

## **BAB II**

### **DASAR TEORI**

#### **2.1. Landasan Teori**

##### **2.1.1. Mesin bubut**

Mesin bubut adalah mesin yang dibuat dari logam yang berguna untuk menyayat dengan gerakan utamanya dengan memutar benda kerja, Di bidang industri mesin bubut sangat berperan dalam pembuatan komponen seperti mur, baut, roda gigi, poros dan lain sebagainya. Proses kerjanya bergerak memutar benda kerja dan menggunakan potong pahat (*tools*) sebagai alat untuk memotong benda kerja tersebut. Mesin bubut merupakan salah satu mesin proses produksi yang dipakai untuk membentuk benda kerja yang berbentuk silindris, namun dapat juga dipakai untuk beberapa kepentingan lain. Pada prosesnya benda kerja terlebih dahulu dipasang pada *chuck* (pencekam) yang terpasang pada spindel mesin, kemudian spindel dan benda kerja diputar dengan kecepatan tertentu (Marsyahyo, 2003).

Alat potong (pahat) yang dipakai untuk membentuk benda kerja akan ditempelkan pada benda kerja yang berputar sehingga benda kerja terbentuk sesuai dengan ukuran yang dikehendaki. Umumnya pahat bubut dalam keadaan diam, pada perkembangannya ada jenis mesin bubut yang berputar alat potongnya, sedangkan benda kerjanya diam.

##### **2.1.2. Mesin bubut Maximat V13**

Mesin bubut maximat v13 adalah salah satu mesin yang terdapat di bengkel produksi Teknik Mesin Politeknik Negeri Sriwijaya. Mesin bubut maximat v13 ini memiliki dimensi panjang 1800 mm, lebar 850 mm dan tinggi 1400 mm. Dengan kecepatan *spindle* sebesar 2500 rpm dan memiliki power 2,2 kW (Maximat, 1982). Pada mesin bubut ini terdapat beberapa roda gigi, salah satunya yakni roda gigi transportir, yang dalam penelitian ini akan dilakukan optimasi desain dari roda gigi tersebut.



Gambar 2. 1 Mesin Bubut *Maximat v13*

### 2.1.3. Roda gigi

Roda gigi merupakan salah satu elemen mesin yang berfungsi untuk meneruskan daya dan putaran dari satu poros ke poros lainnya. Perkembangan industri yang cepat seperti pada kendaraan, kapal dan pesawat terbang memerlukan penerapan lebih lanjut dari teknologi roda gigi. Secara umum pengguna kendaraan bermotor menyukai mobil yang menggunakan mesin dengan efisiensi tinggi, sehingga diperlukan transmisi daya yang unggul. Industri mobil merupakan salah satu perusahaan manufaktur skala besar yang cukup banyak menggunakan roda gigi (Sutanto, 2017).

Roda gigi sering digunakan karena dapat meneruskan putaran dan daya yang lebih bervariasi dan lebih kompak dari pada menggunakan alat transmisi yang lainnya. Adapun kelebihan dari roda gigi dibandingkan dengan sistem transmisi yang lain adalah:

1. Sistem transmisi yang lebih ringkas, putarannya lebih tinggi dan dayanya besar.
2. Sistem yang kompak sehingga konstruksi yang sederhana.
3. Kemampuan menerima beban lebih tinggi.
4. Efisiensi pemindahan daya tinggi karena faktor terjadinya slip sangat kecil.
5. Kecepatan transmisi roda gigi dapat ditentukan sehingga dapat digunakan dengan pengukuran yang kecil dan daya yang besar.

#### 2.1.4. Roda gigi lurus

Roda gigi dengan poros sejajar adalah roda gigi dimana giginya berjarak pada dua bidang silinder (disebut “bidang jarak bagi”), kedua bidang silinder tersebut bersinggungan dan yang satu menggelinding pada yang lain dengan sumbu tetap sejajar. Roda gigi lurus digunakan untuk poros yang sejajar atau paralel. Dibandingkan dengan jenis roda gigi yang lain roda gigi lurus ini paling mudah dalam proses pengerjaannya (*machining*) sehingga harganya lebih murah. Beberapa contoh penggunaan roda gigi lurus antara lain untuk: roda gigi pemindah pada mesin bubut, mesin frais, roda gigi untuk pemindah cepat pada *gearbox*, starter pinion pada motor, *hand winches* untuk menggerakkan benda yang berat. Keuntungan penggunaan roda gigi ini adalah: pembuatannya mudah, perbedaan kesenteran antar poros masih bisa di toleransi (Rahdiyanta, 2020).

Ciri-ciri roda gigi lurus adalah:

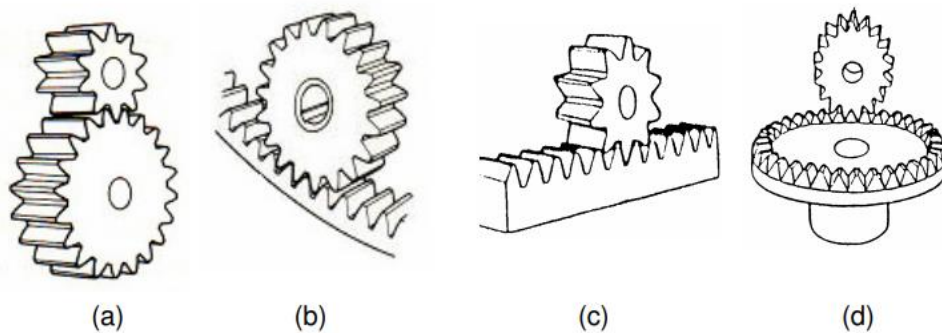
- Daya yang ditransmisikan  $< 25.000$  Hp
- Putaran yang ditransmisikan  $< 100.000$  rpm
- Kecepatan keliling  $< 200$  m/s
- Efisiensi keseluruhan untuk masing-masing tingkat 96% - 99%
- Rasio kecepatan yang digunakan adalah:
  1. Untuk 1 tingkat  $\rightarrow i < 8$
  2. Untuk 2 tingkat  $\rightarrow i < 45$
  3. Untuk 3 tingkat  $\rightarrow i < 200$

$i$  = Perbandingan kecepatan antara penggerak dengan yang digerakkan.  
tergantung desain dan ukuran.

Jenis-jenis roda gigi lurus antara lain:

1. Roda gigi lurus (*external gearing*); umumnya pasangan roda gigi lurus seperti gambar (a), digunakan untuk menaikkan atau menurunkan putaran dalam arah yang berlawanan.
2. Roda gigi dalam (*internal gearing*); roda gigi ini dipakai jika diperlukan alat transmisi dengan ukuran kecil dengan perbandingan reduksi besar, karena pinion terletak di dalam roda gigi.

3. Roda gigi *rack dan pinion* (*rack and pinion gears*); merupakan roda gigi dari sebuah poros yang bersinggungan baik eksternal ataupun internal dengan roda gigi dalam garis lurus, pasangan antara batang gigi dan pinion dipergunakan untuk merubah gerakan putar menjadi lurus atau sebaliknya.
4. Roda gigi permukaan; roda gigi lurus permukaan (gambar c) memiliki dua sumbu saling berpotongan dengan sudut sebesar  $90^\circ$ .



Gambar 2. 2 Roda Gigi Lurus (Rahdiyanta, 2020)

### 2.1.5. Perancangan statis roda gigi

Ada beberapa persamaan yang digunakan dalam merencanakan sebuah roda gigi lurus (Marsis & Agung, 2014):

Modul (M)	: $M = D / Z$	(Marsis & Agung, 2014)
Jumlah Gigi (Z)	: $Z = D / M$	(Marsis & Agung, 2014)
Diameter Pitch (D)	: $D = Z \cdot M$	(Marsis & Agung, 2014)
Diameter Luar (Da)	: $Da = D + 2M$ : $Da = (Z + 2)M$	(Marsis & Agung, 2014)
Diameter Kaki (Df)	: $Df = D + 2,32.M$ : $Df = (Z + 2,32)M$	(Marsis & Agung, 2014)
Adendum (Ha)	: $Ha = 1.M$	(Marsis & Agung, 2014)
Dedendum (Hf)	: $Hf = 1,16.M$	(Marsis & Agung, 2014)
Tinggi gigi (H)	: $H = 2,16.M$	(Marsis & Agung, 2014)
Jarak Pitch (T)	: $T = \pi.M$	(Marsis & Agung, 2014)
Lebar Gigi (B)	: $B = 10.M$	(Marsis & Agung, 2014)

### 2.1.6. Perancangan Dinamis roda gigi

Ada beberapa hal yang harus diperhatikan dalam proses pembuatan roda gigi (Khurmi et al., 2005) yaitu:

1. Menghitung beban tangensial gigi, diperoleh dari daya yang ditransmisikan dan kecepatan dari *pitch line* menggunakan persamaan.

$$W_T = \frac{P}{v} \times C_s \quad (\text{Khurmi et al., 2005})$$

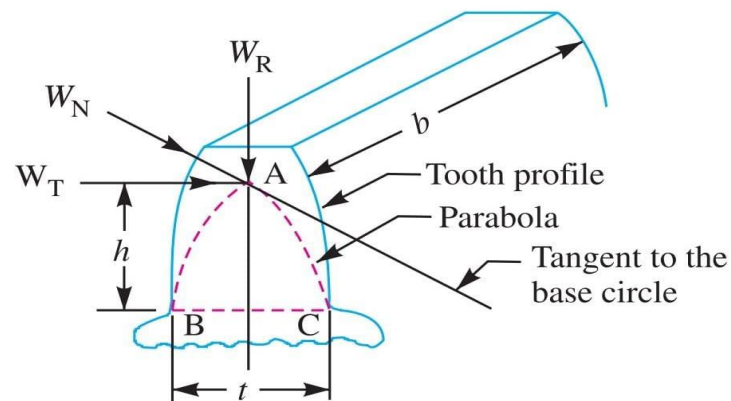
Dimana:  $W_T$  = Beban tangensial gigi yang diizinkan dalam (N)

$P$  = Daya yang ditransmisi (W)

$v$  = Kecepatan *pitch line* (m/s)

$C_s$  = Faktor *Service*

2. Menerapkan persamaan Lewis.



Gambar 2. 3 Beban Pada Roda Gigi (Khurmi et al., 2005)

$$W_T = \sigma_w \cdot b \cdot p_c \cdot y = \sigma_w \cdot b \cdot \pi \cdot m \cdot y$$

$$= (\sigma_0 \cdot C_v) b \cdot \pi \cdot m \cdot y \quad (\text{Khurmi et al., 2005})$$

Dimana:  $\sigma_w$  = Tegangan kerja yang diizinkan (Mpa)

$b$  = Lebar roda gigi (mm)

$y$  = Setengah dari ketebalan roda gigi (mm)

$m$  = modul roda gigi (mm)

$\sigma_0$  = Tegangan statis yang diizinkan (Mpa)

$C_v$  = Faktor kecepatan

3. Menghitung beban dinamis pada gigi dengan persamaan Buckingham.

$$W_D = W_T + W_I \quad (\text{Khurmi et al., 2005})$$

$$= W_T + \frac{21v(b \cdot C + W_T)}{21v + \sqrt{b \cdot C + W_T}}$$

- Dimana:  $W_D$  = Beban Dinamis total (N)  
 $W_T$  = Beban stabil transmisi (N)  
 $v$  = Kecepatan *pitch line* (m/s)  
 $b$  = Lebar roda gigi (mm)  
 $C$  = Faktor Dinamis (N/mm)

4. Menghitung beban statis menggunakan persamaan, untuk keamanan terhadap kerusakan  $W_s$  harus lebih besar dari  $W_d$ .

$$W_s = \sigma_e \cdot b \cdot p_c \cdot y = \sigma_e \cdot b \cdot \pi \cdot m \cdot y \quad (\text{Khurmi et al., 2005})$$

- Dimana:  $C$  = Faktor Dinamis (N/mm)  
 $\sigma_e$  = Tegangan batas elastis (Mpa)  
 $b$  = Lebar roda gigi (mm)  
 $y$  = Setengah dari ketebalan roda gigi (mm)  
 $m$  = modul roda gigi (mm)

5. Menghitung Torsi yang bekerja pada roda gigi.

$$T = \frac{(Hp \times 60)}{\Omega \times n}$$

- Dimana:  $Hp$  = Tenaga dari motor (watt)  
 $\Omega$  = Omega ( $2\pi$ )  
 $n$  = Kecepatan putaran mesin (Rpm)

### 2.1.7. Perhitungan *Von Mises Stress*

*Von Misses Stress* merupakan besarnya gaya pada suatu permukaan benda tiap satuan luas dengan satuan MPa. Pada hasil perhitungan manual dan perhitungan diperlukan nilai tegangan geser ( $\tau$ ) dan juga tegangan normal ( $\sigma$ ) dari hasil pembebanan yang diberikan pada rangka mesin pengering tepung tersebut. (Suryady. 2020) Maka dari hasil perhitungan teori didapatkan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\sigma_{\max} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + (\tau_{xy})^2} \quad (\text{Norton, 2010})$$

dimana :

- $\sigma_{\max}$  = Tegangan maksimal
- $\sigma_x$  = Tegangan normal sumbu x
- $\sigma_y$  = Tegangan normal sumbu y
- $\tau_{xy}$  = Tegangan geser pada sumbu x dan y

### 2.1.8. *Finite Element Analysis*

*Finite Element Analysis* (FEA) digunakan untuk desain yang dimodifikasi dan analisis komparatif yang dilakukan untuk memeriksa nilai tegangan dan *displacement* (Patil et al., 2016). FEA dikenal juga sebagai analisis elemen hingga atau metode elemen hingga. Cara kerja FEA adalah dengan memecah suatu objek struktur yang akan diuji menjadi elemen-elemen berhingga yang saling terhubung satu sama lain yang akan dikelola dengan perhitungan khusus oleh *software*. Pada aplikasi *solidworks* 2020, analisis dilakukan pada *stress analysis tools*. *Stress Analysis* merupakan alat pengujian struktur pada *Solidworks* dengan menerapkan konsep FEA.

### 2.1.9. *Optimasi Topologi Solidworks*

Analisa metode elemen hingga pada model roda gigi dilakukan menggunakan perangkat lunak *SolidWorks Simulation*. Jenis elemen yang dipakai dalam pemodelan menggunakan elemen *parabolic tetrahedral 3D solid*. Beban torsi pada model elemen hingga diaplikasikan pada area penghubung roda gigi dan poros sebesar 15,06 Nm.

Menu analisa *Topology Optimization* di *Solidworks Simulation* dilengkapi oleh fitur *Goal* yang dapat mengontrol tujuan optimasi dan fitur *Constrain* yang dapat mengatur batasan geometris yang mengendalikan formulasi matematika dari algoritma optimasi. Ketika opsi "*Best Stiffness to Weight ratio*" dipilih, algoritma optimasi akan berusaha untuk mengurangi volume global dari geometri model. Pada penelitian kali ini opsi "*Best Stiffness to Weight ratio*" dipilih dengan kriteria pengurangan 30 % dari berat model sesuai pengaturan bawaan perangkat lunak.

Proses optimasi dapat membuat tata letak geometri material yang memenuhi tujuan dan batasan optimasi yang telah ditetapkan. Pada perangkat lunak *SolidWorks* memiliki empat fitur kontrol manufaktur, yakni sebagai berikut:

- a) *Preserved Region Property Manager*, fitur ini dapat mengatur bagian mana saja dari suatu model yang dipertahankan atau tidak mengalami pengurangan.
- b) *De-mold Control Property Manager*, fitur ini dapat mendefinisikan control de-mold untuk memastikan bahwa desain yang telah dioptimasi dapat diproduksi dan dapat dilepas dari cetakan.
- c) *Symmetry Control Property Manager*, fitur ini dapat menjaga desain yang dioptimasi memiliki geometri yang simetris terhadap bidang tertentu.
- d) *Thicknes Control Property Manager*, fitur ini dapat menerapkan batasan ukuran pada bagian tertentu model yang di optimasi.

## **2.2. Kajian Pustaka**

Dalam penelitian skripsi dibutuhkan suatu penelitian terlebih dahulu untuk dijadikan sebuah landasan atau referensi untuk di observasi. Berikut ini merupakan beberapa landasan/referensi yang berkaitan. Terdapat 2 sub kajian pustaka yang membahas tentang desain perancangan roda gigi, dan analisa tegangan:

### **2.2.1. Perancangan desain roda gigi**

Menurut Alfin Arda Billy dan Jojo Sumarjo (2021) dalam penelitian yang berjudul Perancangan Transmisi Roda Gigi Mobil Daihatsu Granmax 1.3 2013. Penelitian bertujuan untuk memberikan pengetahuan tentang roda gigi, poros dan bantalan, transmisi yang di gunakan adalah transmitter pada mobil Daihatsu granmax tahun 2013. Penelitian ini dilakukan dengan melakukan perhitungan dan analisa terkait kebutuhan roda gigi dan memperhitungkan daya dan torsi dari mobil grandmax yang akan dibuat roda gigi nya, dengan melakukan pengambilan data dengan metode observasi dan pengamatan. Diukur dengan menggunakan mistar, jangka sorong. Dari penelitian ini didapat bahwa bahan untuk semua roda gigi adalah baja khrom SNC 3, bantalan poros yang digunakan adalah tipe SKF 6408ZZ (bantalan roda) dan dimensi poros yang aman untuk digunakan adalah 40 mm.



Menurut K Vigneshwaran, Dinesh Shanmugam dan C Balasuthagar (2020) dalam penelitian yang berjudul *Experimental and analytical stress analysis of spur gear*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan kemampuan tegangan lentur dan tegangan *bending* dari material roda gigi lama dan roda gigi yang baru. Dalam penelitian ini metode yang digunakan yakni dengan cara membandingkan kemampuan dari parameter yang diuji, antara material baru dan material yang sudah ada, yakni antara material C15 dan C45 pada roda gigi. Dari hasil penelitian ini didapat bahwa material baru menunjukkan tegangan bending yang berkurang dan dapat menangani beban yang lebih besar, karena baja C45 memiliki sifat mekanik yang lebih baik dari material lama (C15), Bahan baja C15 diganti dengan baja kelas C45 untuk meningkatkan masa pakai produk, dan meningkatkan efisiensi dengan mengurangi tegangan bending yang di induksi pada titik pasangan roda gigi.

### **2.2.2. Optimasi Topologi *SolidWorks***

Menurut Nurul Huda, Ocid Mursid dan Akhmad Nurfauzi. (2022) dalam penelitian yang berjudul Studi Optimasi Topologi Pada *Fall Block Deck Crane* Kapasitas 30 Ton Menggunakan Metode Elemen Hingga. Tujuan dari makalah ini difokuskan untuk mendapatkan desain *fall block* dengan berat yang ringan dengan mempertahankan kekakuan strukturnya. Optimasi topologi dilakukan menggunakan perangkat lunak *SolidWorks Simulation* yang berbasis metode elemen hingga, yang selanjutnya akan dapat dibandingkan perubahan berat desain awal dengan desain hasil optimasi serta perubahan tegangan sebelum dan sesudah dilakukan optimasi. Dari hasil penelitian ini didapat bahwa setelah dilakukan simulasi dinamis non linier menggunakan *SolidWorks Simulation* pada desain awal *Fall Block Deck Crane* diperoleh nilai tegangan *Von Mises* maksimum sebesar 26.55 MPa. Dari hasil optimasi topologi didapatkan penurunan massa sebesar 15.21 % dengan berat menjadi 338.54 kg. Selain itu tegangan *Von Mises* maksimum pada *fall block* turun 1.24% menjadi 26.22 MPa. Akibat dari turunya nilai tegangan tersebut membuat nilai *safety factor* meningkat 1.25 % dari desain awal menjadi 9.53 yang dapat dikatakan nilai tegangan yang terjadi di desain baru masih dinyatakan aman.

### 2.2.3. Analisa tegangan roda gigi

Menurut David Samuel, Mousa M.O dan Ahmed Nabhan. (2022) dalam penelitian yang berjudul *Stress Analysis of Gear Pair Faults Using FEM*. Tujuan dari makalah ini difokuskan untuk mempelajari tegangan yang ditimbulkan pada permukaan kontak pasangan roda gigi. Studi kasus roda gigi (dengan 75 gigi) dan pinion (dengan 25 gigi) dari baja Paduan dianalisis menggunakan persamaan teoritis *Von-Mises* menggunakan FEM (*Finite Element Method*) atau metode elemen hingga dalam kondisi statis menggunakan perangkat lunak *Solidworks*. Tekanan kontak antara keterlibatan pasangan gigi roda gigi berdampak pada kemampuan roda gigi untuk mentransmisikan daya. Dari hasil penelitian ini didapat bahwa analisis FEM (*Finite Element Method*) bisa memperkirakan tekanan kontak, distribusi tegangan sepanjang sayap roda gigi dapat dicapai dari simulasi. Tegangan maksimum berkurang dengan penambahan *contact width*, Puncak tegangan maksimum berada di akar gigi (dan akan bertambah seiring bertambahnya lebar kontak akibat poros mengalami *missalignment*).

Menurut Y. Martin dan A. Suwandi. (2020) dalam penelitian yang berjudul Analisis Simulasi Tegangan Roda Gigi Pada *Fishing Deck Machinery* Tipe Hidrolik. Tujuan dari penelitian untuk mendapatkan hasil analisis simulasi dari tegangan tarik roda gigi yang bekerja pada *fishing deck machinery* tipe hidrolik. Hasil dari analisis tersebut, nantinya digunakan sebagai acuan pemilihan dimensi dan material yang tepat untuk memaksimalkan fungsi dari alat tersebut sehingga dapat bergerak secara optimal. Penelitian ini dimulai dengan studi lapangan selanjutnya melakukan proses perhitungan untuk menentukan dimensi, tebal, serta material yang akan digunakan pada roda gigi. Setelah dilakukan perhitungan, maka langkah selanjutnya adalah *design* model 3D dengan bantuan *software*, yaitu *Solidworks*. Pada analisis tegangan roda gigi dilakukan dengan menggunakan *software Solidworks* dan dilanjutkan dengan melakukan tahapan simulasi. Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis yang telah dilakukan, maka dihasilkan kesimpulan bahwa Spesifikasi roda gigi jenis roda gigi yang digunakan roda gigi lurus, dengan nilai Torsi yaitu 3,9Nm, nilai Daya (P) yaitu 2,3 hp, Kecepatan (Np) yaitu 1500 putaran/menit, Jumlah Mata Gigi Penggerak (Z) yaitu 10mm, Jumlah

Mata Gigi (Z) yaitu 20mm, Diameter Roda Gigi (D) yaitu 200mm, Diameter Roda Gigi Penggerak (D) yaitu 100mm, Modul (M) yaitu 10mm, Pitch (P) yaitu 31,4mm, serta Koefisien Elastis yaitu sebesar 191 n/mm dan dengan penggunaan motor listrik yang memiliki torsi 3,9 Nm.

Menurut Hadi Susanto. (2017) dalam penelitian yang berjudul Analisis Tegangan Roda Gigi Miring Pada Transmisi Kendaraan Roda Empat Berdasarkan Agma dan Ansys. Penelitian ini bertujuan untuk meminimalkan kegagalan roda gigi dalam desain roda gigi heliks dan juga mengoptimalkan desain roda gigi heliks pada sistem transmisi kendaraan roda empat, dimana transmisi tenaga diperlukan pada saat berat beban dengan operasi halus dan tanpa suara. Penelitian ini menggunakan Metode analitik dan numerik yang digunakan untuk memprediksi besar tegangan lentur dan tegangan kontak pada gigi roda gigi miring dari sistem transmisi kendaraan roda empat. Tegangan lentur dihitung menggunakan metode AGMA, sesuai dengan persamaan kekuatan batang Lewis yang dimodifikasi dan pemodelan dengan metode elemen hingga ANSYS 14.5. Sedangkan tegangan kontak diperoleh berdasarkan persamaan tegangan kontak AGMA dan model roda gigi sesuai dengan ANSYS 14.5. Dari hasil penelitian menyatakan besar tegangan hasil perhitungan analitik dan numerik memiliki bentuk yang cenderung sama dan deviasi atau perbedaan yang kecil, dan semakin besar torsi yang digunakan maka semakin besar pula tegangan lentur dan tegangan kontak yang dihasilkan pada gigi roda gigi. Tegangan yang terjadi dapat melebihi kekuatan tarik material roda gigi baja paduan kromium JIS SCr-420, yaitu 1300 MPa. Hal tersebut dapat diprediksi terhadap kemungkinan terjadinya kegagalan pada roda gigi miring tersebut.