

**SKRIPSI**

**ANALISA RODA GIGI MENGGUNAKAN BAJA COR SC 49  
UNTUK ALAT TANAM BENIH JAGUNG**



**Disusun Oleh :**

**Nama : Mezalino Valdo Afanda**

**NIM : 201020200024**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SIDOARJO**

**2025**

## SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Mezalino Valdo Afanda  
Nim : 201020200024  
Program Studi : Teknik Mesin  
Fakultas : Sains Dan Teknologi  
Judul : “ANALISA RODA GIGI MENGGUNAKAN BAJA COR  
SC 49 UNTUK ALAT TANAM BENIH JAGUNG”  
Dosen Pembimbing : Dr. Prantasi Harmi Tjahjanti, S.Si., M.T.

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri dan bukan merupakan adaptasi dari karya atau pemikiran orang lain, skripsi tersebut merupakan karya yang saya akui sebagai tulisan atau pemikiran saya sendiri, kecuali beberapa kutipan atau pernyataan tersebut merupakan tanggung jawab saya secara akademis. semua yang saya tulis. Pernyataan ini diberikan sebagai salah satu syarat untuk mengikuti ujian skripsi.

Sidoarjo, 26 09 2025

**Mezalino Valdo Afanda NIM.**  
**201020200024**

## **HALAMAN PERSETUJUAN**

### **ANALISA RODA GIGI MENGGUNAKAN BAJA COR SC 49 UNTUK ALAT TANAM BENIH JAGUNG**

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat  
Untuk Mencapai Gelar Sarjana Strata Satu (S-1)  
Program Studi Teknik Mesin

Disusun Oleh :

**Mezalino Valdo Afanda**

**Nim. 201020200024**

**Telah Disetujui Oleh :**

**Dosen Pembimbing**

**Dr. Prantasi Harmi Tjahjanti, S.Si., M.T.**

**NIP: 196811151994022003**

**Kepala Program Studi Teknik Mesin**

**Dr. Mulyadi, S.T., M.T.**

**NIK. 206290**

## KATA PENGANTAR

Dengan pertolongan dan rahmat Tuhan Yang Maha Esa, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “ANALISA RODA GIGI MENGGUNAKAN BAJA COR SC 49 UNTUK ALAT TANAM BENIH JAGUNG

sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Sasta Satu (S1) Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Muhammadiyah Sidoarjo.

Dalam proses penulisan skripsi ini, penulis banyak mendapat dukungan, bantuan, dan masukan dari berbagai pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih :

1. Bapak Dr. Hidayatullah, M.SI, selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Sidoarjo.
2. Iswanto, ST., M.MT., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Muhammadiyah Sidoarjo.
3. Bapak Mulyadi, ST., M.T., selaku Kepala Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sidoarjo.
4. Ibu Dr. Prantasi Harmi Tjahjanti, S.Si., MT, selaku dosen pembimbing yang telah memberi bimbingan, arahan serta dukungan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
5. Kedua orang tua yang senantiasa mendoakan dan memberi dukungan untuk segera menyelesaikan penulisan skripsi ini.
6. Bapak / Ibu Dosen serta staf di lingkungan Universitas Muhammadiyah Sidoarjo yang telah banyak membantu penulis selama mengikuti perkuliahan dan penulisan skripsi ini.
7. Rekan-rekan Teknik Mesin yang telah memberikan dukungan dan bantuan kepada penulis.
8. Semua pihak yang membantu penyusunan skripsi secara langsung maupun tidak langsung.

## **ABSTRAK**

Alat tanam benih jagung memerlukan sistem transmisi yang andal untuk menjamin kinerjanya di lapangan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kekuatan dan keamanan roda gigi lurus (spur gear) pada sistem transmisi alat tanam benih jagung yang dibuat dari bahan Baja Cor SC 49. Metode penelitian dimulai dari perencanaan geometri roda gigi dengan modul 4 mm dan rasio transmisi 6:1 (8 dan 48 gigi), dilanjutkan dengan perhitungan torsi output, tegangan lentur, dan faktor keamanan. Berdasarkan daya motor 0,373 kW dan putaran output 70 rpm, diperoleh torsi sebesar 50,9 N·m. Analisis tegangan lentur menunjukkan bahwa dengan lebar muka gigi 40 mm, tegangan lentur yang terjadi sebesar 5,93 kg/mm<sup>2</sup>, jauh di bawah tegangan ijin material SC 49 yang sebesar 20 kg/mm<sup>2</sup>. Hal ini menghasilkan faktor keamanan sebesar 3,37, yang menunjukkan bahwa desain roda gigi aman dan memiliki cadangan kekuatan yang memadai untuk beban kerja yang diberikan. Simpulan dari penelitian ini adalah roda gigi dari Baja Cor SC 49 dengan dimensi yang dihitung telah memenuhi kriteria kekuatan, keandalan, dan keamanan untuk diaplikasikan pada alat tanam benih jagung.

**Kata Kunci:** jagung, alat tanam benih, roda gigi, baja cor SC 49

## DAFTAR ISI

<b>SURAT PERNYATAAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN.....</b>	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>ix</b>
<b>BAB I.....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
<b>BAB II .....</b>	<b>4</b>
2.1 Penelitian Terdahulu.....	4
2.2 Kinematika Roda Gigi.....	4
2.3 Rantai .....	6
2.4 Roda Gigi .....	6
2.4.1 Roda Gigi Heliks Tunggal atau Ganda.....	8
2.4.2 Roda Gigi Skrup.....	8
2.4.3 Roda Gigi Miring .....	9
2.4.4 Roda Gigi Bevel Lurus.....	9
2.4.5 Roda Gigi Bevel Spiral.....	10
2.5 BAJA COR SC 49.....	10
<b>BAB III.....</b>	<b>12</b>
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	12
3.2 Metode Perencanaan.....	12
3.3 Langkah Persiapan.....	13
3.4 Pemilihan Bahan Roda Gigi .....	15
3.5 Perakitan Roda Gigi .....	18
<b>BAB IV .....</b>	<b>21</b>

4.1 Perencanaan Dan Pemilihan Material .....	21
4.2 Analisis Perencanaan Roda Gigi .....	22
4.3 Perhitungan Kekuatan Roda Gigi .....	23
4.3.1 Perhitungan Torsi Output .....	23
4.3.2 Perhitungan Tegangan Lentur .....	24
4.3.3 Lebar muka gigi ( <i>face width</i> ) dan tegangan lentur .....	24
4.3.4 Pengaruh Lebar Muka Terhadap Tegangan Lentur .....	24
4.3.5 Faktor Keamanan ( <i>Safety Factor</i> ) Terhadap Lentur .....	25
<b>BAB V.....</b>	<b>26</b>
5.1 Kesimpulan.....	26
5.2 Saran.....	26
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>28</b>

## **DAFTAR TABEL**

<b>Tabel 3.1 Pemilihan Bahan Roda Gigi.....</b>	<b>15</b>
<b>Tabel 4.1 Dimensi Geometris Roda Gigi .....</b>	<b>22</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Pasangan roda gigi lurus pinyon menggerakkan roda gigi .....	5
Gambar 2.2 Bagian-Bagian Rantai .....	6
Gambar 2.3 Bagian-Bagian Roda Gigi .....	7
Gambar 2.4 Roda Gigi Heliks Tunggal atau Ganda .....	8
Gambar 2.5 Roda Gigi Skrup.....	9
Gambar 2.6 Roda Gigi Miring.....	9
Gambar 2.7 Roda Gigi Bevel Lurus.....	9
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	12
Gambar 3.2 Bentuk Alat Yang Digunakan .....	13
Gambar 3.3 Desain Roda 48 Gigi.....	18
Gambar 3.5 Desain Roda 8 Gigi .....	19
Gambar 3.6 Desain Frame .....	19
Gambar 3.7 Desain Hopper .....	19
Gambar 3.4 Desain Mesin Tanam Benih Jagung .....	19
Gambar 4.1 Hasil Fabrikasi Roda Gigi Baja Cor SC 49 .....	22
Gambar 4.2 Pemasangan Roda Gigi Baja Cor SC 49 .....	22

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Alat tanam benih jagung merupakan salah satu peralatan pertanian yang memiliki peran penting dalam proses penanaman jagung. Keberhasilan tanaman jagung sangat bergantung pada kualitas alat tanam yang digunakan, termasuk roda gigi sebagai salah satu komponen utama. Dalam konteks ini, analisa roda gigi yang menggunakan baja cor SC 49 menjadi aspek kritis untuk memastikan keberlanjutan dan efisiensi operasional alat tanam benih jagung. Baja cor SC 49 dipilih sebagai bahan untuk roda gigi karena memiliki sifat kekuatan dan ketahanan yang diperlukan untuk menghadapi beban kerja yang berat dan kondisi lingkungan pertanian yang beragam. Analisis terhadap roda gigi ini tidak hanya mempertimbangkan kekuatan mekanisnya, tetapi juga aspek-aspek lain seperti keawetan, keberlanjutan, dan efisiensi energi dalam penggunaan alat tanam benih jagung.

Dengan melakukan analisis mendalam terhadap roda gigi yang menggunakan baja cor SC 49, kita dapat memahami lebih baik kinerja dan potensi peningkatan yang dapat diterapkan. Selain itu, pemahaman yang mendalam terhadap sifat-sifat material, desain geometris, dan mekanisme operasional roda gigi dapat membantu meningkatkan efisiensi tanam, mengurangi kerusakan, dan meningkatkan umur pakai alat tanam benih jagung secara keseluruhan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan teknologi pertanian yang berkelanjutan dan efisien. Dengan memahami secara rinci performa roda gigi menggunakan baja cor SC 49 pada alat tanam benih jagung, kita dapat merancang perbaikan atau modifikasi yang diperlukan untuk meningkatkan daya tahan dan kinerjanya. Dengan demikian, analisis ini menjadi langkah awal yang penting untuk meningkatkan produktivitas pertanian melalui optimalisasi peralatan dan teknologi yang digunakan.[1]

### **1.2. Rumusan Masalah**

1. Bagaimana cara membuat alat tanam benih jagung menggunakan roda gigi yang dibuat dari baja cor SC 49
2. Bagaimana menentukan torsi output yang bekerja pada sistem transmisi mesin tanam benih jagung berdasarkan daya putaran yang tersedia ?
3. Bagaimana menghitung dimensi roda gigi, khususnya lebar muka gigi?

### **1.3. Batasan Masalah**

1. Objek Penelitian  
Penelitian hanya mencakup perancangan dan analisis kekuatan pasangan roda gigi pada sistem transmisi mesin penjatah benih. Komponen lain seperti rangka, bearing, dan sistem penggerak hanya dibahas sebatas data pendukung.
2. Jenis Roda Gigi  
Analisis difokuskan pada roda gigi lurus (spur gear) sesuai spesifikasi rancangan. Jenis roda gigi lain seperti helikal atau bevel tidak dibahas.
3. Data Operasi  
Perhitungan torsi dan dimensi gigi didasarkan pada daya motor 0,373 kW dan putaran 70 rpm sesuai data rancangan awal. Perubahan kondisi operasi di lapangan di luar nilai ini tidak menjadi fokus penelitian.
4. Jenis Beban  
Beban yang dianalisis hanya beban statis nominal dan variasi lebar muka terhadap tegangan lentur. Pengaruh kejut, beban kelelahan (fatigue) jangka panjang, dan efek keausan hanya dibahas secara konseptual.

### **1.4 Tujuan Penelitian**

1. Menghitung torsi output yang ditransmisikan melalui pasangan roda gigi pada mesin penjatah benih.
2. Merancang dimensi roda gigi—terutama lebar muka—agar memenuhi kriteria kekuatan dan umur pakai.
3. Menganalisis pengaruh variasi lebar muka gigi terhadap tegangan lentur dan faktor keamanan.

## **1.5 Manfaat Penelitian**

Hasil Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat:

1. Bagi peneliti: menambah wawasan tentang perancangan elemen mesin dan pemilihan material pada aplikasi pertanian.
2. Bagi petani: memberikan alternatif alat tanam jagung yang lebih efisien, ekonomis, dan tahan lama.
3. Bagi akademisi: menjadi referensi dalam penelitian serupa mengenai pengembangan alat pertanian.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Untuk memudahkan pembahasan, laporan penelitian/skripsi ini disusun dengan sistematika sebagai berikut:

### **BAB I PENDAHULUAN**

Menjelaskan latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan skripsi. Bab ini memberikan gambaran umum mengenai alasan dilaksanakannya penelitian serta arah penelitian yang dilakukan.

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Berisi kajian teori dan penelitian terdahulu yang relevan, mencakup teori dasar roda gigi, perhitungan torsi, tegangan lentur, faktor keamanan, serta konsep simulasi elemen hingga (Finite Element Analysis/FEA). Bab ini juga memuat landasan teori yang menjadi dasar metode perhitungan dan analisis.

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Menguraikan langkah-langkah penelitian mulai dari pengumpulan data, perancangan dimensi roda gigi, perhitungan torsi dan tegangan, penentuan lebar muka, sampai prosedur simulasi FEA. Termasuk di dalamnya diagram alir penelitian, alat dan bahan, serta metode analisis data.

### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Menyajikan data hasil perhitungan dan analisis, meliputi perhitungan torsi output, penentuan lebar muka gigi, analisis tegangan lentur, faktor keamanan, serta hasil simulasi elemen hingga. Bab ini juga memuat pembahasan mengenai kesesuaian antara hasil analitis dan hasil simulasi.

### **BAB V PENUTUP**

Berisi kesimpulan yang diambil dari seluruh hasil penelitian serta saran yang dapat dijadikan acuan untuk penelitian lanjutan atau pengembangan desain roda gigi.

## **BAB II**

### **Tinjauan Pustaka**

#### **2.1 Penelitian Terdahulu**

Jagung merupakan salah satu tanaman pangan yang sangat penting di seluruh dunia, selain gandum dan padi.[2] Berfungsi sebagai sumber utama karbohidrat di Amerika Tengah dan Selatan, jagung juga menjadi alternatif penting sebagai sumber pangan di Amerika Serikat. Di Indonesia, khususnya di daerah Sumatra, penanaman jagung juga dilakukan untuk merelaksasi tanah yang sebelumnya telah ditanami padi selama musim penghujan. Peran jagung sebagai bahan baku industri juga semakin penting. Pertumbuhan industri pakan diperkirakan mencapai 12% per tahun antara tahun 20015-2023.[3] Industri-industri yang menggunakan jagung sebagai bahan baku meliputi pakan ternak (75,2%), penggilingan (19,5%), campuran kopi bubuk (1,5%), minuman (0,5%), mie dan produk sejenis (0,4%), industri makanan (0,4%), dan kerupuk (0,08%).[4]

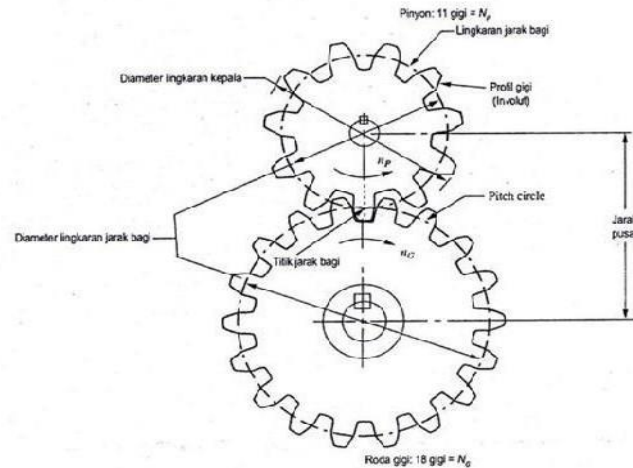
Dalam dekade terakhir, permintaan akan pakan ternak mengalami peningkatan pesat, menunjukkan bahwa kapasitas pasar jagung masih cukup besar, baik di dalam maupun luar negeri. Jika kapasitas pasar ini dapat dipenuhi dengan meningkatkan produksi domestik, terutama di luar Sumatra, seperti di Jawa dan Kalimantan, hal ini akan memberikan manfaat ekonomi yang signifikan, termasuk peningkatan pendapatan masyarakat, pengurangan tingkat kemiskinan, peningkatan pendapatan regional, dan penghematan devisa.[5]

Perencanaan dan seleksi sistem transmisi di dalam elemen mesin perlu dipertimbangkan dengan memperhatikan berbagai jenis serta keunggulan masing-masing metode pengalihan tenaga yang diperlukan oleh mesin. Berikut ini adalah variasi jenis pemilihan sistem pengalihan tenaga.

#### **2.2 Kinematika Roda Gigi**

Roda gigi silindris bergigi digunakan untuk mentransmisikan gerakan dan daya dari satu poros berputar ke poros berputar lainnya.[6] Gigi pada roda gigi penggerak secara presisi terletak di antara gigi pada roda gigi yang digerakkan, sebagaimana terlihat pada Gambar 2.1. Gigi pada roda gigi penggerak mendorong

gigi pada roda gigi yang digerakkan dengan gaya yang tegak lurus terhadap jari-jari roda gigi. Oleh karena itu, suatu torsi ditransmisikan, dan seiring berputarnya roda gigi, daya juga ditransmisikan.



**Gambar 2. 1** Pasangan roda gigi lurus pinyon menggerakkan roda gigi

Berdasarkan kutipan di atas, dapat disimpulkan bahwa transmisi daya besar dan putaran yang tepat tidak dapat dilakukan dengan roda gesek. Oleh karena itu, kedua roda tersebut harus memiliki gigi-gigi pada kelilingnya agar penerusan daya dapat dilakukan melalui gigi-gigi roda yang saling berhubungan. Roda semacam ini, yang dapat berbentuk silinder atau kerucut, disebut roda gigi.

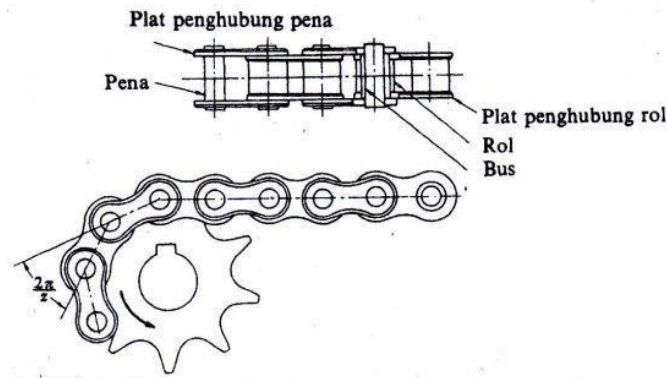
Meskipun ada cara lain untuk meneruskan daya, seperti dengan sabuk atau rantai, transmisi roda gigi memiliki keunggulan tertentu. Kelebihannya meliputi kekompakan, putaran yang lebih tinggi dan tepat, serta kemampuan menangani daya yang lebih besar. Walaupun demikian, tidak selalu roda gigi dipilih dibandingkan dengan cara transmisi lainnya karena membutuhkan ketelitian yang lebih besar dalam pembuatan, pemasangan, dan pemeliharaannya.[7] Menurut perbandingan penurunan kecepatan umumnya roda gigi digunakan untuk menghasilkan perubahan kecepatan putar pada roda gigi yang digerakkan relatif terhadap kecepatan putar roda gigi penggerak.[8] Dalam gambar 2.1, jika roda gigi pada bagian atas yang lebih kecil, disebut pinyon, menggerakkan roda gigi pada bagian bawah yang lebih besar, disebut roda gigi (gear), maka roda gigi yang lebih besar akan berputar lebih lambat. Besarnya reduksi kecepatan bergantung pada

perbandingan jumlah gigi pada pinyon dengan jumlah gigi pada roda gigi, yang dapat dijelaskan dengan hubungan:

$$n_p/n_g = N_p/N_g \dots\dots\dots (2.1)$$

### 2.3 Rantai

Rantai transmisi daya umumnya digunakan ketika jarak antar poros lebih besar dibandingkan dengan transmisi roda gigi, tetapi lebih pendek dibandingkan dengan transmisi sabuk. Rantai ini terhubung dengan gigi sproket dan mentransmisikan daya tanpa slip, sehingga menjamin perbandingan putaran yang konsisten. Keuntungan-keuntungan dari penggunaan rantai sebagai transmisi melibatkan kemampuannya untuk mentransmisikan daya besar berkat kekuatannya yang tinggi, tidak memerlukan tegangan awal, memiliki tingkat keausan yang rendah pada bantalan, dan mudah dipasang.[9] Dengan keunggulan-keunggulan tersebut, rantai memiliki aplikasi yang luas, sebanding dengan roda gigi dan sabuk

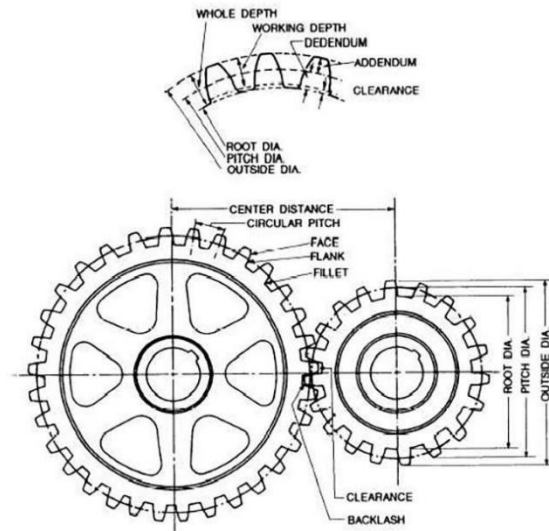


**Gambar 2.2** Bagian-Bagian Rantai

### 2.4 Roda Gigi

Bagian-bagian utama dari roda gigi dijelaskan dalam Gambar 2.4, dan dimensi dari roda gigi ini diukur dengan menggunakan diameter lingkaran jarak bagi. Diameter lingkaran jarak bagi merupakan lingkaran khayal yang menggelinding tanpa slip.[10] Dimensi gigi diukur dengan "jarak bagi lingkaran,"

yang merupakan jarak sepanjang lingkaran jarak bagi antara dua profil gigi yang berdekatan.



**Gambar 2.3** Bagian-Bagian Roda Gigi

Jika diameter lingkaran jarak bagi dinyatakan dengan  $d$  (mm), dan jumlah gigi dengan  $z$ , maka jarak lingkar  $t$  (mm) dapat di tulis sebagai

$$t = \frac{\pi d}{z} \dots\dots\dots (2.2)$$

Jadi, jarak bagi bagi lingkaran merupakan hasil keliling lingkaran dibagi dengan jumlah gigi. Oleh karena itu, ukuran roda gigi dapat diidentifikasi melalui besarnya jarak bagi lingkar tersebut. Namun, karena jarak bagi lingkar selalu melibatkan faktor  $\pi$ , penggunaannya sebagai ukuran gigi dianggap kurang praktis. Untuk mengatasi masalah ini, diperkenalkan suatu ukuran yang disebut "modul" dengan lambang  $m$ , di mana

$$m = \frac{d}{z} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dengan cara ini,  $m$  dapat ditentukan sebagai bilangan bulat atau bilangan pecahan 0,5 dan 0,25 yang lebih praktis. Juga karena

$$\pi \times m = t \dots\dots\dots (2.4)$$



Cara lain untuk menyatakan ukuran gigi adalah dengan “jarak bagi diameeteral” dalam hal ini diameter lingkaran jarak bagi diukur dalam inch; maka jarak bagi diameeteral DP adalah jumlah gigi per inch diameter tersebut. Jika diameter lingkaran jarak bagi dinyatakan sebagai  $d''$  (in), maka

$$DP = \frac{z}{d''} \left( \frac{1}{in} \right) \dots\dots\dots(2.5)$$

#### 2.4.1 Roda Gigi Heliks Tunggal atau Ganda

Bergantung pada apakah roda gigi memiliki gigi pada satu atau kedua heliks, roda gigi heliks dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis. Jika gigi hanya ada pada satu heliks, roda gigi tersebut disebut sebagai heliks tunggal. Sisi (kiri atau kanan) tempat gigi berada tidak menjadi masalah, asalkan hanya satu sisi yang memiliki gigi.

Sebaliknya, roda gigi tersebut dikategorikan sebagai heliks ganda jika gigi terdapat di kedua heliksnya. Terdapat celah di antara kedua permukaan pada roda gigi heliks ganda. Dibandingkan dengan heliks tunggal, roda gigi heliks ganda lebih efisien dan menghasilkan gerakan yang lebih halus karena adanya lebih banyak gigi yang tumpang tindih.



**Gambar 2.4 Roda Gigi Heliks Tunggal atau Ganda**

#### 2.4.2 Roda Gigi Skrup

Roda gigi ulir merupakan sepasang roda gigi heliks dengan tangan yang sama, bekerja pada sudut puntir 45 derajat. Desainnya mirip dengan banyak pengencang dan biasanya digunakan pada roda gigi yang tidak sejajar dan tidak berpotongan. Berbeda dari roda gigi heliks konvensional, roda gigi ulir hanya memiliki satu gigi sebagai titik kontak, yang memengaruhi kinerjanya dalam mentransfer daya dan menanggung beban yang tinggi.



**Gambar 2.5** Roda Gigi Skrup

#### **2.4.3 Roda Gigi Miring**

Roda gigi bevel merupakan roda gigi yang memiliki bentuk kerucut dengan gigi yang tersebar di sekelilingnya, digunakan untuk mentransmisikan gaya antar poros yang saling berpotongan. Poros tersebut dapat berpotongan tegak lurus atau membentuk sudut tertentu. Meskipun harga roda gigi bevel cenderung mahal, jenis roda gigi ini tetap digunakan dalam pembuatan mixer dan penghancur, meskipun penggunaannya tidak sebanyak di industri lain. Terdapat berbagai jenis roda gigi bevel yang akan dijelaskan selanjutnya:



**Gambar 2.6** Roda Gigi Miring

#### **2.4.4 Roda Gigi Bevel Lurus**

Varian roda gigi bevel ini sering digunakan dalam berbagai industri karena desainnya yang mudah diatur. Meskipun roda giginya membentuk kerucut, gigi-giginya tetap tegak.



**Gambar 2.7** Roda Gigi Bevel Lurus

#### 2.4.5 Roda Gigi Bevel Spiral

Varian roda gigi bevel ini menonjolkan kelengkungan pada pola giginya, sehingga menciptakan titik kontak yang optimal untuk meningkatkan kekuatan gigi dan memastikan transmisi yang lebih mulus. Meskipun demikian, biayanya cukup tinggi.

Gigi-gigi pada roda-roda yang telah disebutkan sebelumnya memiliki perbandingan kecepatan sudut tetap di antara kedua poros. Namun, terdapat juga jenis roda gigi lain yang memiliki perbandingan kecepatan sudut yang dapat bervariasi, seperti roda gigi eksentris, roda gigi non lingkaran, roda gigi lonjong seperti pada meteran air, dan sebagainya. Beberapa roda gigi bahkan memiliki putaran yang tidak kontinu, seperti roda gigi dengan putaran putus-putus dan roda gigi Geneva, yang digunakan misalnya untuk menggerakkan film pada proyektor bioskop.

Meskipun dalam teori roda gigi umumnya dianggap sebagai benda kaku yang hampir tidak mengalami perubahan bentuk untuk jangka waktu yang lama, ada situasi tertentu, seperti pada transmisi hermonis, di mana kombinasi roda gigi bekerja dengan deformasi elastis dan tanpa deformasi.

### 2.5 Baja Cor SC 49

Baja cor SC 49 dipilih sebagai material roda gigi untuk alat tanam benih jagung karena memiliki kekuatan tarik sekitar 490 MPa, tegangan lentur izin  $\pm 200$  MPa, dan kekerasan 190–241 HB. Sifat mekanik ini membuatnya mampu menahan beban puntir, gaya kejut, serta lebih tahan aus dibanding besi cor biasa. Hasil perhitungan menunjukkan tegangan lentur maksimum roda gigi hanya berkisar 5,93–9,88 kg/mm<sup>2</sup>, jauh di bawah batas izin material. Dengan faktor keamanan sekitar 3,4, roda gigi berbahan SC 49 dinyatakan aman dan andal untuk mentransmisikan torsi output mesin sebesar  $\pm 50,9$  N·m pada kondisi kerja di lahan pertanian.

#### 1. Teori Torsi Output

$$T = \frac{9550 P (\text{kW})}{n (\text{rpm})}$$

- $T$  = torsi (N·m),
- $P$  = daya (kW),
- $n$  = putaran poros (rpm),

- angka 9550 merupakan konstanta hasil konversi satuan.

Pada sistem roda gigi reduksi, penurunan kecepatan putar menghasilkan peningkatan torsi output. Nilai torsi ini menjadi acuan utama dalam menentukan gaya tangensial, tegangan lentur, dan tegangan kontak pada gigi. Dengan

mengetahui torsi output, perancang dapat memastikan dimensi dan material roda gigi mampu menahan beban tanpa gagal, sehingga menjamin ketahanan dan umur pakai sistem transmisi.\

## 2. Teori Tegangan Lentur

$$\sigma_a = \frac{F_t}{b \cdot m \cdot Y \cdot F_v}$$

- $\sigma_a$  = tegangan lentur ( $\text{kg/mm}^2$  atau MPa),
- $F_t$  = gaya tangensial yang bekerja pada gigi (N),
- $b$  = lebar muka gigi (mm),
- $m$  = modul gigi (mm),
- $Y$  = faktor bentuk Lewis, bergantung pada jumlah gigi.

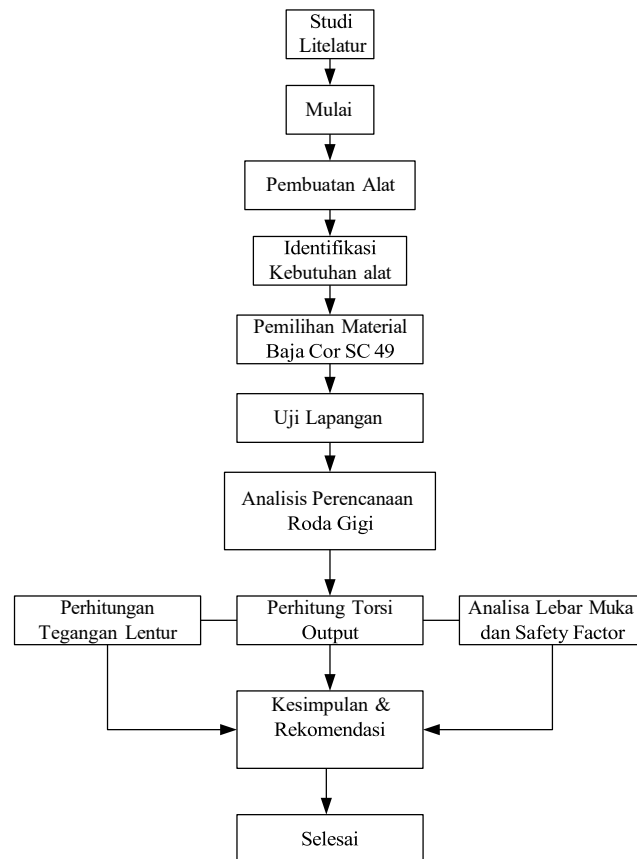
Tegangan lentur pada roda gigi digunakan untuk mengetahui seberapa besar beban yang dapat ditahan oleh akar gigi akibat gaya tangensial saat transmisi daya berlangsung. Analisis ini penting agar gigi tidak patah saat menerima beban kerja. Dengan menghitung tegangan lentur, perancang bisa memastikan bahwa tegangan yang terjadi masih di bawah tegangan ijin material, sehingga roda gigi aman, awet, dan mampu bekerja sesuai umur rancangannya.

## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian ditunjukkan pada gambar 3.1 sebagai berikut:



**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian

#### 3.2 Metode Perencanaan

Dalam desainnya, roda gigi berputar secara bersamaan dengan roda gigi lurus lainnya, dengan nilai perbandingan putaran yang telah ditentukan. Roda gigi ini rentan terhadap kerusakan seperti patah gigi, keausan, lubang-lubang pada permukaannya, dan goresan akibat pecahnya selaput minyak pelumas. Karena perbandingan kontak mencapai 1,0 atau lebih, beban penuh tidak selalu dikenakan pada satu gigi. Untuk keamanan, perhitungan dilakukan dengan asumsi bahwa

beban penuh ditempatkan pada titik perpotongan antara garis tekanan dan garis hubung pusat roda gigi, di puncak gigi.



**Gambar 3.2** Bentuk Alat Yang Digunakan

Berdasarkan kekuatan material, maka bahan yang dipilih adalah:

- Jenis Material: Baja Cor
- Lambang Material: SC49
- Kekuatan Tarik: 49 kg/mm<sup>2</sup>
- Tegangan Lentur yang Diizinkan: 20 kg/mm<sup>2</sup>

SC 49 dipilih karena:

- Memiliki kekuatan dan kekerasan yang lebih tinggi dibanding besi cor.
- Cocok untuk aplikasi pada beban sedang hingga berat.
- Tahan terhadap deformasi dan keausan dalam jangka waktu panjang

### **3.3 Langkah Persiapan**

Sebelum menjalankan suatu tugas, disarankan untuk melakukan persiapan terlebih dahulu agar pelaksanaan tugas dapat berjalan lancar. Beberapa langkah persiapan yang perlu diperhatikan adalah sebagai berikut:

### **1. Persiapan Tempat Kerja:**

- a. Pastikan ruangan tempat kerja bersih.

### **2. Pilih ruangan yang tenang untuk menghindari gangguan.**

- a. Pastikan ruangan terfentilasi dengan baik.

### **3. Persiapan Bahan:**

- a. Siapkan roda gigi.
- b. Siapkan komponen alat tanam jagung.
- c. Periksa kesiapan engine.

### **4. Persiapan Alat:**

- a. Siapkan tool box.
- b. Siapkan jangka sorong/sigmat.
- c. Pastikan mesin las, elektroda/kawat las, mesin gerinda tangan, mesin bor, mesin potong, dan cat tersedia.

### **5. Keselamatan Kerja:**

Keselamatan kerja menjadi aspek krusial yang harus diperhatikan oleh setiap pekerja di workshop. Langkah-langkah menjaga keselamatan kerja dapat dibagi menjadi tiga bagian utama:

#### **a. Keselamatan Diri Pekerja:**

- a) Jaga kebersihan bengkel dan hindari benda-benda mudah terbakar.
- b) Disiplin dalam bekerja sebagai langkah awal untuk keselamatan.

#### **b. Keselamatan Peralatan dan Benda Kerja:**

- a) Gunakan peralatan yang masih dalam kondisi baik.
- b) Pastikan penggunaan peralatan sesuai fungsinya.
- c) Ikuti prosedur kerja dengan benar.
- d) Bersihkan peralatan sebelum dan setelah digunakan serta simpan

dengan baik.

**c. Keselamatan Lingkungan Pekerjaan:**

- a) Bersihkan tempat kerja dari segala jenis kotoran setelah selesai bekerja.
- b) Hapus tumpahan minyak pelumas dan sisa bahan yang tidak terpakai.

**3.4 Pemilihan Bahan Roda Gigi**

Berdasarkan perhitungan atau beberapa pertimbangan maka pemilihan bahan pada roda gigi dihitung sesuai dengan kapasitas beban dan tegangan lentur yang telah diizinkan  $\sigma_a$  pada bahan roda gigi sesuai dengan table berikut :

**Tabel 3.1** Pemilihan Bahan Roda Gigi

Kelompok Bahan	Lambang Bahan	Kekuatan tarik $\sigma_B$ (kg/mm <sup>2</sup> )	Kekerasan (Brinell) $H_B$	Tegangan Lentur yang diizinkan $\sigma_a$ (kg/mm <sup>2</sup> )
Besi Cor	FC 15	15	140-160	7
	FC 20	20	160-180	9
	FC 25	25	180-240	11
	FC 30	30	190-240	13
Baja Cor	SC 42	42	140	12
	SC 46	46	160	19
	SC 49	49	190	20
Baja Karbon untuk konstruksi mesin	S 25 C	45	123-183	21
	S 35 C	52	149-207	26
	S 45 C	58	167-229	30



Baja Paduan dengan pengerasan kulit	S 15 CK	50	400 (dicelup dingin dalam minyak)	30
	SNC 21	80	600 (dicelup dingin dalam air)	35-40
	SNC 22	100		40-55
Baja khrom nikel	SNC 1	75	212-225	35-40
	SNC 2	85	248-302	40-60
	SNC 3	95	269-321	40-60
Perunggu				
Logam delta		18	85	5
Perunggu		35-60	-	10-20
fosfor (coran)		19-30	80-100	5-7
Perunggu nikel (coran)		64-90	180-260	20-30
Damar phenol, dll				3-5

Sebelum bahan untuk roda gigi direncanakan maka roda gigi harus dihitung tegangan lentur yang bekerja pada roda gigi ( $\sigma_a$ )

Diketahui:

$$= 0,8 - 1,2$$

$$= 0,20 \text{ kW (diambil dari tabel perbandingan daya transmisi roda gigi)}$$

$$\text{Perbandingan gigi} = 4$$

$$I = 8/48 = 6$$

Putaran Output (n) Kecepatan

$$N = nm/l = 60/5 = 12 \text{ rpm}$$

Perhitungan daya rencana (Pd) dengan koreksi diambil 1,2

$$\begin{aligned} P_d &= f_c \times P \\ &= 1,2 \times 0,28 \\ &= 0,336 \text{ kW} \end{aligned}$$

Kecepatan keliling (V1)

$$V1 = (\pi \cdot dO1 \cdot n) / 60 \cdot 1000$$

$$V1 = 3,14 \cdot 8 \cdot 12 / 60 \cdot 1000$$

$$V1 = 301,44 / 60000$$

$$V1 = 0,0051 \text{ m/s}$$

Daya tangensial

$$\begin{aligned} F_t &= (102 \cdot P_d) / V1 \\ &= (102 \cdot 0,336 \text{ kw}) / 0,0051 \\ &= 34,272 / 0,0051 \\ &= 672,1 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Faktor dinamis

$$\begin{aligned} F_v &= 3 / (3 + V1) \\ &= 3 / (3 + 672,1) \\ &= 3 / 675,1 \\ &= 0,0004 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Lebar roda gigi yang diijinkan (b)

$$\begin{aligned} b &= (\text{antara } 6-10) \times m \\ &= 8 \times 4 = 24 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka, tegangan lentur yang diizinkan adalah,

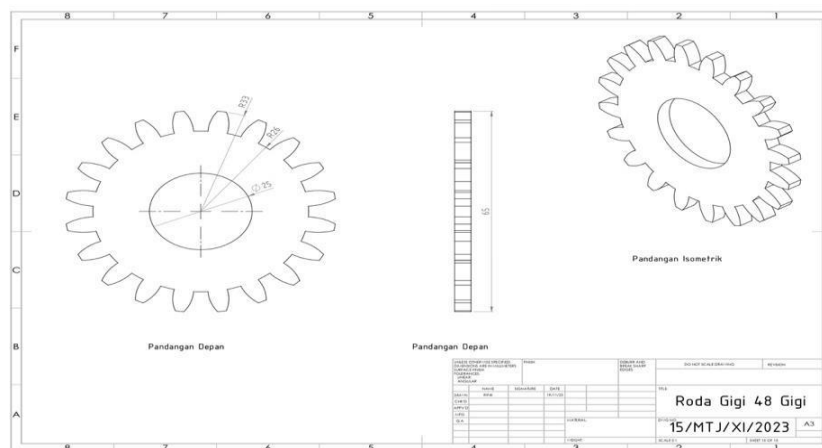
$$\begin{aligned} \text{Roda gigi 1 } (\sigma_a) \sigma_{b1} &= F_t / (b \cdot m \cdot Y1 \cdot F_v) \\ &= 672,1 / (24 \cdot 4 \cdot 0,176 \cdot 0,0004) \\ &= 672,1 / 0,0068 \\ &= 9,8838 \text{ kg/mm}^2 \end{aligned}$$

Maka perencanaan pemilihan bahan pada roda gigi sesuai dengan tabel diatas dan dengan berdasarkan kriteria adalah :

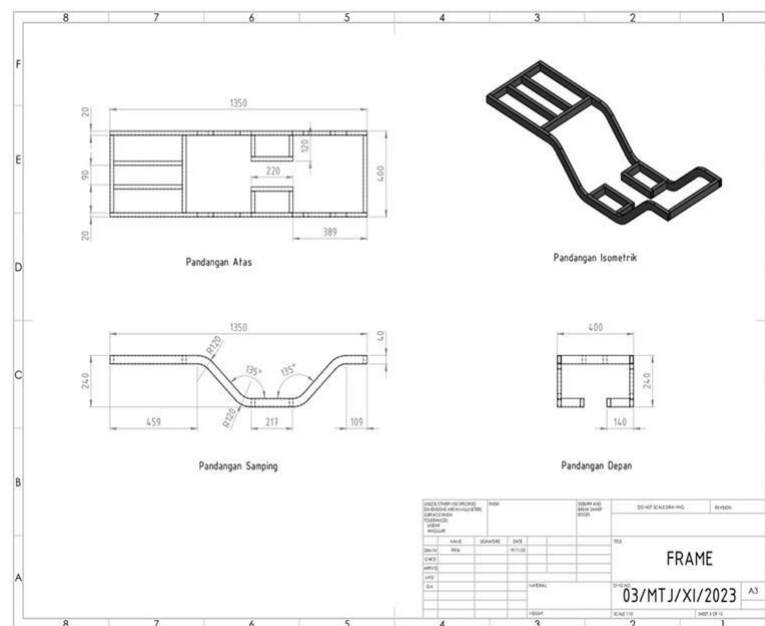
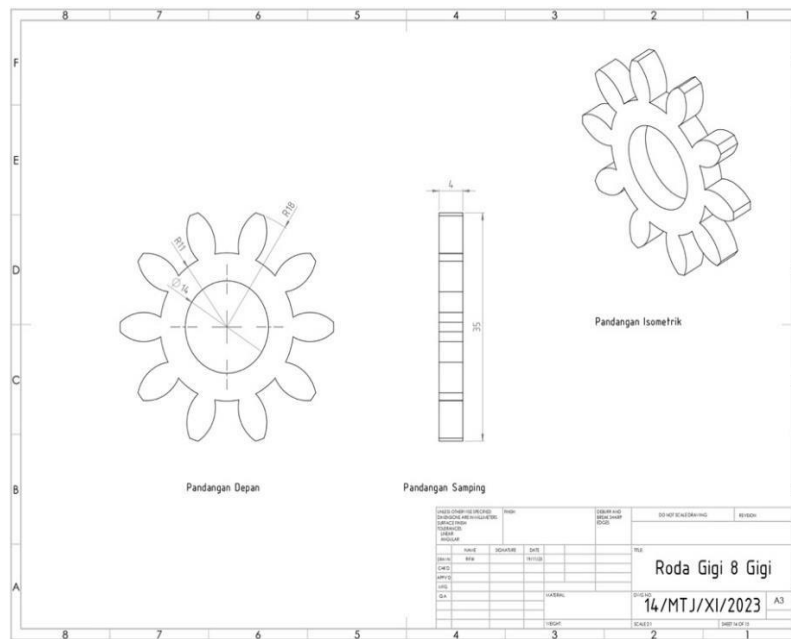
Kelompok bahan : Besi Cor  
 Lambang bahan : FC 20  
 Kekuatan Tarik :  $20 \text{ kg/mm}^2$   
 Kekerasan : 160-180  
 Tegangan yang diizinkan :  $9 \text{ kg/mm}$

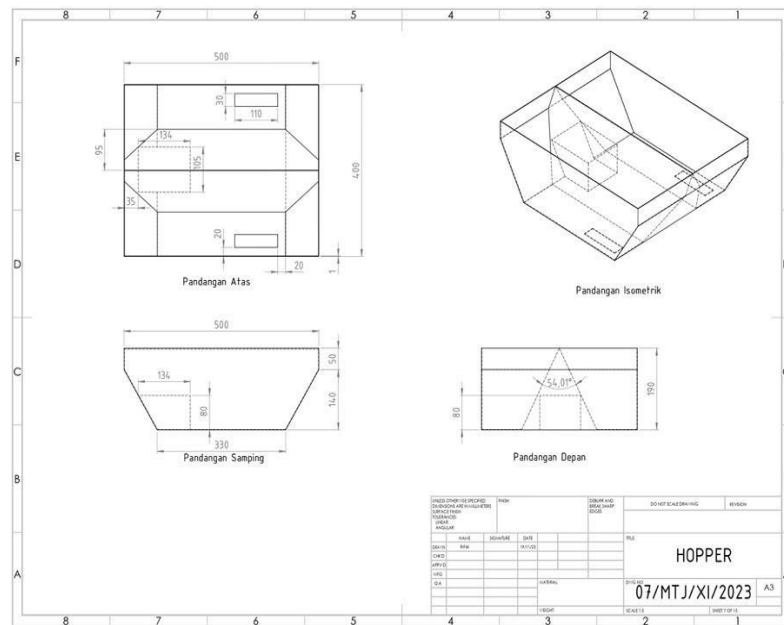
### 3.5 Perakitan Roda Gigi

Setelah menyelesaikan perhitungan formula untuk membuat roda gigi dari bahan baja cor sc 49 di atas, langkah berikutnya adalah menggunakan mesin frais untuk proses pembuatan roda gigi. Hal ini dilakukan untuk mencapai hasil yang optimal. Bagian yang sangat penting dari alat ini adalah roda gigi, karena roda gigi menentukan waktu jatuhnya benih jagung dari tempat benih jagung ke lubang yang dihasilkan oleh roda tugal. Fungsi roda gigi ini adalah untuk mentransmisikan perpindahan tenaga dari roda ke penjatah dengan perbandingan 1:6. Dengan kata lain, setiap putaran roda akan menghasilkan enam putaran pada penjatah yang digunakan untuk mengambil benih jagung dari bak tempat benih jagung .

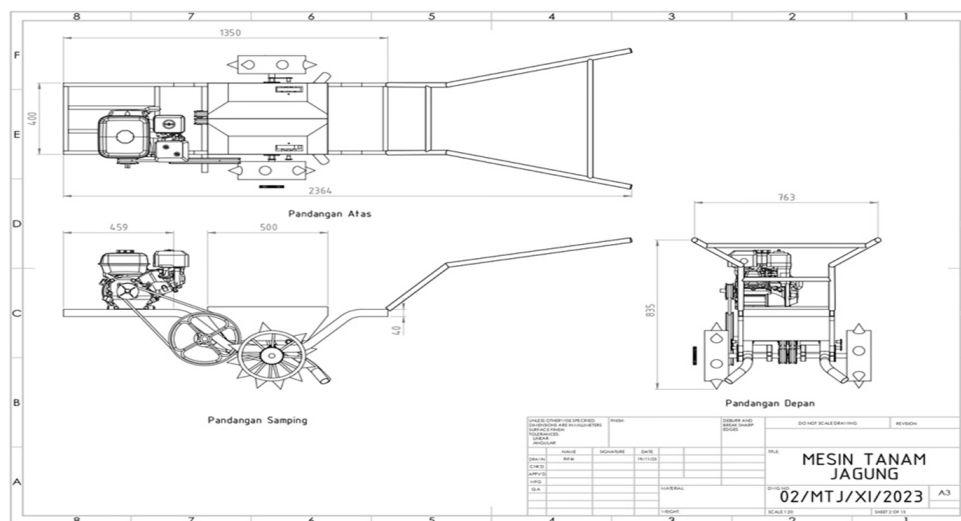


**Gambar 3.3** Desain Roda 48 Gigi





### Gambar 3.6 Desain Hopper



**Gambar 3.7** Desain Mesin Tanam Jagung

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMABAHASAN**

#### **4.1 Perencanaan Dan Pemilihan Material**

Perencanaan dilakukan berdasarkan kebutuhan sistem transmisi pada alat tanam benih jagung tipe dorong manual. Parameter utama dalam perencanaan meliputi:

- Daya motor: 0,5 HP (0,373 kW)
- Putaran poros penggerak ( $n_1$ ): 1400 rpm
- Putaran poros output ( $n_2$ ): 70 rpm
- Rasio reduksi:  $i = n_1 / n_2 = 1400 / 70 = 20$
- Bahan roda gigi: Baja cor SC 49
- Jenis roda gigi: Roda gigi lurus

Bahan roda gigi dipilih menggunakan baja cor SC 49 sesuai standar JIS G5101 dengan pertimbangan:

- Kekerasan tinggi (Brinell hardness  $\sim 197\text{--}241$  HB)
- Ketahanan aus yang baik
- Mampu menerima beban kejut dan gaya puntir

Sifat mekanik SC 49:

- Tegangan tarik:  $\pm 490$  MPa
- Ketangguhan: baik untuk beban kejut ringan
- Keuletan: sedang



**Gambar 4.1** Hasil Fabrikasi Roda Gigi Baja Cor SC 49



**Gambar 4.2** Pemasangan Roda Gigi Baja Cor SC 49

#### **4.2 Analisis Perencanaan Roda Gigi**

Perencanaan roda gigi lurus dimulai dari perhitungan geometris untuk memastikan dimensi roda gigi sesuai dengan kebutuhan transmisi daya dan kecepatan. Dalam hal ini, sistem terdiri dari sepasang roda gigi dengan modul 4 mm dan jumlah gigi masing-masing 8 (roda gigi kecil) dan 48 (roda gigi besar), yang menghasilkan rasio transmisi sebesar 6:1. Hasil perhitungan diameter, tinggi gigi, dan lebar roda gigi ditampilkan dalam Tabel 4.1.

**Tabel 4.1** Dimensi Geometris Roda Gigi

Parameter	Roda Gigi Kecil	Roda Gigi Besar
Modul (m)	4 mm	4 mm
Jumlah Gigi (Z)	8	48
Diameter Pitch (D)	32 mm	192 mm
Diameter Kepala (Dk)	40 mm	200 mm
Diameter Kaki Gigi (Df)	22 mm	172 mm
Tinggi Gigi (h)	9 mm	9 mm
Lebar Gigi (b)	40 mm	40 mm

Setelah mengetahui dimensi geometris, dilakukan juga perhitungan torsi output, lebar muka gigi, tegangan lentur ( $\sigma$ ), pengaruh lebar muka gigi terhadap tegangan lentur, dan safety factor untuk memastikan material roda gigi mampu menahan beban yang bekerja.

### 4.3 Perhitungan Kekuatan Roda Gigi

#### 4.3.1 Perhitungan Torsi Output

$$T = \frac{9550 P \text{ (kW)}}{n \text{ (rpm)}}$$

- $$9550 \times 0,373 = 9550 \times \frac{373}{1000} = \frac{9550 \times 373}{1000}$$

$$= \frac{(9550 \times 373) + (9550 \times 70) + (9550 \times 3)}{1000}$$

$$= \frac{2\,865\,000 + 668\,500 + 28\,650}{1000} = \frac{3\,562\,150}{1000} = 3562,150 \div 1000 = 3562,15$$
- Dilanjutkan  $\frac{3\,562,15}{1000} = 50,88785714285714 \text{ N}\cdot\text{m}$

Pembulatan praktis  $T \approx 50,89 \text{ N}\cdot\text{m}$

(Jadi torsi nominal yang bekerja pada poros output  $\approx 50,9 \text{ N}\cdot\text{m}$ ).



#### 4.3.2 Perhitungan Tegangan Lentur

Perhitungan dimulai dengan menentukan daya rencana ( $P_d$ ) berdasarkan koreksi terhadap daya nominal ( $P$ ):

$$P_d = f_c \cdot P = 1,2 \cdot 0,28 = 0,336 \text{ kW}$$

Kemudian dihitung kecepatan keliling ( $V_1$ ):

$$V_1 = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60 \cdot 1000} = \frac{3,14 \cdot 8 \cdot 12}{60000} = 0,0051 \text{ m/s}$$

Daya tangensial ( $F_t$ ):

$$F_t = \frac{102 \cdot P_d}{V_1} = \frac{102 \cdot 0,336}{0,0051} = 672,1 \text{ N}$$

Faktor dinamis:

$$F_v = \frac{3}{3 + V_1} = \frac{3}{3 + 672,1} = 0,0004$$

Dengan nilai faktor bentuk  $Y_1 = 0,176$  dan lebar roda gigi  $b = 24 \text{ mm}$ , diperoleh tegangan lentur:

$$\sigma_a = \frac{F_t}{b \cdot m \cdot Y \cdot F_v} = \frac{672,1}{24 \cdot 4 \cdot 0,176 \cdot 0,0004} = 9,88 \text{ kg/mm}^2$$

#### 4.3.3 Lebar muka gigi (*face width*) dan tegangan lentur

- Dari aturan praktis, lebar muka untuk modul  $m = 4 \text{ mm}$  biasanya  $b \approx 6\text{--}10 \times m$ , yaitu sekitar 24–40 mm. Dokumen perhitungan menggunakan  **$b = 40 \text{ mm}$** .
- Tegangan lentur analitis sebelumnya pada asumsi lebar muka lama  $b = 24 \text{ mm}$  adalah  **$\sigma \approx 9,88 \text{ kg/mm}^2$** .

#### 4.3.4 Pengaruh Lebar Muka Terhadap Tegangan Lentur

Tegangan lentur berbanding terbalik dengan lebar muka  $b$ .

Perkiraan penyesuaian:

$$\sigma \text{ baru} = \sigma \text{ lama} \times (b \text{ lama} / b \text{ baru})$$

$$\sigma \text{ baru} = 9,88 \times \frac{24}{40} = 5,93 \text{ kg/mm}^2$$

$$\sigma \text{ baru} = 9,88 \times (24 / 40) = 5,93 \text{ kg/mm}^2.$$

Penambahan lebar muka menurunkan tegangan lentur secara signifikan.

#### **4.3.5 Faktor Keamanan (*Safety Factor*) Terhadap Lentur**

Tegangan ijin material  $\approx 20 \text{ kg/mm}^2$ .

Faktor keamanan:

$$SF = \frac{\sigma \text{ ijin}}{\sigma \text{ kerja}} = \frac{20}{5,39} \approx 3,37$$

Dengan  $b = 40 \text{ mm}$  sistem memiliki margin lentur yang aman ( $SF \approx 3,4$ )

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan perhitungan torsi, analisis tegangan lentur, serta verifikasi melalui simulasi elemen hingga (FEA), dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Torsi Keluaran

Dari daya motor 0,373 kW dan putaran 70 rpm diperoleh torsi keluaran sebesar  $\pm 50,9 \text{ N}\cdot\text{m}$ , yang menjadi dasar beban pada pasangan roda gigi.

2. Lebar Muka Gigi dan Tegangan Lentur

Pemilihan lebar muka gigi 40 mm menurunkan tegangan lentur dari 9,88 kg/mm<sup>2</sup> (pada lebar 24 mm) menjadi  $\pm 5,93 \text{ kg/mm}^2$ , sehingga kapasitas lentur gigi meningkat signifikan.

3. Faktor Keamanan

Dengan tegangan ijin material sekitar 20 kg/mm<sup>2</sup>, faktor keamanan terhadap lentur tercapai  $\pm 3,4$ , yang menunjukkan desain roda gigi aman dan memiliki cadangan kekuatan yang cukup besar untuk menghadapi beban kejut maupun variasi kondisi operasi.

Secara keseluruhan, rancangan roda gigi pada mesin penjatah benih ini memenuhi kriteria kekuatan dan keandalan untuk kondisi kerja yang direncanakan.

#### **5.2 Saran**

1. Pemeliharaan dan Pelumasan

Lakukan pelumasan berkala dan pemeriksaan keausan gigi agar tegangan kontak tetap rendah dan umur pakai sesuai perancangan.

2. Verifikasi Lapangan

Setelah prototipe dioperasikan, lakukan uji beban nyata dan bandingkan hasilnya dengan prediksi torsi serta tegangan untuk memastikan kesesuaian desain.

### 3. Pengembangan Desain

- Untuk beban lebih tinggi di masa depan, dapat dipertimbangkan perlakuan panas (case hardening) atau pemakaian material dengan kekuatan tarik lebih besar.
- Pertimbangkan variasi lebar muka lebih besar atau modul gigi lebih besar bila mesin direncanakan bekerja pada kapasitas lebih tinggi.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Ayasso and A. Mohammad-Djafari, "Joint NDT image restoration and segmentation using Gauss-Markov-Potts prior models and variational Bayesian computation," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 19, no. 9, pp. 2265–2277, doi: 10.1109/TIP.2010.2047902.
- [2] J. A. N. A. V. A. N. M. Ieghem, "Principles and Practice".
- [3] H. Tang, "Examensarbete DOA estimation based on MUSIC algorithm," 2014, [Online]. Available: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:724272/FULLTEXT01.pdf>
- [4] c. flores, "No TitleEAENH," *Ayan*, vol. 8, no. 5, p. 55, 2020.
- [5] S. A. Waughn, S. City, and T. Gudmestad, "Si () S ( t ) -,".
- [6] H. Y. Chen *et al.*, "No TitleEAENH," *ACM Trans. Softw. Eng. Methodol.*, vol. 19, no. 6, pp. 2265–2277, 2018, doi: 10.1145/366378.366380.
- [7] J. Ross Beveridge and E. M. Riseman, "How easy is matching 2d line models using local search?," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 19, no. 6, pp. 564–579, 1997, doi: 10.1109/34.601245.
- [8] J. Birajdar, P. Bhorde, S. Shaikh, and P. R. Sarawale, "+ Advanced Pipeline Leakage Detector and Choke up Cleaning Robot," pp. 3843–3845.
- [9] H. Y. Chen, T. H. Tse, and T. Y. Chen, "TACCLE: A Methodology for Object-Oriented Software Testing at the Class and Cluster Levels," *ACM Trans. Softw. Eng. Methodol.*, vol. 10, no. 1, pp. 56–109, doi: 10.1145/366378.366380.
- [10] A. Z. Aos, A. W. Naji, S. A. Hameed, F. Othman, and B. B. Zaidan, "Approved undetectable-antivirus steganography for multimedia information in PE-File, *Int. Assoc. Comput. Sci. Inf. Technol. - Spring Conf. IACSIT-SC 2009*, pp. 437–441, doi: 10.1109/IACSIT-SC.2009.103.

