuatan suatu roda gigi yang diharapkan mampu memberikan solusi untuk masalah tersebut. Manfaat pembuatan rig uji keausan dan kelelahan roda gigi ini diharapkan mampu membantu menemukan solusi untuk mengatasi kegagalan pada roda gigi. Rig uji ini digunakan untuk mengukur tingkat keausan dan kelelahan pada roda gigi dan mencari faktor-faktor penyebabnya.

Pembuatan rig uji keausan dan kelelahan roda gigi dengan sensor putaran dan beban ini juga dilatar belakangi oleh karena dibutuhkannya sebuah alat untuk menguji roda gigi di Laboratorium Manufaktur Program Studi Teknik Mesin

Universitas Medan Area. Rig uji ini diperlukan dalam praktek pengujian roda gigi sebagai alat dan sarana penelitian. Dengan dibuatnya alat ini, diharapkan rig uji ini bisa menambah alat praktikum bagi mahasiswa Program Studi Teknik Mesin Universitas Medan Area.

1.2 Perumusan Masalah

Setelah menjelaskan tentang latar belakang masalah di dalam penelitian ini, maka yang menjadi identifikasi dan rumusan masalah dalam riset ini adalah "Bagaimana membuat rig uji keausan dan kelelahan roda gigi dengan sensor putaran dan beban yang dapat digunakan sebagai alat penelitian mahasiswa?"

1.3 Tujuan Penelitian

Di bawah ini beberapa tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini.

- a. Membuat dan memilih konsep pembuatan rig uji keausan dan kelelahan roda gigi dengan sensor putaran dan beban.
- b. Memilih bahan untuk pembuatan rig uji keausan dan kelelahan roda gigi dengan sensor putaran dan beban.
- c. Membangun dan merakit rig uji keausan dan kelelahan roda gigi dengan sensor putaran dan beban.
- d. Menguji kinerja rig uji keausan dan kelelahan roda gigi dengan sensor putaran dan beban.

1.4 Hipotesis Penelitian

Adapun yang menjadi hipotesis penelitian ini adalah sebagai berikut.

- a. Membuat konsep pembuatan guna mendukung perencanaan hingga pembuatan mesin rig uji.
- b. Memilih bahan yang sesuai dengan kebutuhan produksi dan persyaratan mesin rig uji.
- c. Membangun mesin rig uji berdasarkan konsep pembuatan dan bahan produksi yang dipilih.
- d. Menguji mesin rig uji untuk memastikan mesin rig uji bekerja dengan baik dan aman digunakan oleh pengguna.

1.5 Manfaat Penelitian

Pembuatan rig uji roda gigi ini memiliki beberapa manfaat sebagai berikut.

- a. Penelitian ini diharapkan mampu menjelaskan prosedur kerja dalam bidang manufaktur.
- b. Hasil penelitian ini diharapkan bisa memberikan pengetahuan bagi pembaca mengenai bagaimana pemilihan bahan dalam bidang manufaktur.
- c. Penelitian ini diharapkan mampu memberikan pengetahuan kepada pembaca tentang bagaimana proses pembuatan suatu produk.
- d. Rig uji roda gigi dapat digunakan sebagai alat praktikum ataupun penelitian bagi mahasiswa.
- e. Hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai sumber referensi untuk melakukan penelitian sejenis berikutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pembuatan (*Manufacture*)

Manufaktur adalah proses pembuatan suatu produk yang mengubah bahan menjadi produk siap pakai melalui berbagai rangkaian proses yang membutuhkan beberapa peralatan untuk menciptakan perubahan karakteristik pada material yang digunakan (Saludin 2016). Manufaktur berasal dari bahasa latin yaitu *manus* yang berarti tangan sedangkan *factus* yang artinya membuat. Pada masa lampau dalam bahasa inggris disebut *manufacture* artinya *made by hand* atau dibuat menggunakan tangan. Perkembangan proses manufaktur hingga sekarang dimulai sekitar tahun 1980 di Amerika.

Dalam proses pengolahan material menjadi suatu produk diperlukan sumber daya lain seperti tenaga manusia, mesin, dan peralatan pendukung yang lain. Manufaktur merupakan proses kegiatan membuat suatu produk yang meliputi perencanaan (*planning*), pemilihan bahan (*material selection*), pembuatan (*manufacture*) dan pengujian mutu (*quality test*) (Suprian 2013). Pembuatan adalah suatu kegiatan yang dilakukan untuk merakit/membuat suatu produk dengan alat dan bahan yang sudah dipersiapkan dan dilakukan sesuai dengan rancangan yang telah disiapkan sebelumnya. Kegiatan ini bermaksud untuk membangun sesuatu dengan beberapa langkah atau tahapan. Dalam pembuatan suatu barang jadi atau produk diperlukan adanya sebuah gambar rancangan yang menjadi acuan dalam proses pengerjaannya, sehingga kesalahan yang mungkin timbul bisa dikendalikan dengan baik.

Manufaktur diartikan sebagai rangkaian kegiatan dan operasi yang saling berhubungan dan melibatkan desain, pemilihan material, perencanaan, manufaktur produksi, jaminan mutu, manajemen dan pemasaran produk dari industri manufaktur (Irawan 2017). Produksi didefinisikan sebagai proses kegiatan yang dilakukan dengan maksud menambah nilai guna benda tertentu atau merakit produk baru sehingga semakin bermanfaat dalam memenuhi kebutuhan konsumen.

Dengan definisi yang lebih luas proses membuat berarti merubah bahan menjadi produk yang dibangun meliputi beberapa tahap sebagai berikut ini.

2.1.1 Prosedur Pembuatan

Adapun langkah-langkah dalam proses pembuatan dijelaskan sebagai berikut.

a. Perencanaan Proses (*Routing*)

Proses membangun merupakan tahapan operasi produksi melalui pengolahan bahan-bahan baku secara efisien diubah menjadi produk jadi. Pada tahap ini bertujuan untuk mengatur waktu setiap tahapan proses pembuatan, melakukan sesuai dengan urutan prosedur. Tahap ini akan lebih fokus kepada apa dan bagaimana rencana produksi produk tersebut (Suga 1983).

b. Penjadwalan Produksi (*Scheduling*)

Penjadwalan proses pembuatan merupakan pengalokasian pekerjaan yang dilakukan untuk menentukan rentangan waktu tertentu, untuk ruang kerja terdiri beberapa peralatan atau fasilitas yang akan digunakan dalam proses produksi termasuk pekerja (*operator*). Tujuannya untuk memastikan bahwa segala proses produksi berjalan sesuai dengan jadwal yang direncanakan. Pembuatan jadwal pengerjaan akan sangat membantu dalam mengatur waktu yang dibutuhkan.

c. Pemilihan Material

Proses pemilihan bahan merupakan aktivitas menyiapkan bahan baku yang akan dipakai dalam proses pembuatan suatu produk tertentu dengan berbagai proses seleksi. Persiapan material dilakukan dengan cara mempersiapkan bahan dengan kriteria spesifikasi baik dan dengan ketepatan ukuran. Pemilihan bahan yang tepat adalah bagian yang sangat penting dalam membangun suatu alat.

d. Perakitan

Perakitan merupakan tahapan penyusunan atau penyatuan semua komponen menjadi suatu produk dengan fungsi tertentu. Pekerjaan perakitan ini dimulai ketika bahan yang diproses telah siap untuk disusun, dan disebut selesai apabila telah dirakit sepenuhnya. Selain itu, perakitan juga dapat diartikan sebagai penggabungan antara komponen yang satu terhadap komponen yang lain atau pasangannya.

Ada dua jenis perakitan produk yang umum dilakukan sebagai berikut.

- a. Perakitan produk manual merupakan pembuatan yang kebanyakan prosesnya dilakukan secara manual atau menggunakan tenaga manusia dengan peralatan yang sederhana tanpa bantuan peralatan yang khusus.
- b. Perakitan produk otomatis merupakan pembuatan yang proses kerjanya umumnya menggunakan peralatan dengan sistem yang otomatis, seperti robot otomatis, elektronik, mekanik, gabungan dari mekanik dan elektronik dan menggunakan peralatan yang lebih spesifik.

2.1.2 Proses Permesinan (*Manchining*)

Proses permesinan adalah salah satu tahap dari proses produksi dengan menggunakan mesin perkakas, dimana memanfaatkan gerakan relafik antara alat dengan benda kerja. Proses permesinan juga didefinisikan sebagai proses

pemotongan, pengelasan, pengeboran, pembubutan, dan lainnya yang bereaksi terhadap benda kerjanya sehingga menyebabkan kehilangan sebagian dari struktur bahan sampai memperoleh hasil spesifikasi yang yang dibutuhkan. Berikut ini beberapa proses permesinan yang akan digunakan dalam pembuatan mesin rig uji ini adalah sebagai berikut.

1. Pemotongan

Pemotongan adalah proses penghapusan material dari benda kerja yang biasanya menggunakan mesin pemotong seperti gerinda potong. Gerinda potong adalah alat listrik yang digunakan untuk memotong atau menghaluskan material. Proses ini umumnya digunakan untuk memotong, membentuk, menghaluskan benda kerja dengan menggunakan gerinda potong. Proses pemotongan dengan gerinda potong cocok untuk berbagai material, termasuk logam, keramik, dan material non-logam lainnya. Kecepatan dan tekanan pemotongan harus disesuaikan dengan jenis material yang diolah. Kecepatan pemotongan adalah faktor penting dalam mencapai hasil pemotongan yang baik. Kecepatan pemotongan yang tepat membantu mencegah kelebihan panas dan mencegah deformasi atau kerusakan pada benda kerja. Kecepatan pemotongan gerinda potong dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini.

$$v = \frac{N \times \pi \times D}{t} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana:

v adalah kecepatan potong (m/s)

N adalah kecepatan putar mata gerinda (rpm)

t adalah waktu pemotongan (s)

D adalah diameter mata gerinda (mm)

2. Pengelasan

Pengelasan adalah proses penyambungan dua atau lebih benda kerja dengan menggunakan panas atau tekanan atau kombinasi keduanya. Proses pengelasan umumnya melibatkan pemanasan benda kerja ke suhu tertentu dan kemudian memberikan tekanan atau menyediakan logam tambahan (pengelasan logam) untuk menyambungkan benda kerja tersebut secara permanen. Tegangan las listrik dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$V = I \times R \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana:

V ialah tegangan las (volt)

I ialah arus las (A)

R ialah resistansi atau hambatan dalam sambungan las (ohm)

3. Pengeboran

Pengeboran adalah proses pemotongan atau pembentukan lubang pada benda kerja. Bor biasanya terdiri dari mata bor yang memiliki tepi tajam dan dipasang pada ujung batang atau poros. Mata bor diputar dan ditekan ke benda kerja untuk membuat lubang dengan ukuran kedalaman yang diinginkan. Kecepatan pengeboran dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$v_a = \frac{\pi \times D_a \times N_a}{1000} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana:

v_a adalah kecepatan pengeboran (m/min)

π adalah bilangan konstanta (3,14)

D_a adalah diameter mata bor (mm)

1000 adalah konversi mm ke meter

4. Pengefraisan

Pengefraisan adalah proses pengerjaan material dengan menggunakan mesin milling. Mesin milling adalah mesin perkakas yang digunakan untuk menghilangkan material dari benda kerja dengan cara memutar alat potong yang memiliki beberapa mata potong (*cutter*) di sepanjang tepi potongnya. Pengefraisan biasanya digunakan untuk membuat alur, permukaan datar, atau bentuk khusus pada benda kerja. Kecepatan pengefraisan menggunakan mesin milling dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$v_b = \frac{\pi \times D_b \times N_b}{1000} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana:

v_b adalah kecepatan pengefraisan (m/min)

π ialah bilangan konstanta (3,14)

D_b ialah diameter *cutter* (mm)

1000 ialah konversi mm ke meter

N_b ialah kecepatan putaran *cutter* (rpm)

2.1.3 Klasifikasi Proses Permesinan

Gerakan pahat terhadap benda kerja akan menghasilkan geram hasil pemahatan sampai permukaan benda kerja tersebut mengalami perubahan bentuk secara bertahap menjadi spesifikasi bahan yang diinginkan. Berdasarkan gerak relatif pahat terhadap benda kerjanya, proses permesinan dapat dibagi menjadi dua jenis gerakan yaitu sebagai berikut.

a. Gerakan Potong (*Cutting Movement*)

Cutting movement adalah gerakan pahat terhadap benda kerja yang menghasilkan permukaan baru pada benda kerja.

b. Gerakan Makan (*Feeding Movement*)

Feeding movement adalah gerakan pemakanan terhadap benda kerja untuk menyelesaikan permukaan baru yang telah dipotong oleh gerak potong.

Tabel 2.1. Klasifikasi Proses Permesinan

| No. | Jenis Mesin | Gerak Potong | Gerak Makan |
|-----|--------------|----------------------|-------------------------|
| 1 | Mesin Bubut | Benda Kerja (Rotasi) | Pahat (Translasi) |
| 2 | Mesin Frais | Pahat (Rotasi) | Benda Kerja (Translasi) |
| 3 | Mesin Sekrap | Pahat (Translasi) | Benda Kerja (Translasi) |
| 4 | Mesin Gurdi | Pahat (Translasi) | Pahat (Rotasi) |
| 5 | Gergaji | Pahat (Translasi) | Pahat (Translasi) |
| 6 | Gerinda | Pahat (Translasi) | Benda Kerja (Translasi) |

2.2 Pemilihan Bahan (*Material Selection*)

Pemilihan bahan adalah proses menyeleksi material yang akan dipakai untuk membuat produk tertentu. Adapun tahapan tersebut seperti di bawah ini.

2.2.1 Prosedur Pemilihan Bahan

Pemilihan bahan melibatkan beragam proses seleksi yang sangat luas. Pemilihan material yang salah dapat berakibat fatal bagi keselamatan dan keberhasilan pembuatan. Selain melakukan proses seleksi bahan, penting juga untuk mempertimbangkan bagaimana dua atau lebih material bereaksi saat dikombinasikan atau bersentuhan.

a. Pertimbangan Sifat Bahan

Secara umum, sifat-sifat bahan teknik dapat dikelompokkan dalam beberapa sifat dasar sebagai berikut.

1. Sifat-sifat mekanis meliputi; kekuatan, elastisitas, ketangguhan, keuletan, kekakuan, kelelahan, kekerasan dan ketangguhan bahan itu sendiri.
2. Sifat fisik antara lain meliputi: kepadatan, titik lebur material, panas spesifik, tahanan panas dan konduktivitas listrik, ekspansi termal dan sifat magnetik bahan.
3. Sifat kimia meliputi: daya tahan material terhadap korosi, oksidasi, sulfidasi, dan ketahanan material.
4. Karakteristik manufaktur meliputi; kemampuan untuk proses pengerjaan, kemampuan pengelasan, kemampuan permesinan, kemampuan pembentukan dan kemampuan pengerasan.

b. Perhitungan Kekuatan Bahan

Pemilihan bahan dalam pembuatan produk juga harus memperhatikan kekuatan bahan itu sendiri. Hal ini terkait dengan pengukuran kelayakan pakai suatu bahan dan kemudahan dalam proses manufaktur. Dalam hal ini, pengembangan produk dapat diidentifikasi sesuai dengan kekuatan bahan yang dibutuhkan melalui beberapa perhitungan. Tujuan adalah untuk memastikan desain produk sudah memenuhi persyaratan kekuatan yang diperlukan.

c. Kemudahan Didapat

Pembuatan suatu produk juga harus memperhatikan aspek ketersediaan di pasaran dalam pemilihan bahan untuk mewujudkan konsep produk menjadi produk nyata. Kemudahan dalam memperoleh bahan di pasaran menentukan biaya yang harus dipersiapkan oleh perusahaan pengembangan produk. Harus diperhitungkan apakah pengadaan material yang dimaksudkan mudah atau sulit diperoleh di pasaran atau harus mengimpor dari luar negeri atau harus dipesan dahulu secara khusus.

d. Petimbangan Harga

Untuk membuat komponen-komponen suatu alat yang direncanakan, maka dibutuhkan pertimbangan pemilihan material dari segi harganya. Keterjangkauan harga bertujuan untuk mengurangi pembengkakan biaya dalam proses seleksi bahan tanpa mengurangi kriteria kualitas dan karakteristiknya. Dengan demikian dapat mengontrol biaya produksi secara maksimal. Setiap biaya yang dikeluarkan akan menjadi banyaknya modal yang pada akhirnya akan menentukan harga jual produk dan keuntungan yang dapat diperoleh perusahaan (Suwandi et al. 2019).

2.2.2 Tujuan Pemilihan Bahan

Adapun beberapa tujuan dilakukannya pemilihan bahann sebagai berikut.

- a. Mengukur kekuatan suatu komponen yang akan digunakan.
- b. Mempermudah proses manufacturing produk.
- c. Meminimalisir biaya produksi tanpa mengabaikan syarat kelayakan penggunaan bahan yang diperlukan.
- d. Dapat menentukan spesifikasi dan karakteristik material yang akan dipakai.

2.3 Pengujian

Pengujian merupakan salah satu bentuk penjaminan kualitas yang sangat penting untuk dilakukan setelah produk tertentu selesai dibuat sebelum suatu produk itu digunakan. Pengujian adalah proses pemeriksaan kualitas suatu produk tertentu untuk memperoleh kriteria spesifikasi produk yang diharapkan dan untuk mengukur kelayakan penggunaan sebelum produk tersebut digunakan atau dipasarkan. Pengujian produk bertujuan untuk mencari tahu bagaimana suatu produk itu bekerja. Apakah produk itu dapat membantu memenuhi kebutuhan

khalayak umum atau perusahaan tertentu? Pembuat harus mempunyai gagasan yang jelas dalam mencari tahu hal apa yang perlu ditambahkan lagi pada produknya. Salah satu langkah dalam pengujian alat adalah menguji cara kerja dan daya tahannya. Pengujian alat dimaksudkan untuk mencari tahu apakah sistem kerja yang telah selesai dirakit relevan dengan apa yang sudah dirancang.

2.3.1 Manfaat Pengujian

- a. Memastikan produk sudah berjalan sesuai dengan standardnya demi keamanan pemakaian dan untuk mendapatkan data standar bagi kepentingan ilmiah, teknik dan kegiatan penjaminan kualitas.
- b. Pengujian membantu mengukur bagaimana produk mengalami penurunan kinerja akibat penggunaan jangka panjang dan seiring bertambahnya umur pakai.
- c. Pengujian dapat menemukan kekurangan dan kelebihan produk disbanding dengan produk kompetitor.
- d. Memberikan hasil apakah barang akan terjual dengan baik atau masih adalah yang perlu diperbaiki sebelum dilakukan penjualan ke kalangan umum.

2.4 Rig Uji

Rig uji merupakan alat atau sarana yang digunakan untuk mengevaluasi tingkat kekuatan atau ketahanan suatu benda. Rig uji keausan dan kelelahan roda gigi dengan sensor putaran dan beban adalah alat uji yang digunakan untuk mengevaluasi tingkat keausan dan kelelahan yang terjadi pada roda gigi. Dalam dunia industri roda gigi, sering digunakan untuk aplikasi pengujian mutu roda gigi

dan produktif dalam produksi roda gigi, sehingga produktifitasnya dapat terdata dengan akurat.

2.4.1 Fungsi Rig Uji

Adapun fungsi rig uji yaitu digunakan untuk menguji karakteristik keausan, kelelahan seperti pertumbuhan pra-retak dan retak hingga patah. Untuk menguji penggunaan suatu roda gigi dibutuhkan sebuah alat untuk menguji (Rozak, Satrijo, and Widodo 2014). Menguji berarti mengevaluasi kelayakan pakai suatu roda gigi dari segi kekuatan, keamanan penggunaan, dan umur masa pakai. Dengan menggunakan rig uji ini, dapat diperoleh standar kualitas suatu roda gigi dan memberikan informasi masa pakai roda gigi atau seberapa lama dapat bertahan dan digunakan.

2.4.2 Syarat-syarat Pembuatan Rig Uji

Dalam pembuatan alat ini, dibutuhkan sebuah komponen yang mampu menopang komponen-komponen lainnya yaitu rangka rig uji yang kuat. Kerangka rig juga harus mampu menahan beban dari komponen yang lain dan getaran yang ditimbulkan (Setiawan 2018). Oleh sebab itu perlunya pertimbangan dalam pemilihan bahan dan harus mempunyai ketahanan yang baik. Selain baja yang digunakan untuk menjadi rangka harus memiliki ketahanan yang baik, metode pengelasan yang bagus juga sangat dibutuhkan dalam penyambungan antar baja agar menghasilkan ketahanan yang tinggi.

Pemilihan bahan yang menjadi komponen rig uji seperti poros harus dilakukan perhitungan kekuatan dan ukuran untuk keamanan dalam proses pengujian dan keselamatan pengguna. Pertimbangan-pertimbangan tersebut juga harus dilakukan pada seluruh material lain yang digunakan. Pemilihan material

dan perancangan konstruksi yang baik akan menghasilkan produk yang bermutu tinggi.

2.4.3 Prinsip Kerja Rig Uji

Rig uji ini adalah suatu alat yang dibuat untuk menguji ketahanan pada roda gigi. Prinsip kerja dari rig uji ini yaitu dengan penggerak (*engine*) menggunakan motor listrik yang akan menghasilkan daya dan putaran lalu diteruskan ke poros utama (*main shaft*), kemudian putaran diteruskan ke poros kedua (*second shaft*) melalui hubungan roda gigi (*gear*) yang diuji. Beban diberikan ke roda gigi, dihasilkan oleh cekraman rem terhadap cakram sesuai dengan kuat tekanan spidel rem sehingga dapat memberikan variasi beban.

Variasi kecepatan yang diberikan sesuai dengan keinginan penguji dengan menggunakan inverter (*speed controller*). Pemberian besar beban dan kecepatan yang bervariasi inilah yang bertujuan untuk mendapatkan hasil bervariasi juga. Sehingga kerusakan gear yang ditimbulkan dapat terdeteksi penyebabnya. Dengan demikian kita dapat menemukan solusi untuk mengatasi masalah tersebut.

2.5 Keausan (*Wear*)

Keausan adalah kondisi dimana pada lapisan permukaan roda gigi terkikis (*aus*) akibat dari penggunaan jangka panjang. Kondisi terkikisnya permukaan yang telah kehilangan material diakibatkan oleh terjadinya gesekan antar permukaan roda gigi (Siregar, Umurani, and Mukhlas 2019). Dua buah benda yang saling bersinggungan dan saling bergesekan menyebabkan terjadinya keausan. Keausan tidak termasuk dalam sifat material, tetapi reaksinya terhadap keadaan luar yang disebabkan kontak permukaan yang terjadi secara terus-menerus. Keausan merupakan keadaan yang biasa terjadi pada setiap roda gigi

yang mengalami gesekan dengan roda gigi bersentuhan dengannya. Keausan menjadi masalah umum yang terjadi pada roda gigi sebagaimana halnya pada mekanisme kerusakan akibat pengoperasian secara terus-menerus.

Keausan adalah kegagalan akibat menerima gesekan ketika digunakan, sehingga menimbulkan perubahan bentuk atau terjadi pengikisan dari suatu permukaan roda gigi yang saling bersinggungan pada bagian elemen yang paling lemah (Raharja and Sunada 2018). Suatu aktivitas yang bisa dikatakan penyebab dari keausan yaitu gesekan yang tinggi menyebabkan keausan dan penurunan karakteristik dari kekerasan sebuah roda gigi. Sedangkan dampak dari keausan itu sendiri disebabkan oleh adanya sisa-sisa pengikisan yang masih menempel pada roda gigi yang menyebabkan suatu pengerasan sebuah permukaan roda gigi sehingga semakin lama semakin menipis sampai akhirnya habis.

Keausan juga bermakna sebagai seberapa cepatnya rusak suatu roda gigi tersebut selama digunakan (Laksanawati, Parta, and Prasetyo 2021). Pada umumnya langkah yang dilakukan untuk mengurangi terjadinya keausan adalah pemberian pelumas atau oli. Pengamatan terhadap keausan sangat perlu dilakukan guna menunjang proses perancangan dan pembuatan roda gigi supaya relevan dengan fungsi dan kondisi kerja. Sebuah roda gigi akan mengalami kegagalan kerja jika tidak mampu lagi bekerja dengan baik sesuai dengan perencanaan awal, bahkan mengalami kerusakan yang dapat berdampak pada proses kerja suatu mesin.

Kerusakan roda gigi dapat disebabkan oleh berbagai macam faktor seperti kekuatan material yang kurang baik, kesalahan pemasangan, panas, lingkungan, dan faktor lainnya. Oleh karena itu, pentingnya pemahaman dan ilmu mengenai

dengan macam-macam kerusakan atau kegagalan serta faktor penyebabnya supaya dapat menemukan solusi mengatasi masalah tersebut. Keausan biasa disebut dengan garutan radial yang terbentuk pada roda gigi transmisi yang disebabkan oleh kotoran maupun partikel lainnya yang berada diantara permukaan.

Berikut ini adalah beberapa jenis keausan yang umumnya dialami oleh gear dan faktor penyebabnya.

2.5.1 Keausan Mekanis

Keausan mekanis ialah kerusakan yang terjadi karena faktor mekanis, yang digolongkan menjadi beberapa seperti di bawah.

a. Keausan Abrasif (*Abrasive Wear*)

Keausan jenis ini disebabkan oleh masuknya benda asing ke sistem pelumasan sehingga menyebabkan kotor dan akhirnya terjadi abrasif di permukaan roda gigi (Pradika, Widodo, and Haryanto 2019). Partikel itu bisa berupa serpihan material yang ada disekitarnya, korosi, pasir, percikan dari las, dan lain sebagainya. *Abrasive wear* dapat diatasi dengan menggunakan penyaring atau pelindung untuk mencegah benda lain masuk ke dalam. Juga dapat dilakukan pengaplikasian pelumas dengan viskositas tinggi pelumasan semakin tebal, supaya benda asing tersebut dapat melewati tanpa merusak permukaan roda gigi.

b. Keausan Adhesif

Keausan macam ini biasanya disebabkan oleh perpindahan partikel dari permukaan material yang lemah ke material yang lebih keras. Oleh karena hal tersebut pada akhirnya terjadi pelepasan atau pengoyakan salah satu material. Biasanya dimulai pada saat benda dengan kekerasan yang lebih tinggi menyentuh permukaan yang lebih lunak kemudian menempel hingga terjadi pelekatan.

c. *Flow*

Jenis keausan yang satu ini terjadi ketika partikel permukaan yang lebih lemah bergeser secara plastis akibat kontak dengan yang lain. Pergeseran tersebut akan mengakibatkan gangguan terhadap kinerja roda gigi ketika dioperasikan. Untuk mengurangi risiko seperti ini dapat diatasi dengan menggunakan bahan roda gigi yang lebih kuat dan menggunakan bahan roda gigi yang sama dengan pasangannya.

d. Keausan Lelah

Jenis keausan seperti ini pada dasarnya dapat terjadi secara abrasif atau adhesive. Terjadinya keausan jenis ini umumnya hasil dari interaksi permukaan dimana permukaannya menerima beban berulang-ulang sehingga mengarah kepada terbentuknya retakan mikro. Retakan-retakan itu yang akan menyebabkan penyatuan dan terjadinya pengelupasan roda gigi. Solusi yang bisa diberikan dalam menangani masalah seperti ini adalah dengan memberikan beban sesuai dengan kapasitas roda gigi atau tidak memberikan beban secara berlebihan.

2.5.2 Keausan Kimia (*Chemical Wear*)

Keausan yang disebabkan oleh faktor kimia biasa didefinisikan sebagai keausan kimia, dibagi menjadi beberapa jenis yaitu sebagai berikut.

a. Keausan Oksidasi

Jenis keausan yang pertama ini ialah keausan yang disebabkan oleh perubahan secara kimiawi pada bagian permukaan gear oleh faktor lingkungan. Mengalami kontak secara langsung dengan lingkungan akan menimbulkan pembentukan lapisan di permukaan dengan karakteristik yang berbeda dengan material sebelumnya. Material pada lapisan permukaan akan mengalami kerusakan yang berbeda. Hal seperti ini akhirnya mengarah ke perpatahan lapisan

permukaan dan material sebelumnya sampai seluruh lapisan permukaannya akan tercabut.

b. Keausan Korosif

Jenis ini pada hakikatnya terjadi di permukaan juga akibat dari pengaruh reaksi kimia. Hal tersebut seringkali dikarenakan oleh zat yang aktif yang terkandung dalam pelumas seperti asam, kelembaban dan zat lainnya. Minyak pelumas akan mengalami penurunan kekentalan karena sifat korosif bahan kimia sehingga merusak permukaan yang bergesekan. Karena oli pelumas umumnya mengandung bahan kimia aktif, minyak dengan zat additif seperti *anti-scoring* dan anti aus harus tetap dikontrol dalam batas yang wajar supaya dapat memastikan zat additif tersebut tidak bereaksi secara berlebihan kepada permukaan gear.

2.5.3 Keausan Panas (*Thermal Wear*)

Keausan yang disebabkan oleh panas dibagi menjadi dua jenis yaitu:

a. *Melt Wear*

Jenis pertama ini merupakan keausan yang terjadi karena panas yang timbul akibat gesekan antar roda gigi sehingga permukaan menjadi aus dan meleleh atau mengalami kondisi penurunan kekerasan roda gigi. Keausan ini dapat dikontrol dengan memberikan waktu jeda untuk beristirahat bagi roda gigi guna menurunkan panas yang timbul tersebut.

b. Keausan Difusi (*Diffusive Wear*)

Jenis kedua ini merupakan keausan yang terjadi dalam suatu keadaan dimana terdapat pancaran (*diffusion*) elemen yang melintasi bidang kontak misalnya pada roda gigi yang berputar dengan kecepatan tinggi. Apabila ini terjadi dapat dikendalikan dengan pengurangan kecepatan putaran untuk menghindari risiko tertentu.

2.6 Kelelahan (*Fatigue*)

Kelelahan adalah kondisi terjadinya kerusakan material karena pembebanan secara berulang-ulang. Diketahui bahwa jika suatu *gear* menerima beban berulang, maka *gear* tersebut akan mengalami peretakan pada tegangan tertentu (Laksanawati et al. 2021). Kerusakan akibat beban berulang ini disebut patah lelah (*fatigue failures*), pada dasarnya peristiwa ini terjadi setelah pemakaian dalam jangka waktu cukup lama. Kelelahan ini juga bisa terjadi secara spontan atau tanpa tanda-tanda kerusakan terlebih dahulu, secara tiba-tiba atau tanpa aba-aba, hingga menyeluruh.

Kelelahan didefinisikan sebagai suatu keadaan yang terjadi pada benda kerja yang tentunya bisa mengakibatkan rendahnya kualitas kerja alat sehingga menimbulkan penurunan mutu produk yang dihasilkan (Suprpto and Ismanto 2010). Kelelahan adalah melemahnya bahan roda gigi yang disebabkan oleh beban yang sudah berkali-kali diiberikan terhadap bahan tertentu yang digunakan. Bila roda gigi mengalami kelelahan maka cenderung akan terjadi peretakan, penjaralan retak hingga akhirnya patah (*fracture*) bila menerima beban. Kelelahan dapat dibedakan menjadi dua kategori utama. Pertama, kelelahan quasi statik (kelelahan *gear* yang tidak tergantung pada waktu, dan ketahanan terhadap kegagalannya dinyatakan dengan kekuatan). Kedua, kelelahan yang tergantung pada waktu (ketahanan terhadap kegagalannya dinyatakan dengan umur pakai).

Proses dari permulaan retak umumnya terjadi pada bagian roda gigi yang paling lemah terlebih dahulu atau bagian dimana terjadinya tegangan paling kuat pada suatu material, seperti goresan dan lubang kecil karena menerima pembebanan secara berulang-ulang (Amiruddin and Lubis 2018). Kemudian,

permulaan retak ini berkembang menjadi penjalaran retak, perambatan atau perpaduan *microcracks* terus membentuk *macrocracks* hingga berujung pada patah total (*failure*).

2.6.1 Klasifikasi Kelelahan

Adapun beberapa tahapan terjadinya kelelahan pada roda gigi yang akan diklasifikasikan sebagai berikut ini.

a. Permulaan Retak (*Crack Initiation*)

Jenis kelelahan yang pertama ini merupakan permulaan retak yang umumnya dimulai dengan retakan kecil dimana terjadi konsentrasi tegangan di permukaan, seperti goresan, lubang-lubang kecil karena adanya pembebanan berulang. Contoh permulaan retak dapat dilihat pada gambar 2.1 berikut.



Gambar 2.1. *Crack Initiation*

b. Penyebaran Retak (*Crack Propagation*)

Jenis kedua merupakan kondisi dimana terjadinya penyebaran retak yang berkembang menjadi *microcracks* atau sebelum terjadinya patah. Perambatan atau perpaduan *microcracks* ini kemudian membentuk *macrocracks* yang terus menyebar atau semakin luas. Penyebaran ini akan terus memanjang bila terus dibebani. Biasanya kondisi ini terjadi akibat dari faktor usia pakai yang cukup

lama. Kondisi roda gigi yang sudah mengalami keadaan seperti ini terlihat pada gambar 2.2 di bawah ini.



Gambar 2.2. *Crack Propagation*

c. Patah (*Fracture*)

Kondisi akhir kerusakan setelah roda gigi mengalami peretakan, penyebaran retak adalah patah (*fracture*). Ketika terjadi penjalaran retak, penampang pada bagian yang retak akan berkurang. Sampai pada keadaan dimana penampang di bagian tersebut tidak sanggup lagi menahan beban. Pada tahap ini penjalaran retak yang terjadi sangat cepat dan akhirnya patah sehingga roda gigi tidak lagi memiliki gigi yang sempurna seperti pada gambar 2.3 berikut.



Gambar 2.3. Patah

2.6.2 Faktor Penyebab Kelelahan

Adapun beberapa faktor yang menyebabkan terjadinya kelelahan pada roda gigi yang dijabarkan sebagai berikut ini.

a. Beban

Faktor pertama adalah besar beban yang diberikan kepada roda gigi. Apabila roda gigi menerima beban yang melebihi kapasitasnya maka akan cenderung terjadinya kelelahan. Parameter pembebanan sangat mempengaruhi kelelahan roda gigi seperti tegangan rata-rata, jumlah beban serta frekuensi pembebanan.

b. Material Roda Gigi

Faktor kedua yang menjadi penyebab kelelahan adalah material yang menjadi bahan untuk membuat roda gigi tersebut. Apabila terbuat dari bahan yang lemah dengan pembebanan yang besar maka cenderung akan mengalami kelelahan kerja. Hal ini terjadi karena ketidakmampuan material dalam menerima beban tersebut. Awal retak lelah terjadi dengan adanya reaksi komposisi kimia antar permukaan sehingga akan mempengaruhi kekuatan untuk menahan terjadinya deformasi plastis dan akhirnya akan mempengaruhi kekuatan lelahnya.

c. Kesalahan Pemasangan

Faktor selanjutnya merupakan kesalahan yang umum terjadi akibat dari kelalaian teknisi dalam pemasangan. Pada dasarnya kesalahan dalam memasang roda gigi akan berpengaruh langsung terhadap penjalaran retak lelah atau ketahanan lelah roda gigi. Kesalahan pemasangan ini dapat berupa adanya rongga antar roda gigi yang akan menimbulkan kegagalan akibat suatu pemasangan yang tidak tepat. Selain itu, ketidakpasan dalam pemasangan akan mempengaruhi proses kerja roda gigi dan sangat berpengaruh pula terhadap ketahanannya.

d. Suhu

Pada temperature tinggi, kekuatan roda gigi akan menurun sehingga deformasi plastis akan lebih mudah terjadi dan batas lelah menjadi turun atau berkurang yang disebabkan oleh pengoperasian dalam waktu yang lama. Pengoperasian tanpa henti dapat menyebabkan kenaikan suhu secara berlebihan (*overheat*) pada roda gigi. Pemberian jeda operasi atau istirahat pada mesin yang bekerja dapat mengurangi terjadinya *overheat*.

e. Lingkungan

Faktor lingkungan juga sangat bisa menyerang permukaan roda gigi akibat dari kondisi lingkungan yang tidak tepat, seperti tempat yang kurang terlindungi dapat memungkinkan gear terkena air hujan atau panas yang dapat merusak lapisan oksida sehingga menimbulkan perkaratan atau korosi. Lapisan oksida merupakan lapis lindung yang berfungsi mencegah kerusakan korosi, tetapi akibat dari faktor luar tersebut menyebabkan penurunan kekuatan roda gigi sehingga menyebabkan batas lelah menjadi melemah.

2.7 Roda Gigi (*Gear*)

Roda gigi merupakan komponen yang masih banyak digunakan dalam bidang permesinan hingga saat ini. Roda gigi digunakan untuk meningkatkan ataupun menurunkan torsi, merubah arah gerak serta mentransmisikan daya dari suatu bagian sistem gerak ke bagian lainnya sehingga sistem mekanisme pada mesin dapat bekerja sesuai dengan fungsinya (Satrijo 1998). Roda gigi adalah bagian dari konstruksi mesin yang berputar dan puataran itulah yang akan menjadi pentransmisi daya tersebut. Komponen ini mempunyai gigi yang bersinggungan dengan gigi dari gear pasangannya.

Roda tersebut harus dibuat bergigi pada kelilingnya supaya mampu meneruskan daya yang diterima ke roda gigi lainnya yang berada dalam satu sistem kerja. Roda bergigi seperti ini terdiri dari berbagai bentuk seperti silinder, kerucut dan lain sebagainya (Chan 2007). Pada dasarnya elemen pemindah dikelompokkan menjadi dua jenis yaitu pemindah daya (*power transmission*) dan pemindah gerak (*motion transmission*). Gear menjadi salah satu dari banyaknya elemen mesin yang paling banyak digunakan pada sistem transmisi daya dan gerak. Roda gigi dapat digunakan sebagai penransmisi daya dan putaran berkapasitas besar maupun kecil. Benda ini sering digunakan karena dapat meneruskan putaran dan daya yang berbagai variasi dan lebih kompak dari alat transmisi yang lainnya.

2.7.1 Fungsi Roda Gigi

Roda gigi mempunyai beberapa fungsi yang akan dijabarkan pada penjelasan dibawah ini.

a. Mengatur Kecepatan Putar

Fungsi pertama dapat digunakan sebagai pengatur kecepatan putar suatu sistem pada mesin, contohnya seperti yang terdapat pada mesin motor. Caranya adalah dengan melakukan pengaturan dengan memberi rasio roda gigi tertentu.

b. Mentransmisikan Daya dan Putaran

Fungsi kedua yaitu roda gigi dapat dipakai sebagai penransmisi putaran dan daya dengan singgungan antar gigi. Gigi tersebut yang akan menjadi pengikat antara roda gigi dan pasangannya.

c. Mengubah Torsi

Torsi merupakan gaya putar atau gaya yang dihasilkan oleh mesin. Pengertian lain dari torsi ialah hasil antara gaya dan jarak. Sebagai komponen

pengatur besar atau kecilnya torsi dapat dilakukan dengan mengaplikasikan roda gigi di dalam sistemnya. Semakin besar ukuran diameter *gear*, torsi yang dihasilkan juga semakin besar, begitupun sebaliknya.

d. Mengubah Arah Daya dan Putaran

Selain daripada beberapa fungsi diatas *gear* juga dapat digunakan sebagai komponen untuk mengubah arah daya dan putaran pada sistem mesin-mesin tertentu.

2.8 Sensor Putaran

Sensor putaran merupakan salah satu dari berbagai jenis sensor biasanya dipakai dalam aplikasi otomotif. Sensor ini biasanya dipakai untuk mengukur kecepatan jarak tempuh suatu benda dalam satuan kilometer per jam (km/jam) maupun kecepatan rotasi suatu benda dalam satuan rotasi per menit (rpm). Kemampuan sebuah benda untuk menempuh jarak tertentu dalam satuan waktu disebut dengan kecepatan. Kecepatan itu memiliki satuan jarak per waktu, seperti mil/jam atau km/jam. Kecepatan rata-rata didefinisikan sebagai perubahan posisi dibagi waktu tempuh.

2.8.1 Fungsi Sensor Putaran

Sensor putaran berfungsi sebagai pengukur kecepatan pada material atau benda yang berputar untuk diukur jumlah putarannya. Ukuran sensor ini bisa terbilang sangat kecil sehingga cukup ringan dan mudah dalam proses pemasangan dan hanya membutuhkan energi dalam jumlah kecil ketika digunakan.

2.8.2 Prinsip Kerja Sensor Putaran

Prinsip kerja sensor putaran adalah sensor ini akan membaca kecepatan rotasi benda atau komponen yang berputar pada suatu waktu tertentu kemudian

akan menghasilkan sebuah tegangan yang sesuai dengan kecepatan putaran benda yang diukur. Sensor putaran akan menghitung besarnya jumlah putaran dari komponen yang berputar tersebut dan mengukur seberapa kencang putaran yang terjadi pada benda tersebut sehingga didapatkan hasil hasil putaran yang diolah ke dalam format elektronik.

2.9 Sensor Beban

Sensor beban adalah komponen utama pada timbangan digital. Sensor jenis ini adalah sensor yang banyak digunakan untuk membaca massa suatu benda dan mengubahnya menjadi sinyal elektronik.

2.9.1 Fungsi Sensor Beban

Sensor beban berfungsi sebagai alat untuk menghitung berat suatu beban yang diubah menjadi sebuah tegangan listrik sesuai dengan besar massa beban yang diberikan. Dalam sensor beban ini terdapat komponen yang dengan strain gauge yang fungsinya untuk mengukur tekanan yang diterima.

2.9.2 Prinsip Kerja Sensor Beban

Prinsip kerja sensor beban ini adalah dengan mengubah gaya yang diterima menjadi sinyal elektrik sehingga mampu dibaca oleh komputer. Sensor beban ini memiliki sistem kerja seperti cara kerja timbangan digital yaitu dengan memberikan output pada tegangan sehingga menimbulkan perubahan resistansi yang diperoleh dari perubahan posisi penahan beban. Beban yang diterima oleh elemen logam pada sensor akan mengakibatkan perubahan bentuk secara elastis. Hal inilah yang akan dibaca oleh sensor untuk mendapatkan hasil pengukuran massa benda yang menekannya kemudian dikonversikan ke dalam sinyal listrik oleh *strain gauge*.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

3.1.1 Waktu

Proses pelaksanaan penelitian ini dimulai atas persetujuan yang diberikan oleh pembimbing pada bulan November 2022, mulai dari studi literatur, pembuatan hingga pengujian seperti terlihat pada tabel 3.1 berikut ini.

Tabel 3.1. Jadwal Tugas Akhir

| Aktifitas | 2023 | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|----------|---|---|---|---------|---|---|---|----------|---|---|---|-----------|---|---|---|
| | Bulan IX | | | | Bulan X | | | | Bulan XI | | | | Bulan XII | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Pengajuan Judul | ■ | | | | | | | | | | | | | | | |
| Penulisan Proposal | | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | |
| Penyelesaian Proposal | | | | ■ | | | | | | | | | | | | |
| Seminar Proposal | | | | | ■ | | | | | | | | | | | |
| Pemilihan Bahan | | | | | | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | |
| Pembuatan Rig | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | |
| Pengujian Rig | | | | | | | | | | | | | ■ | | | |
| Analisis data | | | | | | | | | | | | | | ■ | | |
| Laporan | | | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ |
| Seminar Hasil | | | | | | | | | | | | | | | | ■ |
| Sidang Sarjana | | | | | | | | | | | | | | | | ■ |

3.1.2 Tempat

Adapun tempat pelaksanaan penelitian ini yaitu dilakukan di Bengkel Bubut dan Las Sudarman yang beralamat di Jl. Mangaan VIII, Pasar III di Kec. Medan Deli, Kab. Deli Serdang, Sumatera Utara, 20242.

3.2 Bahan dan Alat

3.2.1 Bahan

Selain peralatan yang dipakai, ada juga bahan-bahan yang dibutuhkan dalam proses pembuatan rig uji keausan dan kelelahan roda gigi dengan sensor putaran dan beban ini sebagai berikut.

a. Besi UNP

Besi UNP digunakan sebagai bahan untuk kerangka rig uji. Kerangka rig uji ini berfungsi sebagai dudukan komponen-komponen pembuatan rig uji yang lainnya. Besi UNP yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.1 di bawah ini.



Gambar 3.1. Besi UNP

b. Motor Listrik

Motor listrik ialah komponen rig uji yang akan memberikan gerak putar dengan mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Dalam pembuatan rig uji ini, motor digunakan sebagai penggerak yang akan memberikan gerak putaran terhadap poros untuk memutar roda gigi. Gambar listrik yang dipilih dapat dilihat pada gambar 3.2 di bawah.



Gambar 3.2. Motor Listrik

c. Rem Cakram

Cakram dan rem merupakan komponen pengereman yang diambil dari kendaraan motor dengan cakram yang berbentuk piringan dan rem sebagai penjepitnya. Dalam pembuatan rig uji ini, bahan ini digunakan untuk memberikan pengereman sekaligus untuk memberikan beban pada roda gigi yang akan diuji. Rem dan cakram dapat dilihat pada gambar 3.3 dibawah ini.



Gambar 3.3. Rem Cakram

d. Poros

Poros merupakan adalah salah satu bahan yang terpenting dalam konstruksi rig ini. Poros mempunyai fungsi sebagai penghantar daya dan putran sekaligus sebagai dudukan roda gigi. Poros yang digunakan dapat dilihat pada gambar 3.4 di bawah ini.



Gambar 3.4. Poros

e. Roda Gigi

Roda gigi ini digunakan sebagai penghantar daya dan putaran dari motor penggerak ke poros pertama dan kedua. Jenis roda gigi yang digunakan dalam penelitian ini adalah sepasang roda gigi lurus yang bisa dilihat pada gambar 3.5 di bawah ini.



Gambar 3.5. Roda Gigi Lurus

f. Sensor RPM

Sensor rpm atau sensor putaran merupakan bahan yang digunakan untuk membaca cepat putaran pada poros. Sensor ini berguna untuk menghitung seberapa kencang putaran yang diberikan oleh motor terhadap poros. Sensor yang digunakan terlihat pada gambar 3.6 berikut ini.



Gambar 3.6. Sensor RPM

g. Timbangan Digital

Timbangan gantung digital digunakan sebagai komponen pada rig uji ini untuk mengukur tekanan yang diberikan terhadap *handle* rem pada mesin rig uji. Timbangan gantung digital yang digunakan dapat dilihat pada gambar 3.7 di bawah ini.



Gambar 3.7. Timbangan Digital

h. Inverter

Di dalam penelitian ini inverter digunakan sebagai pengendali kecepatan (*speed controller*) motor. Tujuan dari penggunaan inverter ini adalah untuk memberikan variasi putaran dalam proses pengujian. Jenis pengontrol kecepatan yang digunakan dapat dilihat pada gambar 3.8 di bawah.



Gambar 3.8. Inverter

i. Arduino Uno

Dalam pembuatan rig uji roda gigi ini, arduino uno digunakan untuk membaca hasil yang dikukur oleh sensor putaran dan sensor beban ke PC ketika proses pengujian sedang berlangsung. Jenis arduino yang digunakan dapat dilihat pada gambar 3. 9 berikut.



Gambar 3.9. Arduino Uno

j. Bearing

Bearing merupakan suatu komponen yang berfungsi sebagai bantalan poros. Penggunaan bantalan ini bertujuan untuk mengurangi gesekan antara poros dan rangka rig uji. Bearing juga bermanfaat sebagai dudukan sekaligus penahan poros agar dapat berputar secara mulus. Jenis *bearing* yang digunakan sebagai bantalan dapat dilihat pada gambar 3.10 di bawah.



Gambar 3.10. *Bearing*.

k. *Hand Winch*

Hand winch berfungsi sebagai pengatur ukuran beban ketika melakukan pengujian roda gigi yang akan dihubungkan ke handle rem melalui sebuah tali yang akan ditarik untuk memberikan beban. *Hand winch* yang digunakan dapat dilihat pada gambar 3.11 berikut.



Gambar 3.11. *Hand winch*

3.2.2 Alat

Adapun alat-alat yang digunakan dalam proses pembuatan rig uji keausan dan kelelahan roda gigi dengan sensor putaran dan beban ini, yaitu sebagai berikut.

a. Mesin Frais

Mesin frais merupakan mesin perkakas yang digunakan untuk membuat alur pasak pada poros. Proses ini melibatkan penggunaan pahat berputar yang disebut frais untuk menghilangkan material dari permukaan pasak. Mesin frais yang digunakan dapat dilihat pada gambar 3.12 berikut ini.



Gambar 3.12. Mesin Frais

b. Mesin Las

Mesin las merupakan suatu alat yang dipakai guna mempermudah pekerjaan dalam penyambungan logam. Mesin ini digunakan untuk menyambung potongan-potongan besi siku yang akan dijadikan sebagai rangka rig uji. Mesin yang digunakan dalam penelitian ini adalah mesin las listrik yang bisa dilihat pada gambar 3.13 di bawah ini.



Gambar 3.13. Mesin Las

c. Mesin Gerinda Potong

Mesin gerinda potong adalah jenis mesin dengan mata gerinda yang berputar dan digunakan untuk memotong benda kerja. Dalam pembuatan rig uji ini, alat ini digunakan sebagai pemotong besi siku untuk membuat rangka rig. Jenis gerinda potong yang digunakan terlihat pada gambar 3. 14 di bawah ini.



Gambar 3.14. Mesin Gerinda Potong

d. Meteran

Meteran adalah alat pengukur jarak dan juga panjang. Alat pengukur ini digunakan untuk mengukur bahan dalam proses pembuatan rig uji sesuai dengan gambar rancangan yang sudah disediakan. Meteran yang digunakan dapat dilihat pada gambar 3.15 berikut.



Gambar 3.15. Meteran

e. Mesin Bor

Mesin bor digunakan untuk membuat lubang pada rangka rig uji sebagai tempat memasang baut. Baut tersebut berfungsi sebagai pengikat antar komponen-komponen dalam rig uji. Mesin bor yang digunakan dapat dilihat pada gambar 3.16 berikut ini.



Gambar 3.16. Mesin Bor

3.3 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode pembuatan produk dengan metode kuantitatif dengan merakit sebuah produk menggunakan alat dan bahan yang disediakan sebagai objek penelitiannya dengan sistematika seperti berikut.

- a. Riset dan studi literatur.
- b. Memilih metode penelitian yang akan digunakan.
- c. Menentukan populasi dan sampel penelitian.
- d. Pengumpulan data melalui persiapan alat dan bahan yang digunakan, dan mengumpulkan data dari proses penelitian.
- e. Menganalisis data yang diperoleh dari proses hingga hasil riset.
- f. Menarik kesimpulan berdasarkan hasil penelitian.

3.4 Populasi dan Sampel

Dalam studi ini, yang menjadi populasi penelitiannya yaitu seluruh proses produksi mesin rig uji atau objek yang memiliki karakteristik atau sifat tertentu dan menjadi fokus dari penelitian ini meliputi konsep pembuatan, pemilihan material, proses perakitan, pengujian hingga analisis hasil pengujian.

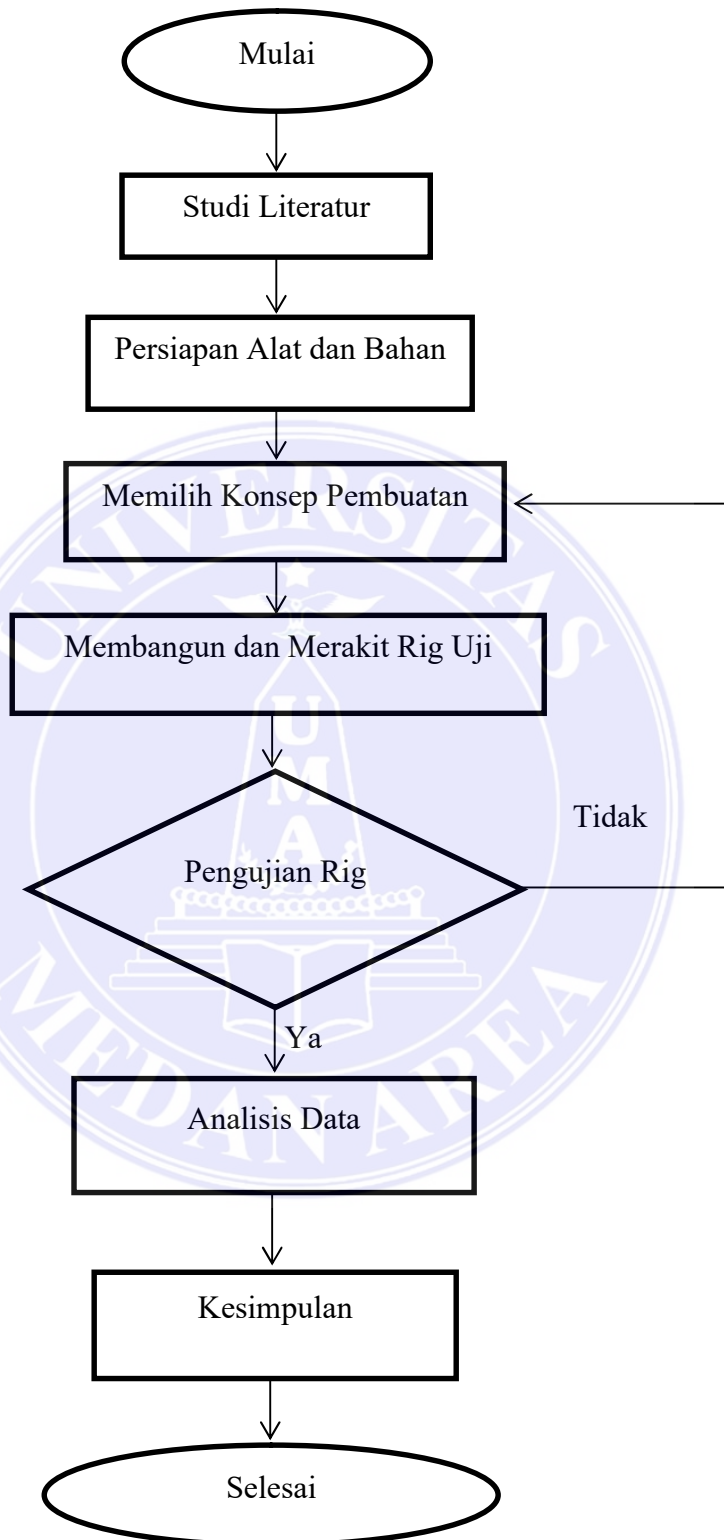
Sampel penelitian adalah sebagian kecil atau subset dari populasi penelitian yang diambil untuk diuji, diamati, atau diteliti oleh peneliti. Sampel dapat didefinisikan sebagai sekelompok elemen yang diambil dari populasi secara acak atau berdasarkan kriteria tertentu yang relevan dengan tujuan penelitian. Pada studi ini, yang menjadi sampel penelitiannya adalah alat dan bahan penelitian yang akan dianalisis dari segi proses kerja alat dan kekuatan bahan produksi.

3.5 Prosedur Kerja

Berikut ini beberapa tahapan yang akan dilakukan dalam proses penelitian yaitu:

- a. Membuat dan memilih konsep pembuatan mesin rig uji.
- b. Memilih bahan yang digunakan dalam pembuatan mesin rig uji.
- c. Membangun mesin rig uji dan menganalisis proses kerja alat yang digunakan.
- d. Melakukan pengujian kinerja mesin rig uji roda gigi setelah selesai diproduksi.
- e. Menganalisis hasil pengujian untuk mengevaluasi kinerja rig uji.
- f. Menyusun laporan penelitian.

3.5.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.17. Diagram Alir Penelitian

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Pada pembuatan rig uji keausan dan kelelahan roda gigi dengan sensor putaran dan beban ini didapat beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Pembuatan mesin rig uji roda gigi ini menggunakan konsep pembuatan yang ke-3 dengan menggunakan sambungan baut, menggunakan kotak kardus dan menggunakan cat clear dengan kisaran harga Rp. 6.000.000 dan lama garansi selama 12 bulan.
2. Bahan yang digunakan dalam pembuatan mesin rig uji ini, meliputi besi UNP, motor, poros, *bearing*, *inverter*, rem, cakram, sensor rpm, sensor beban, arduino, dan *hand winch*.
3. Pembuatan rig uji keausan dan kelelahan roda gigi dengan sensor putaran dan beban ini menggunakan biaya sebesar Rp. 6.175.000.
4. Pengujian mesin rig uji menggunakan roda gigi bahan polimer dengan diameter 100 mm menggunakan modul 3 dan didapatkan hasil putaran maksimum sebesar 1430 rpm dengan beban maksimal sebesar 4,903 N.

5.2 Saran

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

1. Kesehatan dan keselamatan kerja merupakan hal yang sangat penting dan harus diperhatikan dalam proses manufaktur.

2. Pastikan seluruh sambungan baut terkunci kuat sebelum melakukan pengujian roda gigi.
3. Pastikan roda gigi bahan uji terkunci dengan kuat ketika proses pengujian dilakukan.
4. Simpan rig uji di tempat yang terhindar dari panas dan hujan.



DAFTAR PUSTAKA

- Amiruddin, Arfis, and Fachreza Alisyahnara Lubis. 2018. "Analisa Pengujian Lelah Material Tembaga Dengan Menggunakan Rotary Bending Fatigue Machine." *Jurnal Ilmiah Mekanik Teknik Mesin* 93–99.
- Chan, Y. 2007. *Teori Dasar Roda Gigi*. Jakarta: Universitas Dharma Persada.
- Irawan, Agustinus Purna. 2017. *Perancangan Dan Pengembangan Produk Manufaktur*. Yogyakarta: Andi.
- Laksanawati, Ellysa Kusuma, Parta, and Rinaldi dwi Prasetyo. 2021. "Analisis Pengaruh Ketebalan Rim 28 Mm Terhadap Keausan Roda Gigi Lurus Menggunakan Motor Listrik Di Mesin Ekspandtion Bladdertype." 5(2).
- Pradika, Eky Fortuna, Achmad Widodo, and Ismoyo Haryanto. 2019. "Diagnosis Kerusakan Roda Gigi Dengan Metode Ensemble Emperical Mode Decomposition (EEMD)." *Rotasi* 20(4):207. doi: 10.14710/rotasi.20.4.207-213.
- Raharja, Bagus Setya, and I. Made Sunada. 2018. "Analisa Keausan Roda Gigi Lurus Secara Mikroskopik Dengan Variasi Beban." *Jurnal Teknik Mesin* 14(2):299–305.
- Rozak, Ahmad Abdul, Djoeli Satrijo, and Achmad Widodo. 2014. "Perancangan Gear Test Rig Dengan Pembebanan Pre Twist 1." *Jurnal Teknik Mesin S-I* 2(3):275–81.
- Saludin. 2016. *Rekayasa Sistem Manufaktur*. Jakarta: Mitra Wacana Media.
- Satrijo, D. 1998. *Elemen Mesin III Roda Gigi Lurus Dan Roda Gigi Miring*. Jakarta: Erlangga.
- Setiawan, Ady, J. Jamari, Marwan Effendy, and Dimas Ardiansyah. 2018. "Rancang Bangun Alat Uji Keausan Berbasis Sistem Kontak Disc-on-Disc." *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin* 7(1):17–24. doi: 10.24127/trb.v7i1.636.
- Siregar, R. A., K. Umurani, and Mukhlas Mukhlas. 2019. "Studi Eksperimen Terhadap Keausan Pada Roda Gigi Cacing Komposit." *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi* 2(2):158–64. doi: 10.30596/rmme.v2i2.3670.
- Suga, Kiyokatsu. 1983. *Dasar Perencanaan Dan Pemilihan Elemen Mesin*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Suprpto, Agus, and Rudi Ismanto. 2010. "Mekanisme Kegagalan Roda Gigi." 529–38.
- Suprian, Erliyanto. 2013. "Manufaktur Dalam Dunia Teknik Industri." 1–4.
- Suwandi, A., A. Hermanto, D. L. Zariatin, B. Sulaksono, and Dan E. Prayogi. 2019. "Proses Manufaktur Dan Estimasi Biaya Produksi Untuk Produk Kelos." *Teknologi* 11(2):127–38.

LAMPIRAN

