

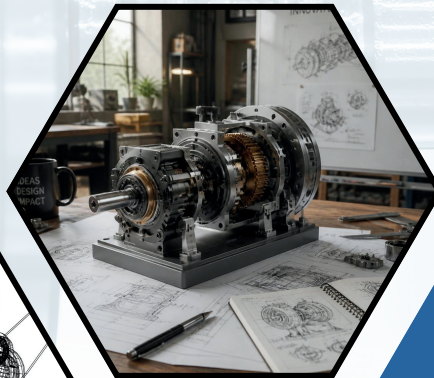
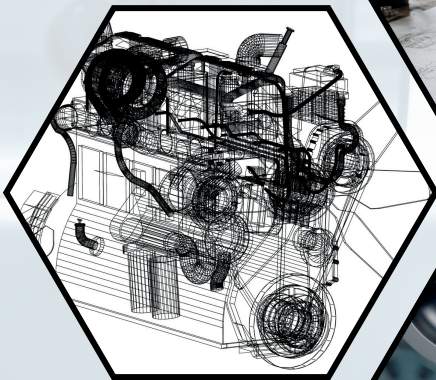
# **DASAR-DASAR PERANCANGAN MESIN**

**TIM PENULIS :**

Mazwan, S.Tr.T., M.T

Satrio Darma Utama, S.Tr.T., M.T

Ir. Hj. Hilda Porawati, M.T



# **DASAR-DASAR PERANCANGAN MESIN**

**Penulis:**

**Mazwan, S.Tr.T., M.T**

**Satrio Darma Utama, S.Tr.T., M.T**

**Ir. Hj. Hilda Porawati, M.T**



**GET PRESS INDONESIA**

# **DASAR-DASAR PERANCANGAN MESIN**

## **Penulis :**

Mazwan, S.Tr.T., M.T  
Satrio Darma Utama, S.Tr.T., M.T  
Ir. Hj. Hilda Porawati, M.T

**ISBN: 978-634-255-638-2**

**Editor :** Mila Sari, M.Si.

**Desain Sampul dan Tata Letak :** Dede Ahsani Aulia, ST.

**Penerbit :** GET PRESS INDONESIA

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

## **Redaksi :**

Jl. Palarik RT 01 RW 06, Kelurahan Air Pacah  
Kecamatan Koto Tengah, Padang, Sumatera Barat

Website : [www.getpress.co.id](http://www.getpress.co.id)

Email : [adm.getpress@gmail.com](mailto:adm.getpress@gmail.com)

Cetakan pertama, Agustus 2026

Hak cipta dilindungi undang-undang  
Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk  
dan dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa karena atas rahmat dan karunia-Nya, buku referensi berjudul “Dasar-Dasar Perancangan Mesin” ini dapat disusun sebagai salah satu sumber rujukan dalam bidang teknik mesin, khususnya pada aspek perancangan komponen dan sistem mekanik.

Perancangan mesin merupakan bidang yang memadukan berbagai disiplin ilmu, seperti mekanika teknik, kekuatan material, elemen mesin, material teknik, proses manufaktur, gambar teknik, keselamatan kerja, perawatan, serta evaluasi kinerja mesin. Dalam praktiknya, seorang perancang mesin tidak hanya dituntut mampu menentukan bentuk dan ukuran komponen, tetapi juga harus mempertimbangkan kekuatan, keamanan, efisiensi, kemudahan manufaktur, biaya produksi, umur pakai, serta kemudahan perawatan. Oleh karena itu, pemahaman yang sistematis mengenai dasar-dasar perancangan mesin menjadi sangat penting bagi mahasiswa, dosen, peneliti, praktisi industri, maupun teknisi yang terlibat dalam kegiatan rekayasa dan manufaktur.

Buku referensi ini disusun untuk memberikan landasan konseptual dan teknis mengenai proses perancangan mesin. Pembahasan di dalamnya mencakup pendahuluan perancangan mesin, dasar-dasar mekanika, material teknik, sambungan mesin, poros, bantalan, transmisi daya, rangka mesin, motor penggerak, sistem kelistrikan dasar, gambar teknik dan CAD, manufaktur komponen mesin, serta keselamatan, perawatan, dan evaluasi kinerja mesin. Materi disajikan dengan pendekatan aplikatif agar dapat digunakan sebagai rujukan dalam memahami prinsip desain dan penerapannya pada berbagai komponen serta sistem mesin.

Sebagai buku referensi, penyusunan buku ini diarahkan untuk mendukung kebutuhan pembaca dalam memperoleh informasi teknis yang ringkas, terstruktur, dan relevan dengan praktik perancangan mesin. Beberapa bagian dilengkapi dengan rumus dasar, tabel, gambar ilustrasi, contoh penerapan, serta rujukan teknis yang dapat memperkuat pemahaman pembaca terhadap konsep yang dibahas. Dengan demikian, buku ini



diharapkan dapat menjadi acuan dalam kegiatan akademik, penelitian terapan, perancangan alat, penyusunan tugas akhir, maupun pengembangan mesin sederhana hingga mesin produksi.

Penulis menyadari bahwa buku ini masih memiliki keterbatasan, baik dari segi cakupan materi, kedalaman pembahasan, maupun penyajian contoh aplikasi. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan untuk penyempurnaan edisi berikutnya. Semoga buku “Dasar-Dasar Perancangan Mesin” ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan berkontribusi dalam pengembangan pengetahuan serta keterampilan di bidang perancangan mesin.

Jambi, 1 Juni 2026

Penulis

## DAFTAR ISI

|                                                 |           |
|-------------------------------------------------|-----------|
| <b>KATA PENGANTAR .....</b>                     | <b>i</b>  |
| <b>DAFTAR ISI.....</b>                          | <b>ii</b> |
| <b>DAFTAR GAMBAR .....</b>                      | <b>v</b>  |
| <b>DAFTAR TABEL.....</b>                        | <b>vi</b> |
| <b>BAB 1 PENDAHULUAN PERANCANGAN MESIN.....</b> | <b>1</b>  |
| 1.1 Pengertian Perancangan Mesin .....          | 1         |
| 1.2 Ruang Lingkup Perancangan Mesin.....        | 2         |
| 1.3 Tujuan Perancangan Mesin .....              | 2         |
| 1.4 Tahapan Umum Perancangan Mesin .....        | 3         |
| 1.5 Peran Standar dalam Perancangan Mesin.....  | 4         |
| <b>BAB 2 DASAR-DASAR MEKANIKA DALAM</b>         |           |
| <b>PERANCANGAN MESIN .....</b>                  | <b>5</b>  |
| 2.1 Gaya dan Momen .....                        | 5         |
| 2.2 Tegangan dan Regangan.....                  | 10        |
| 2.3 Beban pada Komponen Mesin.....              | 14        |
| 2.4 Diagram Benda Bebas .....                   | 17        |
| 2.5 Faktor Keamanan .....                       | 18        |
| <b>BAB 3 MATERIAL TEKNIK UNTUK PERANCANGAN</b>  |           |
| <b>MESIN.....</b>                               | <b>21</b> |
| 3.1 Klasifikasi Material Teknik .....           | 21        |
| 3.2 Sifat Mekanik Material.....                 | 22        |
| 3.3 Baja Karbon dan Baja Paduan .....           | 25        |
| 3.4 Baja Karbon dan Baja Paduan .....           | 28        |
| 3.5 Pemilihan Material.....                     | 29        |
| 3.6 Perlakuan Panas dan Pengaruhnya.....        | 32        |
| <b>BAB 4 PERANCANGAN SAMBUNGAN MESIN.....</b>   | <b>35</b> |
| 4.1 Fungsi Sambungan dalam Mesin .....          | 36        |
| 4.2 Sambungan Baut dan Mur.....                 | 37        |
| 4.3 Sambungan Las.....                          | 39        |
| 4.4 Sambungan Paku Keling .....                 | 43        |
| 4.5 Sambungan Pasak.....                        | 45        |

|                                              |            |
|----------------------------------------------|------------|
| 4.6 Pemilihan Jenis Sambungan.....           | 48         |
| <b>BAB 5 PERANCANGAN POROS.....</b>          | <b>51</b>  |
| 5.1 Pengertian dan Fungsi Poros.....         | 51         |
| 5.2 Jenis-Jenis Poros .....                  | 52         |
| 5.3 Beban pada Poros.....                    | 53         |
| 5.4 Perhitungan Diameter Poros .....         | 58         |
| 5.5 Konsentrasi Tegangan pada Poros.....     | 61         |
| 5.6 Pemilihan Material Poros.....            | 62         |
| <b>BAB 6 PERANCANGAN BANTALAN .....</b>      | <b>65</b>  |
| 6.1 Fungsi Bantalan.....                     | 65         |
| 6.2 Jenis-Jenis Bantalan.....                | 67         |
| 6.3 Beban pada Bantalan .....                | 73         |
| 6.4 Umur Bantalan.....                       | 76         |
| 6.5 Pelumasan Bantalan.....                  | 79         |
| <b>BAB 7 PERANCANGAN TRANSMISI DAYA.....</b> | <b>83</b>  |
| 7.1 Pengertian Transmisi Daya .....          | 83         |
| 7.2 Sabuk dan <i>Pulley</i> .....            | 85         |
| 7.3 Rantai dan Sprocket .....                | 91         |
| 7.4 Roda Gigi .....                          | 94         |
| 7.5 Kopling.....                             | 99         |
| 7.6 Pemilihan Sistem Transmisi .....         | 105        |
| <b>BAB 8 MOTOR PENGGERAK DAN SISTEM</b>      |            |
| <b>KELISTRIKAN DASAR.....</b>                | <b>107</b> |
| 8.1 Jenis Motor Penggerak .....              | 107        |
| 8.2 Daya dan Torsi Motor .....               | 111        |
| 8.3 Pemilihan Motor .....                    | 113        |
| 8.4 Sistem Kontrol Dasar .....               | 115        |
| 8.5 Keselamatan Kelistrikan.....             | 117        |
| <b>BAB 9 GAMBAR TEKNIK DAN CAD DALAM</b>     |            |
| <b>PERANCANGAN MESIN .....</b>               | <b>121</b> |
| 9.1 Fungsi Gambar Teknik .....               | 121        |
| 9.2 Jenis Gambar Teknik .....                | 122        |
| 9.3 Jenis Gambar Teknik .....                | 128        |

|                                               |            |
|-----------------------------------------------|------------|
| 9.4 <i>Bill of Material</i> .....             | 131        |
| <b>BAB 10 MANUFAKTUR KOMPONEN MESIN .....</b> | <b>135</b> |
| 10.1 Proses Pemesinan.....                    | 135        |
| 10.2 Proses Pengelasan .....                  | 140        |
| 10.3 Proses Pembentukan Plat.....             | 142        |
| 10.4 Proses Perakitan Mesin .....             | 147        |
| 10.5 Toleransi dan Suaian .....               | 149        |
| <b>BAB 11 KESELAMATAN, PERAWATAN, DAN</b>     |            |
| <b>EVALUASI KINERJA MESIN .....</b>           | <b>151</b> |
| 11.1 Keselamatan Kerja Mesin .....            | 151        |
| 11.2 Risiko dalam Pengoperasian Mesin.....    | 153        |
| 11.3 Perawatan Preventif.....                 | 155        |
| 11.4 Perawatan Korektif .....                 | 157        |
| 11.5 Pengujian Kinerja Mesin .....            | 158        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>                    | <b>164</b> |
| <b>BIODATA PENULIS</b>                        |            |

## DAFTAR GAMBAR

|              |                                                                                                    |    |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2. 1. | Ilustrasi Resultan Gaya, Momen Pada Tuas, Dan Torsi Pada Poros.....                                | 9  |
| Gambar 2. 2. | Grafik Hubungan Tegangan–Regangan Pada Material Ulet yang Umum Digunakan Dalam Komponen Mesin..... | 13 |
| Gambar 2. 3. | Skema Beberapa Jenis Beban yang Umum Dijumpai Pada Komponen Mesin ..                               | 14 |
| Gambar 2. 4. | Contoh Diagram Benda Bebas Poros yang Ditumpu Dua Bantalan dan Menerima Gaya Terpusat. ....        | 18 |
| Gambar 3. 1. | Klasifikasi Umum Material Teknik.....                                                              | 22 |
| Gambar 3. 2. | Perbandingan Kurva Tegangan-Regangan Beberapa Material Teknik.....                                 | 23 |
| Gambar 3. 3. | Perbandingan Kekuatan Tarik Beberapa Material Teknik.....                                          | 26 |
| Gambar 3. 4. | Ilustrasi Siklus Perlakuan Panas Pada Baja.....                                                    | 33 |
| Gambar 4. 1. | Klasifikasi Umum Sambungan Dalam Konstruksi Mesin.....                                             | 36 |
| Gambar 4. 2. | Skema Sambungan Baut dan Mur Pada Dua Plat Yang Menerima Gaya Geser.....                           | 38 |
| Gambar 4. 3. | Contoh Jenis Baut dan Penggunaannya .....                                                          | 39 |
| Gambar 4. 4. | Contoh Geometri Sambungan Las yang Umum Digunakan Dalam Konstruksi Mesin.....                      | 41 |
| Gambar 4. 5. | Informasi yang Umum Ditunjukkan Oleh Simbol Las.....                                               | 42 |
| Gambar 4. 6. | Skema Sambungan Paku Keling Pada Plat Tumpang .....                                                | 44 |
| Gambar 4. 7. | Ilustrasi Pasak Sebagai Penghubung Poros Dan <i>Hub Pulley</i> . ....                              | 46 |
| Gambar 4. 8. | Jenis Pasak dan Karakteristiknya.....                                                              | 47 |

|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 4. 9. Alur Pertimbangan Pemilihan Jenis Sambungan Pada Perancangan Mesin..... | 49 |
| Gambar 5. 1. Fungsi Poros Dalam Sistem Transmisi Daya.....                           | 52 |
| Gambar 5. 2. Ilustrasi Beberapa Jenis Poros Berdasarkan Fungsi Mekaniknya.....       | 53 |
| Gambar 5. 3. Ilustrasi Beban Torsi, Radial, Aksial, dan Lentur Pada Poros.....       | 54 |
| Gambar 5. 4. Hubungan Putaran dan Torsi Pada Daya Tetap.....                         | 55 |
| Gambar 5. 5. Beberapa Sumber Konsentrasi Tegangan Pada Poros.....                    | 61 |
| Gambar 5. 6. Perbandingan Sederhana Karakter Beberapa Material Poros.....            | 62 |
| Gambar 6. 1. Fungsi Bantalan Dalam Menopang Poros dan Mengurangi Gesekan.....        | 66 |
| Gambar 6. 2. Bantalan Luncur/ <i>Sliding Bearing</i> .....                           | 68 |
| Gambar 6. 3. Bantalan Gelinding/ <i>Rolling Bearing</i> .....                        | 69 |
| Gambar 6. 4. <i>Ball Bearing</i> .....                                               | 71 |
| Gambar 6. 5. <i>Roller Bearing</i> .....                                             | 72 |
| Gambar 6. 6. <i>Pillow Block Bearing</i> .....                                       | 73 |
| Gambar 6. 7. Beban Radial Pada <i>Bearing</i> .....                                  | 74 |
| Gambar 6. 8. Beban Aksial Pada <i>Bearing</i> .....                                  | 75 |
| Gambar 6. 9. Beban Kombinasi Pada <i>Bearing</i> .....                               | 75 |
| Gambar 6. 10. Hubungan Beban Ekuivalen Relatif Terhadap Umur Bantalan.....           | 78 |
| Gambar 6. 11. Prinsip Lapisan Pelumas Sebagai Pemisah Permukaan Kontak.....          | 80 |
| Gambar 7. 1. Prinsip Rasio Putaran Pada Sistem Sabuk dan Pulley .....                | 85 |
| Gambar 7. 2. Jenis-Jenis Sabuk .....                                                 | 86 |
| Gambar 7. 3. Transmisi Rantai dan Sprocket.....                                      | 93 |
| Gambar 7. 4. Jenis Roda Gigi yang Umum Digunakan Dalam Transmisi Daya.....           | 95 |

|                                                                                                                                      |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Gambar 7. 5. Fungsi Kopling Dalam Menghubungkan Dua Poros Transmisi. ....                                                            | 100 |
| Gambar 7. 6. Jenis-Jenis Kopling yang Umum Digunakan Pada Sistem Transmisi Daya...                                                   | 102 |
| Gambar 7. 7. Ilustrasi Perbandingan Awal Alternatif Sistem Transmisi Berdasarkan Beberapa Kriteria Desain. ....                      | 106 |
| Gambar 8. 1. Jenis Motor Penggerak yang Umum Digunakan Pada Perancangan Mesin.....                                                   | 108 |
| Gambar 8. 2. Hubungan Antara Daya, Torsi, dan Putaran Pada Daya Tetap. ....                                                          | 111 |
| Gambar 8. 3. Prinsip Dasar Keselamatan Kelistrikan Pada Mesin.....                                                                   | 118 |
| Gambar 9. 1. Contoh Gambar Sketsa.....                                                                                               | 124 |
| Gambar 9. 2. Contoh Gambar 2D .....                                                                                                  | 125 |
| Gambar 9. 3. Contoh Gambar 3D .....                                                                                                  | 126 |
| Gambar 9. 4. Contoh Gambar <i>Assembly</i> .....                                                                                     | 127 |
| Gambar 9. 5. Contoh Gambar <i>Detail</i> , dan <i>Exploded View</i> .....                                                            | 127 |
| Gambar 9. 6. Prinsip Tampak Ortografis.....                                                                                          | 128 |
| Gambar 9. 7. Proyeksi Gambar.....                                                                                                    | 129 |
| Gambar 9. 8. Beberapa Jenis Garis Dalam Gambar Teknik.....                                                                           | 130 |
| Gambar 9. 9. Hubungan Antara Gambar <i>Assembly</i> , Nomor Item, dan <i>Bill of Material</i> .....                                  | 132 |
| Gambar 10. 1. Ilustrasi Proses Bubut.....                                                                                            | 136 |
| Gambar 10. 2. Ilustrasi Proses Frais.....                                                                                            | 138 |
| Gambar 10. 3. Ilustrasi Proses Pengeboran.....                                                                                       | 139 |
| Gambar 10. 4. Ilustrasi Proses <i>Bending</i> .....                                                                                  | 143 |
| Gambar 10. 5. Ilustrasi Proses <i>Shearing</i> .....                                                                                 | 145 |
| Gambar 10. 6. Ilustrasi Proses <i>Punching</i> .....                                                                                 | 146 |
| Gambar 10. 7. Ilustrasi Kondisi Poros Selaras, Ketidakselarasan Paralel, dan Ketidakselarasan Angular pada Sistem Poros-Kopling..... | 148 |

|                                                                     |     |
|---------------------------------------------------------------------|-----|
| Gambar 11. 1. Lambang Bahaya Umum pada<br>Pengoperasian Mesin ..... | 154 |
|---------------------------------------------------------------------|-----|



## DAFTAR TABEL

|              |                                                                                  |     |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabel 2. 1.  | Besaran Dasar Gaya dan Momen Dalam Perancangan Mesin.....                        | 9   |
| Tabel 2. 2.  | Jenis Tegangan yang Umum Dijumpai Pada Komponen Mesin.....                       | 10  |
| Tabel 3. 1.  | Sifat Mekanik Material dan Pengaruhnya dalam Perancangan Mesin .....             | 24  |
| Tabel 3. 2.  | Klasifikasi Baja Karbon dan Baja Paduan dalam Perancangan Mesin .....            | 27  |
| Tabel 3. 3.  | Perbandingan Karakteristik Besi Cor, Aluminium, dan <i>Stainless Steel</i> ..... | 29  |
| Tabel 3. 4.  | Kriteria Pemilihan Material dalam Perancangan Mesin.....                         | 30  |
| Tabel 3. 5.  | Proses Perlakuan Panas dan Pengaruhnya terhadap Sifat Material.....              | 34  |
| Tabel 4. 1.  | Fungsi Utama Sambungan Dalam Perancangan Mesin.....                              | 37  |
| Tabel 4. 2.  | Mode Kegagalan Sambungan Paku Keling..                                           | 45  |
| Tabel 4. 3.  | Kriteria Pemilihan Sambungan Berdasarkan Kondisi Desain .....                    | 50  |
| Tabel 5. 1.  | Sumber Beban Pada Poros.....                                                     | 57  |
| Tabel 5. 2.  | Material Umum Untuk Poros .....                                                  | 63  |
| Tabel 6. 1.  | Fungsi Utama Bantalan Dalam Sistem Mesin.....                                    | 66  |
| Tabel 6. 2.  | Faktor yang Memengaruhi Umur Bantalan.....                                       | 78  |
| Tabel 7. 1.  | Fungsi Sistem Transmisi Daya Dalam Perancangan Mesin.....                        | 84  |
| Tabel 7. 2.  | Perbandingan Jenis Sabuk Transmisi.....                                          | 87  |
| Tabel 7. 3.  | Perbandingan Jenis Kopling dalam Sistem Transmisi Daya.....                      | 102 |
| Tabel 8. 1.  | Perbandingan Jenis Motor Penggerak.....                                          | 110 |
| Tabel 9. 1.  | Jenis Gambar Teknik dan Penggunaannya..                                          | 123 |
| Tabel 10. 1. | Perbandingan Proses Pengelasan .....                                             | 141 |

|                                                                                 |     |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabel 11. 1. Komponen Keselamatan Pada Mesin.....                               | 153 |
| Tabel 11. 2. Risiko Utama Dalam Pengoperasian<br>Mesin dan Pengendaliannya..... | 154 |
| Tabel 11. 3. Contoh Jadwal Perawatan Preventif<br>Mesin.....                    | 156 |
| Tabel 11. 4. Gejala Kerusakan dan Kemungkinan<br>Penyebab.....                  | 158 |
| Tabel 11. 5. Parameter Pengujian Kinerja Mesin .....                            | 161 |



# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN PERANCANGAN MESIN**

### **1.1 Pengertian Perancangan Mesin**

Perancangan mesin merupakan proses sistematis untuk menghasilkan komponen, mekanisme, atau sistem mekanik yang mampu menjalankan fungsi tertentu berdasarkan kebutuhan pengguna dan batasan teknis. Proses ini mencakup identifikasi masalah, perumusan fungsi, analisis gaya dan gerak, perhitungan kekuatan, pemilihan material, pemilihan elemen mesin, penyusunan gambar teknik, serta evaluasi aspek manufaktur, biaya, keselamatan, dan perawatan. Dalam literatur desain mesin modern, rancangan tidak hanya dinilai dari kemampuan komponen untuk bekerja, tetapi juga dari keandalan, efisiensi, kemudahan produksi, kemudahan perakitan, dan pengendalian risiko selama masa pakai mesin (Budynas & Nisbett, 2015; Mott *et al.*, 2018).

Perancangan mesin bersifat iteratif. Rancangan awal dapat mengalami perubahan setelah dilakukan analisis, simulasi, pembuatan prototipe, pengujian, atau evaluasi pengguna. Iterasi diperlukan karena keputusan desain sering melibatkan kompromi antara kekuatan, bobot, biaya, ketersediaan material, kemampuan proses manufaktur, dan keselamatan. Pendekatan desain modern juga semakin menekankan integrasi antara desain, manufaktur, perakitan, dan keandalan melalui konsep *design for manufacturing and assembly* serta *design for reliability* (Juniani & Singgih, 2022).

## **1.2 Ruang Lingkup Perancangan Mesin**

Ruang lingkup perancangan mesin meliputi seluruh aktivitas teknis yang diperlukan untuk merancang, memilih, mengintegrasikan, memproduksi, menguji, dan mengevaluasi komponen atau sistem mekanik. Di dalam satu mesin, komponen seperti poros, bantalan, sambungan, sistem transmisi, rangka, elemen kerja, motor penggerak, sistem kontrol, dan pelindung keselamatan harus dirancang sebagai satu kesatuan. Kegagalan satu komponen dapat memengaruhi keseluruhan performa mesin, misalnya poros yang terlalu kecil dapat patah, bantalan yang tidak sesuai dapat cepat panas, rangka yang kurang kaku dapat menimbulkan getaran, dan transmisi yang tidak sejajar dapat mempercepat kerusakan sabuk atau rantai (Juvinall & Marshek, 2017).

Dalam praktik perancangan, ruang lingkup tersebut mencakup analisis beban dan tegangan, pemilihan material, perhitungan elemen mesin, penentuan sistem transmisi daya, perancangan sambungan, perancangan rangka, penyusunan gambar kerja, pemilihan komponen standar, estimasi biaya, pengujian kinerja, dan dokumentasi teknis. Perkembangan CAD, CAE, pemodelan digital, dan prototyping juga memperluas ruang lingkup perancangan karena desainer dapat memeriksa bentuk, perakitan, interferensi, dan respons mekanik sebelum komponen diproduksi (Erichse *et al.*, n.d.; Poh *et al.*, 2022).

## **1.3 Tujuan Perancangan Mesin**

Tujuan utama perancangan mesin adalah menghasilkan sistem mekanik yang mampu bekerja sesuai fungsi dengan aman, andal, efisien, ekonomis, dan dapat dibuat menggunakan proses manufaktur yang tersedia. Kekuatan dan kekakuan diperlukan agar komponen tidak patah atau mengalami deformasi berlebihan. Efisiensi diperlukan agar energi yang digunakan sebanding dengan kapasitas dan fungsi kerja mesin. Kemudahan manufaktur dan perakitan diperlukan agar rancangan dapat diwujudkan secara realistis, sedangkan kemudahan perawatan

diperlukan agar umur pakai mesin dapat dipertahankan (Mott *et al.*, 2018).

Keselamatan merupakan tujuan yang harus dipertimbangkan sejak tahap awal desain. Mesin memiliki potensi bahaya berupa bagian berputar, titik jepit, bagian tajam, permukaan panas, kebisingan, getaran, dan risiko kelistrikan. Oleh karena itu, desain mesin harus memasukkan prinsip pengurangan risiko melalui pelindung komponen bergerak, emergency stop, tata letak yang aman, prosedur operasi, dan pemilihan sistem kontrol yang sesuai. Prinsip umum keselamatan mesin menekankan bahwa risiko sebaiknya dikurangi sejak tahap desain, bukan hanya melalui instruksi penggunaan setelah mesin selesai dibuat.

## **1.4 Tahapan Umum Perancangan Mesin**

Tahapan umum perancangan mesin dimulai dari identifikasi kebutuhan. Pada tahap ini, perancang mengumpulkan informasi mengenai masalah pengguna, kapasitas yang diharapkan, kondisi operasi, karakteristik material yang diproses, sumber energi, keterampilan operator, dan batasan biaya. Tahap berikutnya adalah studi literatur dan survei desain sejenis untuk memperoleh dasar teori, standar, metode perhitungan, data pembanding, serta informasi teknis dari katalog komponen atau mesin yang telah.

Setelah kebutuhan dirumuskan, perancang menyusun spesifikasi teknis, mengembangkan beberapa alternatif konsep, melakukan perhitungan desain, memilih material dan komponen standar, kemudian menyusun gambar teknik dan bill of material. Rancangan yang telah memenuhi kriteria awal dapat diwujudkan dalam bentuk prototipe untuk diuji. Pengujian dilakukan terhadap kapasitas, konsumsi daya, kualitas hasil, getaran, kebisingan, temperatur, keamanan, dan kemudahan operasi. Hasil pengujian menjadi dasar evaluasi dan perbaikan desain. Dalam pengembangan produk mekanik, prototyping memiliki peran penting karena memungkinkan perancang memperoleh

umpan balik fisik terhadap konsep yang sebelumnya hanya dianalisis secara teoritis atau digital (Juniani & Singgih, 2022).

## **1.5 Peran Standar dalam Perancangan Mesin**

Standar teknik berperan sebagai rujukan untuk menjaga keseragaman, keselamatan, keterukuran, dan mutu hasil perancangan. Standar membantu perancang, teknisi manufaktur, pemeriksa kualitas, dan pengguna memahami dokumen teknis dengan cara yang sama. Dalam perancangan mesin, standar digunakan pada gambar teknik, toleransi, material, metode pengujian, keselamatan mesin, sistem kontrol, dokumentasi mutu, dan spesifikasi komponen. ISO 128-1:2020, misalnya, memberikan prinsip umum representasi dalam dokumentasi produk teknis, sedangkan ASME Y14.5-2018 menjadi salah satu acuan penting untuk geometric dimensioning and tolerancing atau GD&T.

Standar keselamatan dan sistem mutu juga penting dalam perancangan mesin. ISO 12100 memberikan prinsip penilaian dan pengurangan risiko pada mesin, ISO 13850 membahas fungsi emergency stop, dan ISO 9001 memberikan kerangka sistem manajemen mutu yang dapat mendukung konsistensi proses desain dan produksi. Penerapan standar membuat dokumen rancangan lebih mudah diproduksi, diperiksa, direplikasi, dan dikembangkan kembali. Dengan demikian, standar bukan sekadar persyaratan administratif, tetapi bagian dari mekanisme teknis untuk meningkatkan keselamatan, mutu, efisiensi, dan keandalan rancangan mesin.

## BAB 2

# DASAR-DASAR MEKANIKA DALAM PERANCANGAN MESIN

Mekanika merupakan fondasi utama dalam perancangan mesin karena hampir seluruh komponen mekanik bekerja dengan menerima, meneruskan, menahan, atau mengubah gaya dan gerak. Poros meneruskan torsi, rangka menahan beban, sambungan menerima gaya tarik atau geser, bantalan menopang gaya radial dan aksial, sedangkan elemen kerja seperti pisau, screw, roller, dan impeller bekerja melalui interaksi langsung dengan material proses. Oleh sebab itu, pemahaman mengenai gaya, momen, tegangan, regangan, jenis beban, diagram benda bebas, dan faktor keamanan menjadi prasyarat penting sebelum melakukan perhitungan dimensi komponen mesin.

Bab ini membahas prinsip dasar mekanika yang digunakan dalam perancangan mesin secara aplikatif. Uraian disusun untuk memberikan dasar konseptual sekaligus landasan perhitungan awal yang lazim digunakan pada tahap desain pendahuluan. Dalam praktik profesional, hasil perhitungan dasar perlu dilengkapi dengan verifikasi lebih lanjut melalui standar perancangan, data material, analisis elemen hingga, pengujian prototipe, serta evaluasi kondisi operasi aktual.

### 2.1 Gaya dan Momen

#### 2.1.1 Konsep Gaya

Gaya adalah aksi mekanik yang dapat menyebabkan suatu benda mengalami perubahan gerak, perubahan bentuk, atau keduanya. Dalam sistem satuan internasional, gaya dinyatakan dalam newton (N). Satu newton didefinisikan sebagai gaya yang diperlukan untuk memberikan percepatan  $1 \text{ m/s}^2$  pada massa 1 kg. Dalam perancangan mesin, gaya dapat berasal dari berat



komponen, beban kerja, gaya pemotongan, gaya tekan, gaya gesek, gaya sabuk, gaya rantai, gaya pegas, gaya fluida, maupun gaya akibat tumbukan.

Gaya merupakan besaran vektor sehingga memiliki besar, arah, dan titik kerja. Ketiga karakteristik ini sangat penting dalam analisis mekanik. Dua gaya dengan besar yang sama dapat menghasilkan efek yang berbeda apabila arah atau titik kerjanya berbeda. Sebagai contoh, gaya yang bekerja tepat pada pusat massa suatu komponen cenderung menghasilkan gerak translasi, sedangkan gaya yang bekerja dengan jarak tertentu dari titik tumpu dapat menghasilkan momen yang menyebabkan benda berputar.

Dalam desain mesin, kesalahan dalam mengidentifikasi gaya kerja dapat menyebabkan dimensi komponen terlalu kecil, deformasi berlebihan, getaran, kegagalan sambungan, atau kerusakan dini. Oleh karena itu, setiap proses desain perlu diawali dengan identifikasi sumber beban dan arah kerja gaya secara jelas. Persamaan dasar gaya berdasarkan hukum II Newton:

$$F = m \times a$$

Dengan:

F = gaya (N)

M = massa (kg)

a = percepatan (m/s<sup>2</sup>)

### 2.1.2 Resultan Gaya

Pada suatu komponen mesin, sering kali terdapat lebih dari satu gaya yang bekerja secara bersamaan. Resultan gaya adalah gaya tunggal ekuivalen yang mewakili pengaruh gabungan dari beberapa gaya. Untuk sistem gaya segaris, resultan gaya diperoleh dengan menjumlahkan gaya-gaya yang searah dan mengurangi gaya-gaya yang berlawanan arah. Untuk sistem gaya dua dimensi, gaya perlu diuraikan ke dalam komponen horizontal dan vertikal.

Analisis resultan gaya digunakan pada berbagai kasus, seperti menentukan reaksi tumpuan poros, gaya pada baut, gaya

pada rangka, gaya pada pulley, serta gaya pada komponen mekanisme. Dalam sistem yang berada dalam keadaan seimbang statis, jumlah gaya pada setiap arah harus sama dengan nol.

$$\sum F_x = 0$$
$$\sum F_y = 0$$

Dengan:

$F_x$  = komponen gaya horizontal

$F_y$  = komponen gaya vertikal

### 2.1.3 Momen dan Torsi

Momen adalah kecenderungan suatu gaya untuk memutar benda terhadap titik atau sumbu tertentu. Besarnya momen bergantung pada besar gaya dan jarak tegak lurus antara garis kerja gaya dengan titik atau sumbu putar. Dalam satuan internasional, momen dinyatakan dalam newton meter (N.m).

Dalam perancangan mesin, momen muncul pada berbagai komponen, antara lain lengan tuas, rangka, dudukan motor, poros, dan sambungan. Jika momen bekerja terhadap sumbu memanjang poros sehingga menyebabkan puntiran, momen tersebut disebut torsi. Torsi merupakan besaran kunci dalam perancangan poros, kopling, pulley, gear, screw press, screw conveyor, dan elemen transmisi daya lainnya.

Perbedaan konseptual antara momen lentur dan torsi perlu dipahami dengan jelas. Momen lentur menyebabkan komponen cenderung melengkung, sedangkan torsi menyebabkan komponen cenderung terpuntir. Pada banyak komponen mesin, keduanya dapat terjadi secara bersamaan sehingga perancangan harus mempertimbangkan kombinasi tegangan akibat lentur dan puntir. Persamaan dasar momen:

$$M = F \times L$$

Dengan:

M = momen (N.m)

F = gaya (N)

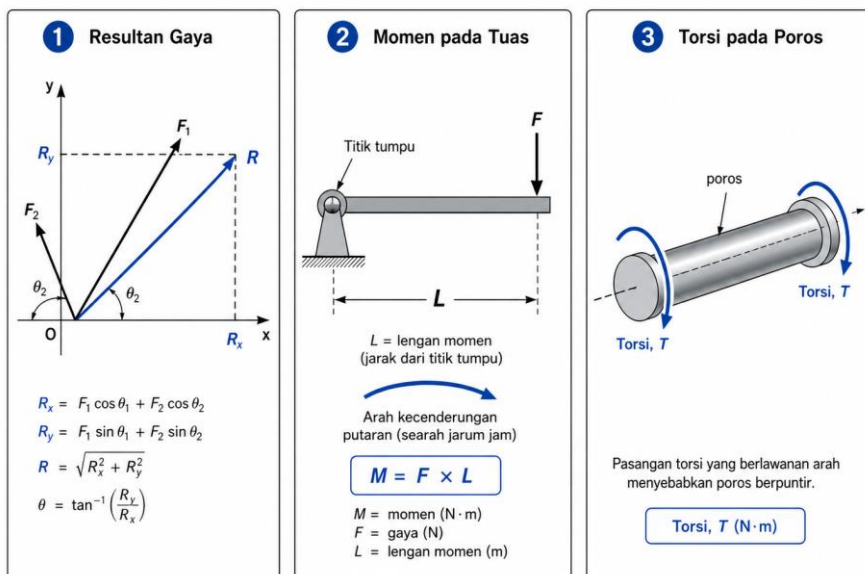
L = lengan momen atau jarak tegak lurus (m)

#### 2.1.4 Keseimbangan Statis

Keseimbangan statis adalah kondisi ketika suatu benda tidak mengalami percepatan translasi maupun rotasi. Dalam kondisi ini, jumlah gaya pada setiap arah sama dengan nol dan jumlah momen terhadap titik acuan juga sama dengan nol. Prinsip keseimbangan statis banyak digunakan dalam analisis awal rangka mesin, poros yang ditumpu bantalan, dudukan motor, konstruksi penekan, dan mekanisme pengungkit.

Pada desain mesin sederhana, keseimbangan statis digunakan untuk menghitung reaksi tumpuan. Misalnya, poros yang ditopang dua bantalan dan menerima gaya dari pulley dapat dianalisis sebagai balok sederhana dengan beban terpusat. Hasil analisis berupa gaya reaksi pada masing-masing bantalan menjadi dasar untuk memilih bantalan dan menghitung tegangan lentur pada poros. Syarat keseimbangan statis bidang:

$$\begin{aligned}\sum F_x &= 0 \\ \sum y &= 0 \\ \sum M &= 0\end{aligned}$$



Gambar 2. 1. Ilustrasi Resultan Gaya, Momen Pada Tuas, Dan Torsi Pada Poros.

Tabel 2. 1. Besaran Dasar Gaya dan Momen Dalam Perancangan Mesin

| Besaran    | Simbol | Satuan  | Keterangan                                                       |
|------------|--------|---------|------------------------------------------------------------------|
| Gaya       | F      | N       | Aksi mekanik yang dapat menyebabkan perubahan gerak atau bentuk. |
| Massa      | m      | kg      | Jumlah materi benda yang memengaruhi inersia.                    |
| Percepatan | a      | $m/s^2$ | Perubahan kecepatan terhadap waktu.                              |
| Momen      | M      | N.m     | Kecenderungan gaya memutar benda terhadap titik acuan.           |
| Torsi      | T      | N.m     | Momen puntir pada poros atau komponen berputar.                  |

| Besaran | Simbol | Satuan    | Keterangan                                     |
|---------|--------|-----------|------------------------------------------------|
| Putaran | n      | rpm       | Jumlah putaran per menit pada komponen rotasi. |
| Daya    | P      | W atau kW | Laju kerja mekanik yang ditransmisikan.        |

## 2.2 Tegangan dan Regangan

### 2.2.1 Pengertian Tegangan

Tegangan adalah intensitas gaya dalam yang bekerja pada suatu luas penampang material. Ketika komponen mesin menerima beban luar, material di dalam komponen akan mengembangkan gaya internal untuk menahan beban tersebut. Besar gaya internal per satuan luas inilah yang disebut tegangan. Tegangan merupakan parameter utama dalam menentukan apakah suatu komponen aman digunakan atau berpotensi mengalami kegagalan.

Tabel 2. 2. Jenis Tegangan yang Umum Dijumpai Pada Komponen Mesin

| Jenis tegangan  | Penyebab utama                        | Contoh komponen                         |
|-----------------|---------------------------------------|-----------------------------------------|
| Tegangan tarik  | Gaya aksial yang menarik komponen     | Baut, batang tarik, kabel, rantai       |
| Tegangan tekan  | Gaya aksial yang menekan komponen     | Kolom rangka, dudukan mesin, plat tekan |
| Tegangan geser  | Gaya sejajar bidang penampang         | Baut geser, pasak, paku keling          |
| Tegangan lentur | Momen lentur akibat beban transversal | Poros, rangka, balok penyangga          |
| Tegangan puntir | Torsi pada komponen berputar          | Poros transmisi, kopling, screw         |

| Jenis tegangan  | Penyebab utama                      | Contoh komponen               |
|-----------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| Tegangan kontak | Tekanan lokal pada permukaan kontak | Gear, <i>Bearing</i> , roller |

Tegangan dinyatakan dalam pascal (Pa) atau lebih umum dalam megapascal (MPa), dengan 1 MPa setara dengan 1 N/mm<sup>2</sup>. Dalam perancangan mesin, nilai tegangan kerja dibandingkan dengan kekuatan material, seperti kekuatan luluh, kekuatan tarik maksimum, atau kekuatan geser yang diizinkan. Jika tegangan kerja melebihi batas material, komponen dapat mengalami deformasi permanen, retak, atau patah. Tegangan normal akibat beban aksial dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Dengan:

$\sigma$  = tegangan normal (N/mm<sup>2</sup> atau MPa)

F = gaya aksial (N)

A = luas penampang (mm<sup>2</sup>)

### 2.2.2 Tegangan Normal dan Tegangan Geser

Tegangan normal bekerja tegak lurus terhadap bidang penampang. Tegangan ini dapat berupa tegangan tarik atau tegangan tekan. Tegangan tarik terjadi ketika gaya cenderung menarik atau memperpanjang komponen, sedangkan tegangan tekan terjadi ketika gaya cenderung menekan atau memperpendek komponen. Contoh komponen yang menerima tegangan tarik adalah batang pengikat, baut yang dikencangkan, dan tali baja. Contoh komponen yang menerima tegangan tekan adalah kolom rangka, dudukan mesin, dan komponen press.

Tegangan geser bekerja sejajar terhadap bidang penampang. Tegangan ini terjadi ketika dua bagian material cenderung bergeser relatif satu sama lain. Tegangan geser umum dijumpai pada baut yang menerima beban melintang, pasak poros, sambungan paku keling, poros akibat torsi, serta material

yang mengalami proses pemotongan. Tegangan geser rata-rata dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\tau = \frac{F}{A}$$

Dengan:

$\tau$  = tegangan geser (MPa)

$F$  = gaya geser (N)

$A$  = luas bidang geser ( $\text{mm}^2$ ).

### 2.2.3 Regangan dan Modulus Elastisitas

Regangan adalah perubahan panjang relatif yang terjadi pada material akibat pembebanan. Regangan tidak memiliki satuan karena merupakan perbandingan antara perubahan panjang dengan panjang awal. Dalam daerah elastis, material akan kembali ke bentuk semula ketika beban dilepaskan. Jika beban melampaui batas elastis, material dapat mengalami deformasi plastis yang bersifat permanen.

Modulus elastisitas atau modulus Young merupakan ukuran kekakuan material terhadap deformasi elastis. Material dengan modulus elastisitas tinggi akan mengalami regangan yang lebih kecil untuk tegangan yang sama dibandingkan material dengan modulus elastisitas rendah. Baja, misalnya, memiliki modulus elastisitas yang relatif tinggi sehingga banyak digunakan untuk komponen struktural mesin yang membutuhkan kekakuan. Regangan normal dan hubungan elastis linier dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$
$$\sigma = E \times \varepsilon$$

Dengan:

$\varepsilon$  = regangan

$\Delta L$  = perubahan panjang

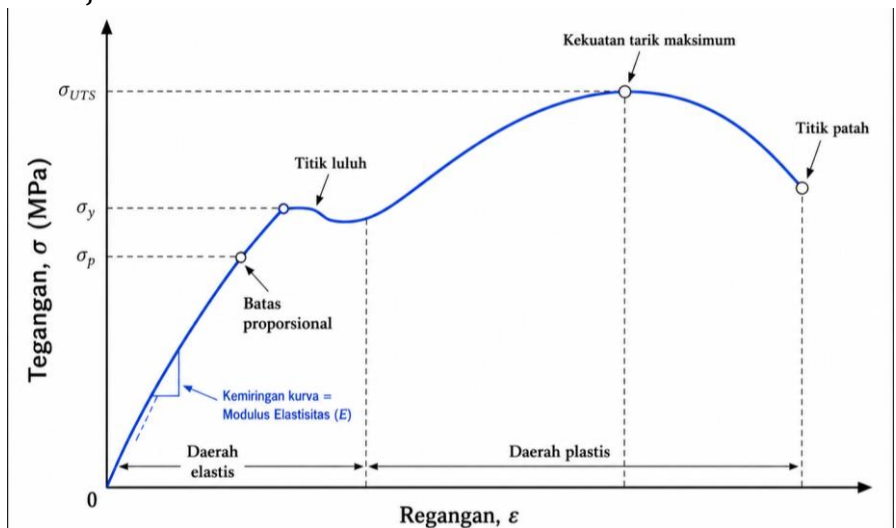
$L_0$  = panjang awal

$E$  = modulus elastisitas

## 2.2.4 Hubungan Tegangan-Regangan

Hubungan tegangan-regangan menggambarkan respons material ketika menerima beban. Pada tahap awal pembebanan, sebagian besar logam menunjukkan hubungan yang hampir linier antara tegangan dan regangan. Daerah ini disebut daerah elastis. Kemiringan kurva pada daerah elastis menunjukkan modulus elastisitas material.

Setelah tegangan mencapai batas luluh, material mulai mengalami deformasi plastis. Pada kondisi ini, penambahan regangan tidak lagi sebanding dengan penambahan tegangan. Jika pembebanan terus meningkat, material akan mencapai kekuatan tarik maksimum dan akhirnya patah. Informasi dari kurva tegangan-regangan digunakan untuk menentukan tegangan izin, memilih material, dan memperkirakan perilaku komponen saat bekerja.



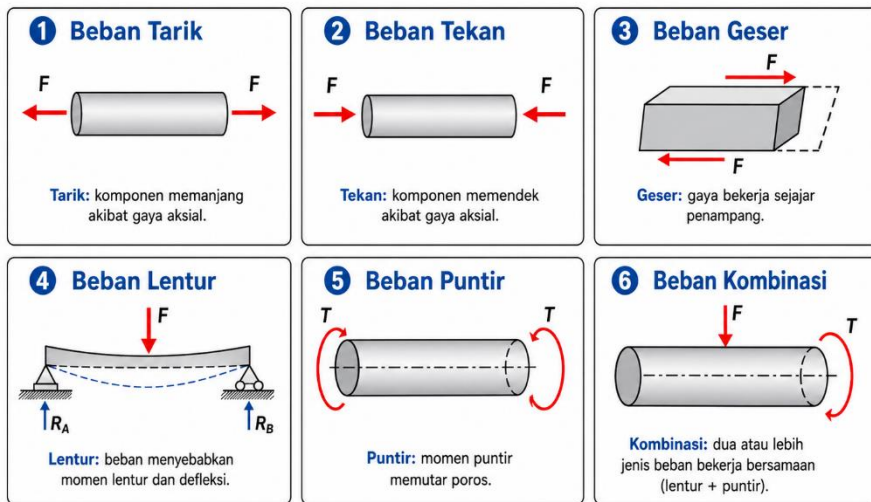
Gambar 2. 2. Grafik Hubungan Tegangan-Regangan Pada Material Ulet yang Umum Digunakan Dalam Komponen Mesin



## 2.3 Beban pada Komponen Mesin

Beban adalah aksi luar yang bekerja pada komponen mesin. Beban dapat berasal dari gaya eksternal, berat sendiri, tekanan fluida, gaya inersia, gesekan, getaran, temperatur, maupun interaksi dengan material proses. Karakteristik beban sangat menentukan metode perhitungan dan kriteria keamanan yang digunakan. Dua komponen dengan dimensi dan material yang sama dapat memiliki umur pakai yang berbeda apabila kondisi pembebanannya berbeda.

Dalam perancangan mesin, beban tidak hanya dilihat dari besar nilainya, tetapi juga dari arah, titik kerja, frekuensi, durasi, sifat perubahan terhadap waktu, dan kemungkinan adanya kejutan. Perancang perlu membedakan antara beban statis, dinamis, kejut, dan berulang karena masing-masing memiliki konsekuensi berbeda terhadap kegagalan komponen.



Gambar 2. 3. Skema Beberapa Jenis Beban yang Umum Dijumpai Pada Komponen Mesin

### 2.3.1 Beban Tarik dan Tekan

Beban tarik bekerja dengan arah menjauh dari penampang sehingga komponen cenderung memanjang. Beban

ini umum terjadi pada batang pengikat, baut, rantai, dan kabel. Kegagalan akibat beban tarik dapat berupa luluh, putus, atau retak pada daerah konsentrasi tegangan.

Beban tekan bekerja dengan arah menuju penampang sehingga komponen cenderung memendek. Pada komponen pendek dan tebal, kegagalan tekan dapat berupa penghancuran material. Pada komponen panjang dan ramping, kegagalan lebih sering terjadi dalam bentuk tekuk atau buckling. Oleh karena itu, desain batang tekan perlu memperhatikan rasio kelangsingan, kondisi tumpuan, dan kekakuan material.

### 2.3.2 Beban Geser

Beban geser menyebabkan satu bagian komponen cenderung bergeser terhadap bagian lainnya. Beban ini banyak terjadi pada sambungan baut, pasak, paku keling, pin, dan komponen pemotong. Pada sambungan baut, misalnya, gaya melintang dapat menyebabkan badan baut mengalami tegangan geser. Pada pasak, gaya tangensial dari poros ke hub pulley atau gear menyebabkan bidang pasak menerima geser dan tekanan permukaan.

Dalam desain sambungan, luas bidang geser harus cukup untuk menahan gaya kerja dengan faktor keamanan yang sesuai. Apabila luas bidang geser terlalu kecil, komponen dapat patah secara tiba-tiba karena kegagalan geser umumnya tidak selalu memberikan tanda deformasi yang besar sebelum patah.

### 2.3.3 Beban Lentur

Beban lentur terjadi ketika gaya bekerja melintang terhadap sumbu komponen sehingga menghasilkan momen lentur. Poros yang menerima gaya dari pulley, rangka yang menahan motor, dan balok penyangga pada mesin merupakan contoh komponen yang mengalami lentur. Akibat lentur, satu sisi penampang mengalami tarik sedangkan sisi lainnya mengalami tekan.

Tegangan lentur maksimum umumnya terjadi pada serat terluar penampang dan pada lokasi momen lentur terbesar. Untuk komponen berbentuk balok atau poros, perhitungan tegangan lentur memerlukan nilai momen lentur, jarak serat terluar dari sumbu netral, dan momen inersia penampang.

#### 2.3.4 Beban Puntir

Beban puntir terjadi akibat torsi yang bekerja pada komponen. Poros transmisi, screw conveyor, screw press, mata bor, dan kopling merupakan contoh komponen yang sering mengalami puntir. Torsi menyebabkan tegangan geser puntir pada penampang. Pada poros pejal berbentuk lingkaran, tegangan geser maksimum terjadi pada permukaan luar poros.

Perancangan terhadap beban puntir penting karena poros sering kali bekerja pada putaran tertentu dan menerima fluktuasi torsi. Pada mesin dengan beban awal besar, seperti pencacah, crusher, atau screw press, torsi awal dapat jauh lebih besar daripada torsi operasi normal. Kondisi ini harus diperhitungkan dalam pemilihan motor, transmisi, kopling, dan diameter poros.

#### 2.3.5 Beban Kejut dan Beban Berulang

Beban kejut adalah beban yang bekerja secara tiba-tiba dalam waktu singkat. Contohnya adalah tumbukan material keras pada pisau pencacah, hentakan saat mesin mulai beroperasi, atau beban mendadak akibat material tersangkut. Beban kejut dapat menghasilkan tegangan sesaat yang jauh lebih tinggi daripada beban statis biasa. Oleh karena itu, desain komponen yang berpotensi menerima beban kejut harus menggunakan faktor keamanan lebih tinggi dan material yang memiliki ketangguhan baik.

Beban berulang atau siklik adalah beban yang berubah-ubah terhadap waktu dan terjadi secara terus-menerus. Beban jenis ini dapat menyebabkan kegagalan lelah atau fatigue, yaitu patahnya komponen pada tegangan yang lebih rendah dari

kekuatan statis material karena pembebanan berulang dalam jumlah siklus besar. Poros berputar, pegas, gear, crankshaft, dan komponen bergetar merupakan contoh komponen yang rentan terhadap fatigue.

## 2.4 Diagram Benda Bebas

Diagram benda bebas atau free body diagram adalah representasi sederhana dari suatu benda atau komponen yang dipisahkan dari lingkungan sekitarnya, kemudian semua gaya dan momen eksternal yang bekerja pada benda tersebut digambarkan secara jelas. Diagram benda bebas merupakan alat analisis yang sangat penting karena menjadi dasar dalam menyusun persamaan keseimbangan gaya dan momen.

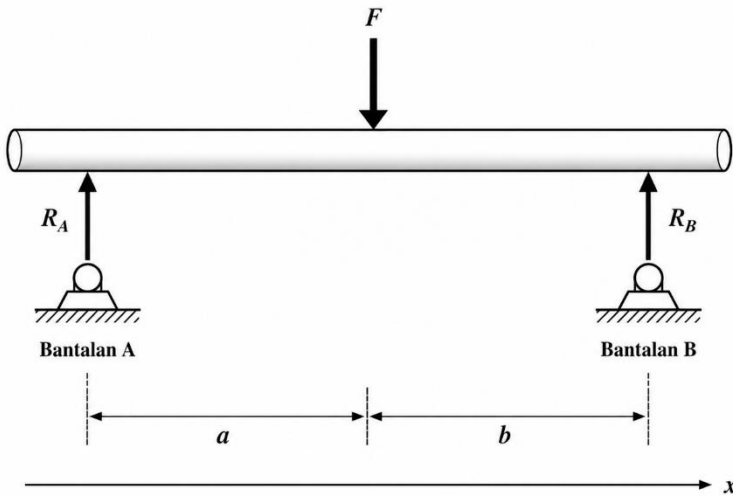
Dalam perancangan mesin, diagram benda bebas digunakan untuk menganalisis poros, rangka, sambungan, tuas,udukan motor, mekanisme press, dan berbagai komponen struktural. Tanpa diagram benda bebas yang benar, perhitungan tegangan dan dimensi komponen berisiko keliru karena gaya yang bekerja tidak teridentifikasi secara lengkap.

### 2.4.1 Prinsip Penyusunan Diagram Benda Bebas

Penyusunan diagram benda bebas diawali dengan menentukan komponen yang akan dianalisis. Komponen tersebut dianggap terpisah dari komponen lain. Semua kontak, sambungan, tumpuan, beban luar, berat sendiri, gaya gesek, gaya transmisi, dan momen yang bekerja kemudian digambarkan dengan arah yang sesuai. Jika arah reaksi belum diketahui, arah dapat diasumsikan terlebih dahulu. Hasil perhitungan bernilai negatif menunjukkan bahwa arah gaya sebenarnya berlawanan dengan asumsi awal.

Pada analisis statis dua dimensi, gaya biasanya diuraikan ke dalam komponen horizontal dan vertikal. Setelah diagram selesai, persamaan keseimbangan  $\Sigma F_x = 0$ ,  $\Sigma F_y = 0$ , dan  $\Sigma M = 0$  dapat digunakan untuk menentukan gaya yang belum diketahui.

Hasil dari persamaan ini kemudian digunakan untuk menghitung tegangan, menentukan ukuran komponen, atau memilih elemen standar seperti *Bearing* dan baut.



Gambar 2. 4. Contoh Diagram Benda Bebas Poros yang Ditumpu Dua Bantalan dan Menerima Gaya Terpusat.

## 2.5 Faktor Keamanan

Faktor keamanan adalah perbandingan antara kapasitas kekuatan material atau komponen terhadap beban atau tegangan kerja yang terjadi. Dalam desain mesin, faktor keamanan digunakan untuk mengantisipasi ketidakpastian, seperti variasi sifat material, kesalahan perhitungan, ketidaksempurnaan proses manufaktur, pembebanan tak terduga, keausan, korosi, getaran, serta kesalahan operasional.

Penggunaan faktor keamanan tidak boleh dipahami sebagai sekadar memperbesar dimensi komponen. Faktor keamanan harus dipilih secara rasional berdasarkan konsekuensi kegagalan, tingkat ketidakpastian data, jenis beban, kondisi

lingkungan, kualitas manufaktur, dan standar yang berlaku. Faktor keamanan terlalu kecil dapat menyebabkan kegagalan, sedangkan faktor keamanan terlalu besar dapat menyebabkan mesin menjadi berat, mahal, boros energi, dan sulit diproduksi.

#### 2.5.1 Penentuan Faktor Keamanan

Pemilihan faktor keamanan dipengaruhi oleh sifat pembebanan. Untuk beban statis yang dapat diprediksi dengan baik dan material yang datanya tersedia, faktor keamanan dapat dipilih relatif lebih rendah. Untuk beban kejut, beban berulang, lingkungan korosif, atau komponen yang kegagalannya berbahaya bagi operator, faktor keamanan harus lebih tinggi.

Dalam desain profesional, nilai faktor keamanan sering mengacu pada standar teknis, pedoman desain, pengalaman industri, dan hasil pengujian. Untuk desain awal mesin skala kecil dan menengah, faktor keamanan sering dipakai sebagai pendekatan konservatif sebelum dilakukan pengujian prototipe. Namun demikian, nilai akhir tetap harus disesuaikan dengan fungsi komponen dan konsekuensi kegagalan.

#### 2.5.2 Faktor Keamanan dan Tegangan Izin

Dalam banyak perhitungan desain, faktor keamanan digunakan untuk menentukan tegangan izin. Tegangan izin adalah tegangan maksimum yang diperbolehkan bekerja pada komponen selama operasi normal. Nilai tegangan izin diperoleh dengan membagi kekuatan acuan material dengan faktor keamanan. Kekuatan acuan dapat berupa kekuatan luluh, kekuatan tarik maksimum, atau kekuatan geser, tergantung jenis material dan mode kegagalan yang dominan.

Untuk material ulet seperti baja karbon rendah dan baja karbon sedang, kekuatan luluh sering digunakan sebagai acuan karena deformasi plastis sudah dianggap sebagai kegagalan fungsi. Untuk material getas seperti besi cor tertentu, kekuatan

tarik maksimum dapat menjadi acuan karena material cenderung patah tanpa deformasi plastis yang signifikan.

# **BAB 3**

## **MATERIAL TEKNIK UNTUK PERANCANGAN MESIN**

Pemilihan material merupakan salah satu aspek paling penting dalam proses perancangan mesin. Setiap komponen mesin bekerja dalam kondisi pembebanan, temperatur, lingkungan, dan pola operasi yang berbeda, sehingga membutuhkan material dengan karakteristik tertentu. Material yang dipilih harus mampu memberikan kombinasi antara kekuatan, ketahanan aus, kemudahan manufaktur, biaya ekonomis, dan umur pakai yang memadai.

### **3.1 Klasifikasi Material Teknik**

Material teknik dapat dikelompokkan menjadi logam ferro, logam non-ferro, polimer, komposit, dan material khusus. Setiap kelompok memiliki sifat fisik, mekanik, dan aplikasi yang berbeda.





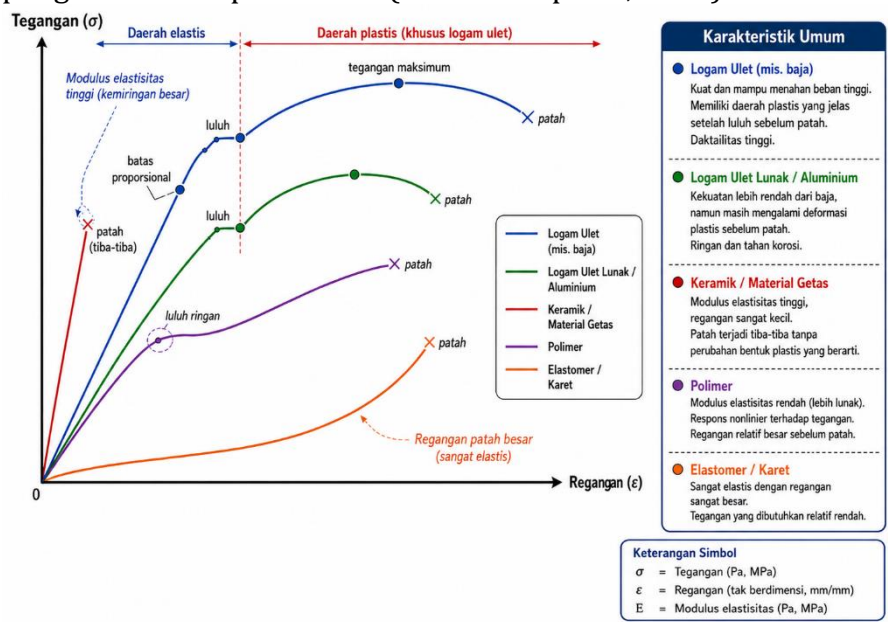
Gambar 3. 1. Klasifikasi Umum Material Teknik

Logam ferro merupakan material berbasis besi yang banyak digunakan pada komponen struktural dan elemen mesin. Logam non-ferro seperti aluminium dan tembaga digunakan ketika diperlukan ketahanan korosi atau bobot ringan. Polimer digunakan pada komponen yang membutuhkan fleksibilitas, isolasi listrik, atau bobot rendah. Komposit digunakan untuk aplikasi dengan rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi.

### 3.2 Sifat Mekanik Material

Sifat mekanik material merupakan karakteristik yang menunjukkan kemampuan suatu material dalam menahan beban, mengalami deformasi, menyerap energi, dan mempertahankan integritas strukturnya selama digunakan pada komponen mesin. Dalam perancangan mesin, pemahaman terhadap sifat mekanik sangat penting karena setiap komponen bekerja pada kondisi pembebanan yang berbeda, seperti tarik, tekan, geser, lentur, puntir, beban kejut, maupun beban berulang.

Sifat mekanik material yang umum dijadikan dasar dalam perancangan meliputi kekuatan tarik, kekerasan, keuletan, ketangguhan, modulus elastisitas, dan ketahanan aus. Parameter tersebut digunakan untuk menentukan tegangan izin, faktor keamanan, prediksi deformasi, umur pakai komponen, serta kemungkinan bentuk kegagalan yang dapat terjadi selama mesin beroperasi. Sebagai contoh, poros memerlukan material dengan kekuatan tarik dan ketangguhan yang baik, pisau pemotong memerlukan material dengan kekerasan dan ketahanan aus tinggi, sedangkan rangka mesin membutuhkan material yang memiliki kekakuan memadai dan mudah diproses melalui pengelasan atau pemesinan (Abbas & Saputra, 2025).



Gambar 3. 2. Perbandingan Kurva Tegangan-Regangan Beberapa Material Teknik.

Hubungan antara tegangan dan regangan menjadi salah satu dasar utama dalam memahami respons material terhadap pembebanan. Kurva tegangan-regangan dapat menunjukkan batas elastis, titik luluh, kekuatan tarik maksimum, daerah plastis, dan titik patah material. Informasi tersebut membantu perancang

dalam menentukan apakah suatu material sesuai digunakan pada komponen yang memerlukan kekuatan, keuletan, atau ketahanan terhadap deformasi permanen.

Tabel 3. 1. Sifat Mekanik Material dan Pengaruhnya dalam Perancangan Mesin

| Sifat Mekanik       | Pengertian                                                                | Contoh Pengaruh dalam Desain                                                            |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| Kekuatan tarik      | Kemampuan material menahan gaya tarik sebelum mengalami kegagalan.        | Menentukan dimensi poros, baut, batang tarik, dan komponen struktural.                  |
| Kekerasan           | Ketahanan material terhadap penetrasi, goresan, atau deformasi permukaan. | Mempengaruhi umur pakai pisau, gear, roller, dan komponen yang mengalami gesekan.       |
| Keuletan            | Kemampuan material mengalami deformasi plastis sebelum patah.             | Penting pada komponen yang menerima beban kejut atau deformasi lokal.                   |
| Ketangguhan         | Kemampuan material menyerap energi sebelum mengalami patah.               | Diperlukan pada komponen dinamis seperti poros, pin, sambungan, dan elemen pemukul.     |
| Modulus elastisitas | Ukuran kekakuan material terhadap deformasi elastis.                      | Mempengaruhi defleksi rangka, poros, balok penyangga, dan dudukan mesin.                |
| Ketahanan aus       | Kemampuan material mempertahankan permukaan terhadap gesekan dan abrasi.  | Penting pada pisau pencacah, gear, <i>Bearing</i> , screw, roller, dan komponen kontak. |

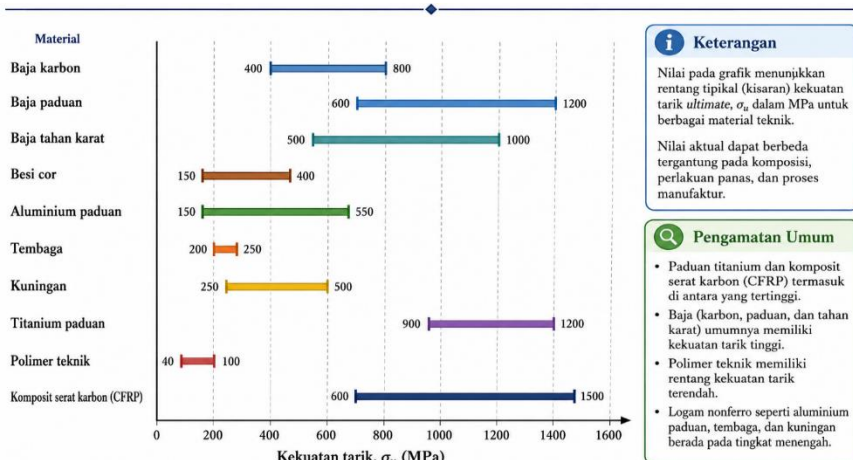
Dengan demikian, pemilihan material tidak dapat hanya didasarkan pada kekuatan tertinggi atau harga terendah. Material harus dipilih berdasarkan kesesuaian antara sifat mekanik, fungsi komponen, jenis beban, lingkungan kerja, proses manufaktur, dan kebutuhan umur pakai. Pada komponen yang menerima beban statis, kekuatan dan kekakuan menjadi pertimbangan utama.

Sementara itu, pada komponen yang menerima beban dinamis, berulang, atau kejut, keuletan, ketangguhan, ketahanan lelah, dan ketahanan aus menjadi faktor yang lebih dominan.

### **3.3 Baja Karbon dan Baja Paduan**

Baja karbon merupakan salah satu material logam ferro yang paling banyak digunakan dalam perancangan mesin karena memiliki kombinasi sifat mekanik yang baik, ketersediaan luas, kemudahan proses manufaktur, serta biaya yang relatif ekonomis. Material ini banyak digunakan pada komponen struktural dan elemen mesin seperti rangka, poros, gear, baut, pisau, pegas, pin, dan komponen transmisi. Sifat utama baja karbon sangat dipengaruhi oleh kadar karbon yang terkandung di dalamnya. Semakin tinggi kadar karbon, umumnya kekuatan dan kekerasan baja meningkat, tetapi keuletan, kemampuan bentuk, dan kemampuan las cenderung menurun.

Berdasarkan kadar karbonnya, baja karbon umumnya diklasifikasikan menjadi baja karbon rendah, baja karbon sedang, dan baja karbon tinggi. Baja karbon rendah memiliki kadar karbon relatif kecil sehingga lebih mudah dibentuk dan dilas. Baja karbon sedang memiliki kekuatan lebih tinggi sehingga banyak digunakan untuk poros, roda gigi, dan komponen yang menerima beban mekanik sedang hingga tinggi. Sementara itu, baja karbon tinggi memiliki kekerasan dan ketahanan aus lebih baik, sehingga sesuai untuk komponen seperti pisau, pegas, dan elemen kerja yang memerlukan permukaan keras (Abbas & Saputra, 2025; William D. Callister & Rethwisch, 2015).



Gambar 3. 3. Perbandingan Kekuatan Tarik Beberapa Material Teknik

Selain baja karbon, baja paduan juga banyak digunakan dalam perancangan mesin. Baja paduan diperoleh dengan menambahkan unsur paduan seperti kromium (Cr), nikel (Ni), molibdenum (Mo), mangan (Mn), vanadium (V), atau unsur lain dalam jumlah tertentu. Penambahan unsur paduan bertujuan untuk meningkatkan sifat tertentu, seperti kekuatan, ketangguhan, ketahanan aus, ketahanan korosi, kemampuan pengerasan, dan stabilitas pada temperatur kerja tertentu. Oleh karena itu, baja paduan banyak digunakan pada komponen mesin yang menerima beban berat, beban dinamis, keausan tinggi, atau kondisi kerja yang lebih berat dibandingkan komponen umum.

Dalam perancangan mesin, pemilihan antara baja karbon dan baja paduan harus mempertimbangkan fungsi komponen, besar beban, jenis pembebanan, kebutuhan ketahanan aus, lingkungan kerja, proses manufaktur, dan biaya. Untuk komponen sederhana seperti rangka dan plat penutup, baja karbon rendah sering mencukupi karena mudah dibuat dan ekonomis. Untuk poros dan gear, baja karbon sedang atau baja paduan lebih sesuai karena memerlukan kekuatan dan ketangguhan lebih tinggi. Untuk pisau pemotong, pegas, atau komponen yang mengalami gesekan intensif, baja karbon tinggi

atau baja paduan yang telah diberi perlakuan panas dapat menjadi pilihan yang lebih tepat.

Tabel 3. 2. Klasifikasi Baja Karbon dan Baja Paduan dalam Perancangan Mesin

| Jenis Baja         | Kadar Karbon / Unsur Paduan                                    | Karakteristik Utama                                                                                                     | Contoh Aplikasi                                                                  |
|--------------------|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| Baja karbon rendah | < 0,30% C                                                      | Mudah dilas, mudah dibentuk, keuletan baik, kekuatan relatif sedang.                                                    | Rangka mesin, plat, cover, hopper, dudukan ringan.                               |
| Baja karbon sedang | 0,30–0,60% C                                                   | Kekuatan dan ketangguhan lebih tinggi, masih dapat dikerjakan dengan proses pemesian.                                   | Poros, gear, pin, crank, pulley, komponen transmisi.                             |
| Baja karbon tinggi | > 0,60% C                                                      | Keras, tahan aus, kekuatan tinggi, tetapi lebih getas dan lebih sulit dilas.                                            | Pisau pencacah, pegas, punch, die, mata potong.                                  |
| Baja paduan        | Mengandung unsur Cr, Ni, Mo, Mn, V, dan/atau unsur paduan lain | Memiliki sifat khusus seperti kekuatan tinggi, ketahanan aus, ketangguhan, kemampuan pengerasan, atau ketahanan korosi. | Gear berat, poros transmisi, shaft, komponen alat berat, komponen beban dinamis. |

Secara umum, baja paduan memiliki performa mekanik yang lebih baik dibandingkan baja karbon biasa, terutama pada aplikasi dengan beban tinggi dan kondisi operasi berat. Namun, penggunaan baja paduan tidak selalu diperlukan untuk semua komponen karena harganya lebih tinggi dan proses manufakturnya dapat lebih kompleks. Oleh sebab itu, pendekatan

yang rasional dalam pemilihan material adalah menggunakan material yang memenuhi kebutuhan teknis dengan biaya dan proses produksi yang paling efisien.

### **3.4 Baja Karbon dan Baja Paduan**

Besi cor, aluminium, dan stainless steel merupakan kelompok material teknik yang banyak digunakan dalam perancangan komponen mesin karena memiliki karakteristik yang berbeda sesuai kebutuhan aplikasinya. Pemilihan ketiga material ini biasanya didasarkan pada pertimbangan sifat mekanik, ketahanan terhadap korosi, kemampuan manufaktur, berat komponen, serta kondisi lingkungan kerja.

Besi cor dikenal memiliki kemampuan meredam getaran yang baik, stabil terhadap perubahan bentuk, serta mudah dicetak menjadi bentuk yang kompleks. Oleh karena itu, besi cor banyak digunakan pada komponen mesin yang membutuhkan kekakuan dan kestabilan, seperti blok mesin, rumah bantalan, base mesin, dan housing. Namun, material ini memiliki sifat relatif getas sehingga kurang sesuai untuk komponen yang menerima beban kejut atau beban tarik tinggi.

Aluminium memiliki keunggulan utama berupa massa jenis yang rendah, tahan korosi, dan mudah diproses melalui pengecoran maupun pemesinan. Sifat tersebut menjadikan aluminium cocok untuk komponen yang membutuhkan bobot ringan, seperti rangka ringan, casing, komponen kendaraan, dan bagian mesin yang memerlukan efisiensi berat. Kelemahan aluminium adalah kekuatan mekaniknya umumnya lebih rendah dibandingkan baja, meskipun dapat ditingkatkan melalui proses paduan dan perlakuan panas.

*Stainless steel* merupakan material yang memiliki ketahanan korosi tinggi karena mengandung unsur kromium yang membentuk lapisan pelindung pada permukaan material. Material ini banyak digunakan pada industri pangan, kimia, farmasi, dan lingkungan kerja yang lembap atau korosif. Selain tahan korosi, stainless steel juga memiliki tampilan permukaan yang baik dan mudah dibersihkan. Namun, biaya material dan

proses pengerjaannya relatif lebih tinggi dibandingkan baja karbon maupun besi cor.

Tabel 3. 3. Perbandingan Karakteristik Besi Cor, Aluminium, dan *Stainless Steel*

| Material        | Keunggulan                                                                    | Kelemahan                                                                                    | Contoh Aplikasi                                                        |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Besi cor        | Mampu meredam getaran, mudah dicetak, stabil, dan memiliki kekakuan yang baik | Getas dan kurang tahan terhadap beban kejut                                                  | Blok mesin, housing, rumah bantalan, base mesin                        |
| Aluminium       | Ringan, tahan korosi, mudah dimesin, dan baik untuk komponen berbobot rendah  | Kekuatan lebih rendah dibandingkan baja dan kurang tahan terhadap temperatur tinggi tertentu | Rangka ringan, casing, komponen kendaraan, komponen mesin ringan       |
| Stainless steel | Tahan korosi tinggi, higienis, kuat, dan mudah dibersihkan                    | Biaya tinggi dan proses pemesinan relatif lebih sulit                                        | Mesin pangan, peralatan kimia, tangki, pipa, komponen industri farmasi |

### 3.5 Pemilihan Material

Pemilihan material merupakan tahap penting dalam proses perancangan komponen mesin. Material yang dipilih harus mampu memenuhi tuntutan fungsi, beban kerja, kondisi lingkungan operasi, proses manufaktur, biaya produksi, serta umur pakai komponen. Kesalahan dalam pemilihan material dapat menyebabkan kegagalan komponen, peningkatan biaya perawatan, penurunan efisiensi mesin, bahkan risiko terhadap keselamatan kerja.



Dalam praktik perancangan, material dengan kekuatan tinggi tidak selalu menjadi pilihan terbaik apabila biaya, bobot, atau proses pengerjaannya tidak sesuai dengan kebutuhan. Sebaliknya, material yang murah belum tentu ekonomis apabila tidak mampu bertahan terhadap beban kerja, korosi, temperatur tinggi, atau keausan selama masa operasi. Oleh karena itu, pemilihan material harus dilakukan secara seimbang antara aspek teknis dan aspek ekonomis.

Beberapa kriteria utama yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan material meliputi jenis beban yang bekerja, kondisi lingkungan, biaya material dan proses produksi, kemudahan manufaktur, ketersediaan material, serta kebutuhan perawatan. Sebagai contoh, poros yang menerima beban puntir dan lentur umumnya memerlukan baja karbon sedang atau baja paduan. Komponen pada industri pangan lebih sesuai menggunakan stainless steel karena membutuhkan ketahanan korosi dan kebersihan tinggi. Sementara itu, baja karbon rendah banyak digunakan untuk struktur sederhana karena mudah dilas, mudah dibentuk, dan relatif ekonomis.

Tabel 3. 4. Kriteria Pemilihan Material dalam Perancangan Mesin

| Kriteria           | Pertimbangan                                                                                                          | Contoh Penerapan                                                                             |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Beban kerja        | Jenis beban yang diterima komponen, seperti tarik, tekan, lentur, puntir, geser, kejut, dan aus                       | Poros memerlukan baja karbon sedang atau baja paduan karena menerima beban puntir dan lentur |
| Lingkungan operasi | Kondisi kerja seperti korosi, kelembapan, temperatur tinggi, kontaminasi bahan kimia, atau kontak dengan bahan pangan | Stainless steel digunakan pada industri pangan karena tahan korosi dan mudah dibersihkan     |

| <b>Kriteria</b>       | <b>Pertimbangan</b>                                                                             | <b>Contoh Penerapan</b>                                                                        |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Biaya                 | Harga material, biaya proses manufaktur, biaya perawatan, dan umur pakai komponen               | Baja karbon lebih ekonomis untuk komponen umum yang tidak bekerja pada lingkungan korosif      |
| Proses manufaktur     | Kemudahan material untuk dipotong, dilas, dimesin, dicor, dibentuk, atau diberi perlakuan panas | Baja karbon rendah mudah dilas dan dibentuk untuk rangka atau konstruksi ringan                |
| Ketersediaan material | Kemudahan memperoleh material di pasaran, ukuran standar, serta kontinuitas suplai              | Baja profil dan pelat baja banyak dipilih karena tersedia luas dan mudah diperoleh             |
| Umur pakai komponen   | Ketahanan material terhadap kelelahan, keausan, korosi, deformasi, dan kerusakan selama operasi | Komponen roda gigi memerlukan material yang tahan aus dan mampu menerima beban berulang        |
| Berat komponen        | Pengaruh massa material terhadap efisiensi, mobilitas, dan konsumsi energi mesin                | Aluminium digunakan untuk komponen ringan pada kendaraan atau mesin portabel                   |
| Perawatan             | Kemudahan inspeksi, pelumasan, perbaikan, dan penggantian komponen                              | Besi cor banyak digunakan pada base mesin karena stabil dan memiliki kemampuan meredam getaran |

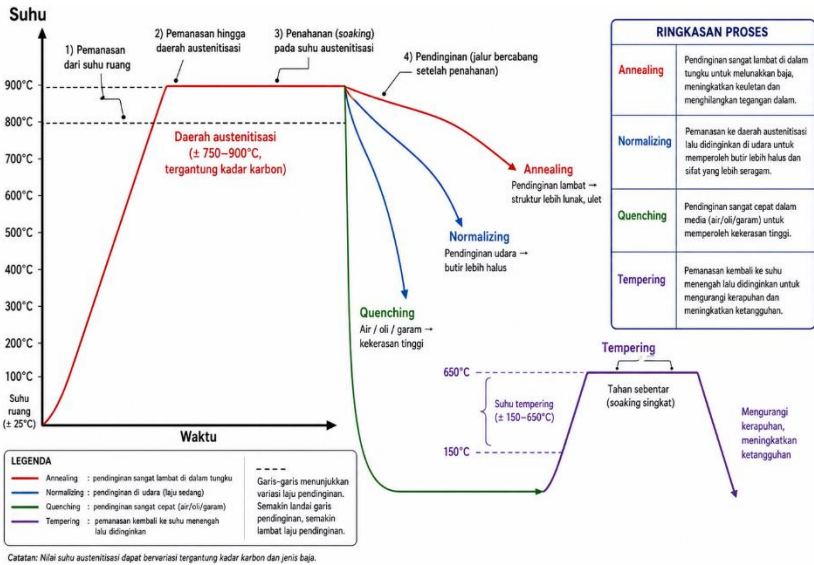
Secara umum, pemilihan material yang baik tidak hanya ditentukan oleh kekuatan mekaniknya, tetapi juga oleh kesesuaian material terhadap fungsi komponen, kondisi kerja, kemudahan proses produksi, biaya total, dan keandalan selama masa pakai. Dengan demikian, material terbaik adalah material

yang paling sesuai dengan kebutuhan teknis dan ekonomis suatu komponen, bukan selalu material yang paling kuat atau paling mahal.

### **3.6 Perlakuan Panas dan Pengaruhnya**

Perlakuan panas merupakan proses pengendalian temperatur pada material logam melalui tahapan pemanasan, penahanan pada temperatur tertentu, dan pendinginan dengan laju tertentu untuk memperoleh perubahan struktur mikro dan sifat mekanik yang diinginkan. Pada baja, perlakuan panas sangat penting karena perubahan struktur mikro, seperti ferrite, pearlite, bainite, martensite, dan cementite, dapat memengaruhi kekerasan, kekuatan, ketangguhan, keuletan, serta ketahanan aus material.

Dalam perancangan mesin, perlakuan panas digunakan untuk menyesuaikan sifat material dengan fungsi komponen. Komponen seperti poros, roda gigi, pisau pencacah, pegas, pin, shaft, dan komponen transmisi sering memerlukan sifat mekanik tertentu yang tidak selalu dapat diperoleh hanya dari pemilihan material dasar. Misalnya, pisau pemotong membutuhkan permukaan yang keras dan tahan aus, sedangkan poros membutuhkan kombinasi antara kekuatan, ketangguhan, dan ketahanan terhadap beban puntir maupun lentur. Oleh karena itu, perlakuan panas menjadi salah satu metode penting untuk meningkatkan performa dan umur pakai komponen mesin.



Gambar 3. 4. Ilustrasi Siklus Perlakuan Panas Pada Baja.

Perubahan sifat material akibat perlakuan panas sangat dipengaruhi oleh temperatur pemanasan, waktu penahanan, laju pendinginan, jenis media pendingin, komposisi kimia material, serta ukuran dan bentuk komponen. Pendinginan cepat, misalnya melalui proses quenching, dapat meningkatkan kekerasan baja karena terbentuknya struktur martensit. Namun, peningkatan kekerasan tersebut sering diikuti oleh penurunan keuletan dan peningkatan kerapuhan. Untuk mengurangi efek tersebut, proses tempering biasanya dilakukan setelah hardening agar material memiliki ketangguhan yang lebih baik.

Penerapan perlakuan panas harus disesuaikan dengan kebutuhan kerja komponen. Untuk komponen yang mengalami gesekan dan keausan tinggi, seperti gear, pisau, roller, dan sprocket, proses hardening atau carburizing dapat meningkatkan ketahanan permukaan. Untuk komponen yang membutuhkan kemampuan bentuk atau proses pemesinan lebih lanjut, annealing dapat digunakan agar material lebih lunak dan mudah dikerjakan. Sementara itu, normalizing sering digunakan untuk

memperbaiki struktur mikro setelah proses pembentukan panas atau pengecoran.

Tabel 3. 5. Proses Perlakuan Panas dan Pengaruhnya terhadap Sifat Material

| Proses             | Tujuan                                                                                | Pengaruh terhadap Material                                                                                                      |
|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Hardening</i>   | Meningkatkan kekerasan dan kekuatan material melalui pemanasan dan pendinginan cepat. | Material menjadi lebih keras dan tahan aus, tetapi cenderung lebih getas jika tidak dilanjutkan dengan tempering.               |
| <i>Tempering</i>   | Mengurangi kerapuhan setelah hardening dan meningkatkan ketangguhan.                  | Kekerasan sedikit menurun, tetapi ketangguhan, keuletan, dan stabilitas material meningkat.                                     |
| <i>Annealing</i>   | Melunakkan material, mengurangi tegangan sisa, dan meningkatkan kemampuan bentuk.     | Material menjadi lebih lunak, lebih mudah dimesin, lebih mudah dibentuk, dan memiliki tegangan internal yang lebih rendah.      |
| <i>Normalizing</i> | Memperbaiki dan menyeragamkan struktur mikro material.                                | Struktur mikro menjadi lebih homogen, sifat mekanik lebih seragam, dan kekuatan dapat meningkat dibandingkan kondisi annealing. |
| <i>Carburizing</i> | Menambah kadar karbon pada permukaan baja karbon rendah.                              | Permukaan menjadi lebih keras dan tahan aus, sedangkan bagian inti tetap relatif ulet dan tangguh.                              |

Dalam praktik desain, perlakuan panas tidak boleh dipilih hanya berdasarkan keinginan meningkatkan kekerasan. Material yang terlalu keras tetapi tidak cukup tangguh dapat mengalami retak atau patah saat menerima beban kejut. Sebaliknya, material yang terlalu lunak dapat cepat aus atau mengalami deformasi permanen. Oleh sebab itu, pemilihan proses perlakuan panas harus mempertimbangkan keseimbangan antara kekerasan, ketangguhan, keuletan, ketahanan aus, biaya proses, dan kondisi operasi komponen mesin.

# **BAB 4**

## **PERANCANGAN SAMBUNGAN MESIN**

Sambungan merupakan bagian penting dalam konstruksi mesin karena hampir tidak ada mesin yang tersusun dari satu komponen tunggal. Mesin umumnya dibangun dari banyak elemen, seperti rangka, poros, bantalan, pulley, gear, cover, hopper, pisau, kedudukan motor, dan elemen transmisi. Komponen-komponen tersebut harus disatukan melalui sambungan yang mampu menahan beban kerja, menjaga posisi relatif antar komponen, meneruskan daya, serta memungkinkan proses perakitan, pembongkaran, dan perawatan.

Dalam perancangan mesin, sambungan tidak boleh dipandang sebagai bagian sekunder. Banyak kegagalan mesin justru bermula dari sambungan, misalnya baut longgar akibat getaran, las retak akibat konsentrasi tegangan, pasak aus akibat torsi berlebih, atau lubang paku keling robek akibat tekanan tumpu. Oleh karena itu, pemilihan dan perhitungan sambungan harus mempertimbangkan jenis beban, geometri komponen, material, proses manufaktur, lingkungan kerja, faktor keamanan, serta kemudahan inspeksi dan perawatan.

Bab ini membahas sambungan mesin dari sudut pandang buku referensi, yaitu menekankan fungsi, klasifikasi, prinsip kerja, parameter desain, dasar perhitungan, serta kriteria pemilihan sambungan. Jenis sambungan yang dibahas meliputi sambungan baut dan mur, sambungan las, sambungan paku keling, serta sambungan pasak sebagai elemen penerus daya pada poros.

# 4.1 Fungsi Sambungan dalam Mesin

Sambungan mesin berfungsi menyatukan dua atau lebih komponen agar membentuk sistem mekanik yang utuh dan mampu bekerja sesuai rancangan. Fungsi ini tidak hanya berkaitan dengan penyatuan fisik, tetapi juga mencakup kemampuan sambungan untuk menahan gaya, momen, torsi, getaran, kejut, perubahan temperatur, serta pengaruh lingkungan. Pada rangka mesin, sambungan menjaga kekakuan struktur. Pada poros dan pulley, sambungan pasak meneruskan torsi. Pada cover atau pelindung, sambungan baut memungkinkan pembongkaran saat perawatan.



Gambar 4. 1. Klasifikasi Umum Sambungan Dalam Konstruksi Mesin.

Berdasarkan sifatnya, sambungan dapat dikelompokkan menjadi sambungan permanen, sambungan semi permanen, sambungan lepas pasang, dan sambungan penerus daya. Sambungan permanen seperti las dan paku keling relatif sulit dibongkar tanpa merusak komponen. Sambungan lepas pasang seperti baut dan mur memungkinkan komponen dibuka kembali untuk inspeksi atau penggantian. Sementara itu, sambungan penerus daya seperti pasak dan spline digunakan untuk

menghubungkan poros dengan elemen transmisi agar torsi dapat berpindah secara efektif.

Pemilihan sambungan harus dikaitkan dengan fungsi mesin secara keseluruhan. Mesin yang membutuhkan perawatan rutin lebih sesuai menggunakan sambungan lepas pasang pada bagian tertentu. Sebaliknya, konstruksi rangka yang tidak perlu dibongkar dan memerlukan kekakuan tinggi sering menggunakan sambungan las. Pada komponen berputar, sambungan harus dirancang tidak hanya kuat, tetapi juga seimbang, presisi, dan tidak menimbulkan eksentrisitas yang berlebihan.

Tabel 4. 1. Fungsi Utama Sambungan Dalam Perancangan Mesin

| <b>Fungsi sambungan</b> | <b>Uraian</b>                                                     | <b>Contoh aplikasi</b>                            |
|-------------------------|-------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Menyatukan komponen     | Menggabungkan beberapa bagian menjadi satu sistem mekanik.        | Sambungan rangka, dudukan motor, cover mesin.     |
| Menahan beban           | Menyalurkan gaya tarik, tekan, geser, lentur, atau puntir.        | Baut rangka, las konstruksi, paku keling plat.    |
| Meneruskan daya         | Menghubungkan poros dengan elemen transmisi agar torsi berpindah. | Pasak pada pulley, gear, kopling.                 |
| Memudahkan perawatan    | Memungkinkan pembongkaran dan pemasangan ulang.                   | Baut pada cover, flange, <i>Bearing housing</i> . |
| Menjaga posisi relatif  | Menjamin keselarasan dan ketepatan posisi antar komponen.         | Pin, dowel, baut penyetel, pasak.                 |

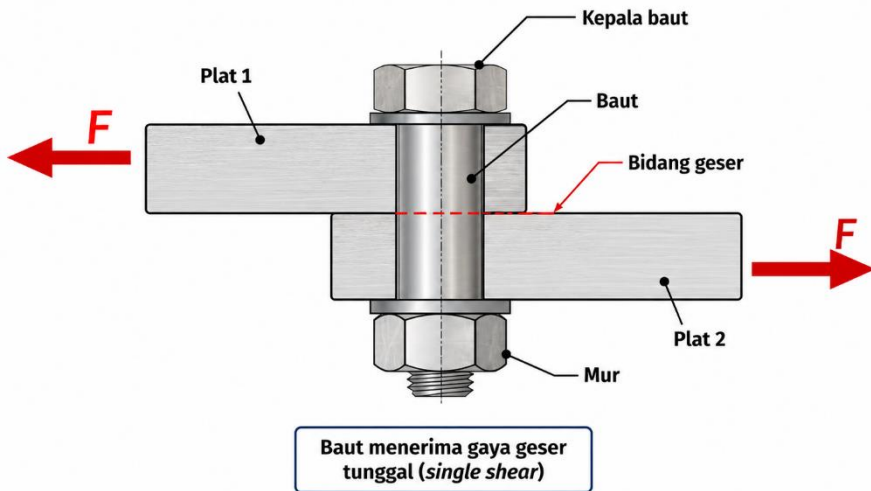
#### 4.2 Sambungan Baut dan Mur

Sambungan baut dan mur merupakan jenis sambungan lepas pasang yang paling banyak digunakan pada konstruksi mesin. Keunggulannya adalah mudah dirakit, mudah dibongkar, tersedia dalam berbagai ukuran standar, serta dapat digunakan



pada berbagai jenis material. Sambungan baut banyak ditemukan pada rangka mesin,udukan motor, *Bearing housing*, flange, cover, dan komponen yang memerlukan penyetelan atau perawatan berkala.

Baut bekerja melalui mekanisme ulir. Ketika mur dikencangkan, baut menghasilkan gaya jepit atau clamping force yang menekan komponen yang disambung. Pada sambungan yang dirancang baik, gaya luar tidak langsung menyebabkan baut bergeser, tetapi lebih dahulu ditahan oleh gaya gesek antara permukaan komponen akibat gaya jepit. Namun pada sambungan tertentu, baut juga dapat menerima beban tarik, geser, atau kombinasi tarik dan geser.



Gambar 4. 2. Skema Sambungan Baut dan Mur Pada Dua Plat Yang Menerima Gaya Geser.

Baut dapat dibedakan berdasarkan bentuk kepala, jenis ulir, kelas kekuatan, dan fungsinya. Baut kepala heksagonal umum digunakan pada konstruksi mesin karena mudah dikencangkan menggunakan kunci pas atau kunci sok. Baut tanam digunakan ketika salah satu komponen tidak

memungkinkan pemasangan kepala baut. Baut socket head sering dipakai pada perakitan presisi karena bentuknya ringkas dan dapat ditanam pada permukaan komponen.

Mur berfungsi sebagai pasangan ulir baut untuk menghasilkan gaya jepit. Washer atau ring digunakan untuk memperluas bidang tekan, mengurangi kerusakan permukaan komponen, membantu distribusi gaya, serta pada tipe tertentu berfungsi mengurangi risiko kendur. Pada mesin yang mengalami getaran, penggunaan *spring washer*, *lock nut*, *thread locking adhesive*, atau sistem pengunci mekanik dapat dipertimbangkan.

| No. | Jenis Baut                                   | Bentuk / Ilustrasi | Ciri Utama                                                                                                                                              | Penggunaan Umum                                                                     | Contoh Aplikasi                                        |
|-----|----------------------------------------------|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| 1.  | Baut Kepala Heksagonal (Hex Bolt)            |                    | <ul style="list-style-type: none"><li>• Kepala segi enam</li><li>• Kuat dan mudah dikencangkan dengan kunci pas/ring</li></ul>                          | Untuk sambungan struktural umum yang memerlukan kekuatan tinggi.                    | Rangka baja, konstruksi mesin, flensa, dudukan motor.  |
| 2.  | Baut Kepala Silinder (Socket Head Cap Screw) |                    | <ul style="list-style-type: none"><li>• Kepala silinder dengan lubang segi enam (Allen)</li><li>• Cocok untuk ruang terbatas dan beban tinggi</li></ul> | Untuk mesin presisi, komponen yang membutuhkan pengencangan kuat dan tampilan rapi. | Mesin perkakas, cetakan, peralatan otomotif, robotika. |
| 3.  | Baut Kepala Bulat (Carriage Bolt)            |                    | <ul style="list-style-type: none"><li>• Kepala bulat dan leher kotak di bawah kepala</li><li>• Mencegah kepala berputar saat pengencangan</li></ul>     | Untuk sambungan yang sering terbuka-tutup atau pada material kayu / plat tipis.     | Konstruksi kayu, pagar, peralatan pertanian, gerobak.  |
| 4.  | Baut Kepala Datar (Countersunk Bolt)         |                    | <ul style="list-style-type: none"><li>• Kepala tirus (datar saat terpasang)</li><li>• Permukaan rata dan rata dengan material</li></ul>                 | Untuk permukaan yang harus rata atau aerodinamis.                                   | Panel mesin, bodi kendaraan, struktur pesawat.         |
| 5.  | Baut Flensa (Flange Bolt)                    |                    | <ul style="list-style-type: none"><li>• Kepala dengan flange (ring melekat)</li><li>• Mengurangi kebutuhan ring terpisah</li></ul>                      | Untuk sambungan yang memerlukan penyebaran beban dan pemasangan lebih cepat.        | Rangka otomotif, mesin, konstruksi baja ringan.        |
| 6.  | Baut T (Baut Kepala Martil / T-Bolt)         |                    | <ul style="list-style-type: none"><li>• Kepala berbentuk T atau martil</li><li>• Digunakan dengan mur dalam alur atau slot</li></ul>                    | Untuk sistem yang dapat diatur posisinya seperti pada profil aluminium.             | Rangka aluminium, meja mesin, konveyor, jig & fixture. |
| 7.  | Baut Eye (Eye Bolt)                          |                    | <ul style="list-style-type: none"><li>• Kepala berbentuk cincin</li><li>• Untuk pengangkatan atau penarikan beban</li></ul>                             | Untuk pengangkatan beban dan kait penarik.                                          | Pengangkatan mesin, cetakan, kapal, konstruksi.        |

Gambar 4. 3. Contoh Jenis Baut dan Penggunaannya

### 4.3 Sambungan Las

Sambungan las adalah sambungan permanen yang dibuat dengan menyatukan material melalui pemanasan, tekanan, atau kombinasi keduanya. Dalam konstruksi mesin, pengelasan banyak digunakan pada rangka, dudukan motor, bracket, hopper, cover, dan struktur pendukung. Kelebihan sambungan las adalah

konstruksi relatif ringan, tidak memerlukan lubang seperti sambungan baut, bentuk sambungan fleksibel, dan dapat menghasilkan struktur yang kaku.

Meskipun demikian, sambungan las memiliki kelemahan yang harus diperhatikan. Panas pengelasan dapat menimbulkan distorsi, tegangan sisa, perubahan struktur mikro, dan daerah terpengaruh panas atau *heat affected zone*. Selain itu, kualitas las sangat dipengaruhi oleh keterampilan operator, jenis elektroda, parameter pengelasan, kondisi permukaan, dan prosedur inspeksi. Pada komponen kritis, sambungan las perlu diuji melalui pemeriksaan visual, *dye penetrant*, *magnetic particle*, *ultrasonic test*, atau *radiographic test* sesuai kebutuhan.

#### 4.3.1 Jenis Sambungan Las

Jenis sambungan las yang umum digunakan antara lain butt joint, lap joint, T-joint, corner joint, dan edge joint. Pemilihan jenis sambungan dipengaruhi oleh bentuk komponen, arah beban, ketebalan material, akses pengelasan, serta kebutuhan kekuatan. Pada rangka mesin, fillet weld pada sambungan T dan lap joint sering digunakan karena praktis dan mudah diterapkan. Pada sambungan plat yang harus membentuk bidang rata, butt joint lebih sesuai.

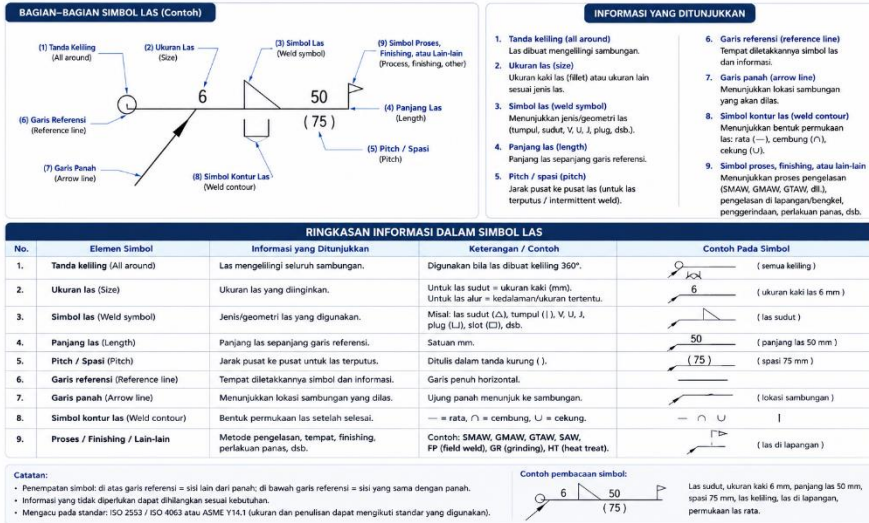
Dalam desain sambungan las, ukuran kaki las, panjang las, throat thickness, arah beban, dan kualitas penetrasi perlu diperhitungkan. Las yang terlalu kecil berisiko gagal, sedangkan las yang terlalu besar dapat menambah biaya, menimbulkan distorsi, dan tidak selalu meningkatkan kekuatan secara proporsional.

| No. | Jenis Sambungan Las                                               | Ilustrasi 3D | Penampang (Geometri Las) | Keterangan                                                                                 | Aplikasi Umum                                                         |
|-----|-------------------------------------------------------------------|--------------|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| 1.  | Sambungan Tumpul (Butt Joint)<br>Las Tumpul Persegi (Square Butt) |              |                          | Dua pelat berada pada bidang yang sama dan disambung pada tepinya. Persiapan tepi persegi. | Pelat tipis, tangki, saluran pipa, box, dan konstruksi ringan.        |
| 2.  | Sambungan Tumpul V Tunggal (Single V-Groove)                      |              |                          | Tepi pelat dibentuk V pada satu sisi untuk penetrasi penuh.                                | Pelat tebal, konstruksi baja, rangka mesin, bejana tekan.             |
| 3.  | Sambungan Tumpul X (Double V-Groove)                              |              |                          | Tepi pelat dibentuk V pada kedua sisi untuk penetrasi penuh.                               | Pelat sangat tebal pada struktur berat, bejana tekan, tekanan tinggi. |
| 4.  | Sambungan Tumpul U Tunggal (Single U-Groove)                      |              |                          | Tepi pelat dibentuk U pada satu sisi untuk penetrasi penuh.                                | Pelat tebal, pipa diameter besar, bejana tekan.                       |
| 5.  | Sambungan T (T-Joint) Las Fillet (Sudut)                          |              |                          | Dua pelat membentuk huruf T dan disambung dengan las sudut (fillet).                       | Rangka mesin, dudukan, penegar, konstruksi baja umum.                 |
| 6.  | Sambungan Sudut (Lap Joint)                                       |              |                          | Dua pelat saling tumpang tindih dan disambung dengan las sudut (fillet).                   | Pelat tipis, saluran udara, panel, konstruksi ringan.                 |
| 7.  | Sambungan Tepi (Edge Joint)                                       |              |                          | Tepi dua pelat disambung sejajar dan dilas pada sepanjang tepi.                            | Pelat tipis, penutup, tangki, saluran, panel.                         |
| 8.  | Sambungan Pipa ke Pipa/Flens (Pipe to Pipe / Pipe to Flange)      |              |                          | Pipa disambung ke pipa lain atau ke flens menggunakan las sudut (fillet) keliling.         | Sistem perpipaan, penukar panas, bejana tekan, industri kimia.        |

Gambar 4. 4. Contoh Geometri Sambungan Las yang Umum Digunakan Dalam Konstruksi Mesin.

#### 4.3.2 Simbol Las

Simbol las digunakan untuk menyampaikan informasi pengelasan pada gambar teknik. Simbol tersebut dapat menunjukkan jenis las, ukuran las, panjang las, posisi las, proses pengelasan, kontur permukaan, dan keterangan tambahan. Penggunaan simbol las yang benar penting agar informasi desain dapat dipahami oleh bagian manufaktur secara konsisten. Pada gambar kerja, simbol las biasanya terdiri atas garis referensi, anak panah, simbol dasar las, ukuran las, panjang las, dan ekor simbol apabila diperlukan untuk menuliskan proses atau spesifikasi. Kesalahan penempatan simbol dapat menyebabkan jenis atau ukuran las yang dibuat tidak sesuai dengan kebutuhan desain.



Gambar 4. 5. Informasi yang Umum Ditunjukkan Oleh Simbol Las

### 4.3.3 Kekuatan Sambungan Las

Kekuatan sambungan las merupakan kemampuan sambungan untuk menahan beban kerja tanpa mengalami retak, patah, deformasi berlebihan, atau kegagalan pada daerah las maupun logam induk. Dalam perancangan mesin, kekuatan sambungan las dipengaruhi oleh beberapa faktor utama, yaitu jenis sambungan, geometri las, panjang las efektif, ukuran kaki las, tebal throat, kekuatan logam las, kekuatan logam induk, kualitas penetrasi, arah pembebanan, serta kondisi operasi mesin.

Pada konstruksi rangka mesin, sambungan las banyak digunakan karena mampu menghasilkan konstruksi yang kuat, kaku, dan relatif ekonomis. Namun, kegagalan sambungan las dapat terjadi dalam beberapa bentuk, antara lain retak pada kaki las, patah pada logam las, robek pada logam induk, deformasi lokal, atau kegagalan akibat kelelahan pada sambungan yang menerima beban berulang. Oleh karena itu, sambungan las pada rangka mesin harus dirancang dengan mempertimbangkan arah

gaya, posisi sambungan, distribusi beban, dan kekakuan struktur secara keseluruhan.

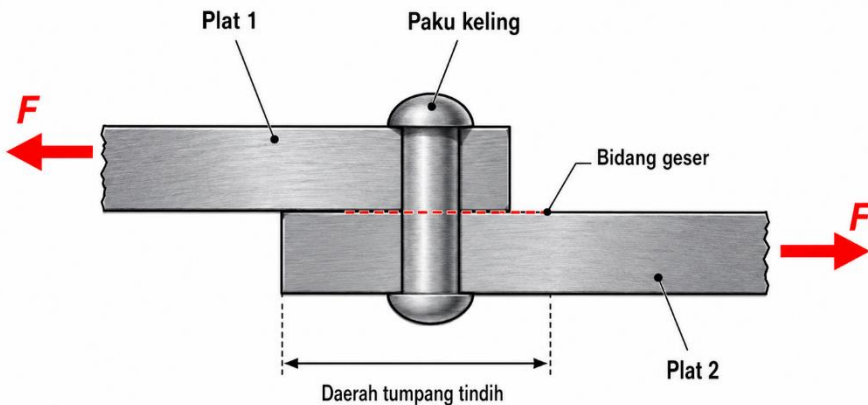
Pada struktur mesin yang menerima getaran atau beban dinamis, detail geometri las menjadi sangat penting. Ujung las, perubahan penampang, sudut tajam, dan ketidakrataan permukaan dapat menjadi lokasi konsentrasi tegangan. Konsentrasi tegangan ini dapat mempercepat terjadinya retak lelah, terutama pada mesin yang bekerja secara terus-menerus seperti mesin pencacah, pengaduk, conveyor, press, dan mesin produksi lainnya. Untuk mengurangi risiko tersebut, desain sambungan sebaiknya menghindari perubahan penampang yang mendadak, memastikan panjang las memadai, menggunakan pola las yang simetris, serta melakukan pemeriksaan visual atau inspeksi sederhana setelah proses pengelasan.

Dengan demikian, perancangan kekuatan sambungan las harus mempertimbangkan aspek mekanik, material, proses manufaktur, dan kondisi operasi. Sambungan las yang baik bukan hanya memiliki ukuran las yang cukup besar, tetapi juga memiliki geometri yang tepat, kualitas pengerjaan yang baik, distribusi beban yang seimbang, serta memenuhi faktor keamanan yang sesuai dengan fungsi dan tingkat risiko komponen mesin.

#### **4.4 Sambungan Paku Keling**

Sambungan paku keling adalah sambungan permanen yang dibuat dengan memasukkan paku keling ke dalam lubang komponen, kemudian ujungnya dibentuk sehingga mengunci komponen. Sambungan ini banyak digunakan pada konstruksi plat, struktur logam tipis, tangki, jembatan lama, boiler, dan aplikasi yang tidak memungkinkan atau tidak diinginkan menggunakan pengelasan. Pada bidang perancangan mesin modern, paku keling masih digunakan pada komponen lembaran, struktur ringan, dan aplikasi tertentu yang memerlukan sambungan permanen tanpa panas tinggi.

Keunggulan paku keling adalah tidak menimbulkan perubahan struktur mikro akibat panas seperti pengelasan, cocok untuk material yang sulit dilas, serta dapat diterapkan pada beberapa sambungan lembaran. Kelemahannya adalah memerlukan lubang yang dapat mengurangi luas penampang efektif, menambah berat, dan biasanya membutuhkan proses pemasangan khusus.



Gambar 4. 6. Skema Sambungan Paku Keling Pada Plat Tumpang

Pada sambungan paku keling, gaya luar dapat menyebabkan paku menerima geser, plat menerima tarik, serta lubang plat menerima tekanan tumpu. Oleh karena itu, pemeriksaan kekuatan tidak hanya dilakukan pada paku keling, tetapi juga pada plat yang disambung. Mode kegagalan yang umum adalah geser paku keling, robek plat pada penampang netto, tekanan tumpu berlebih di sekitar lubang, dan robek tepi plat.

Jumlah paku keling, diameter paku, jarak antar paku, jarak tepi, dan pola susunan paku menentukan kekuatan sambungan. Pola satu baris relatif sederhana, sedangkan pola zig-zag atau beberapa baris dapat meningkatkan kapasitas sambungan tetapi memerlukan desain lubang yang lebih teliti.

Tabel 4. 2. Mode Kegagalan Sambungan Paku Keling

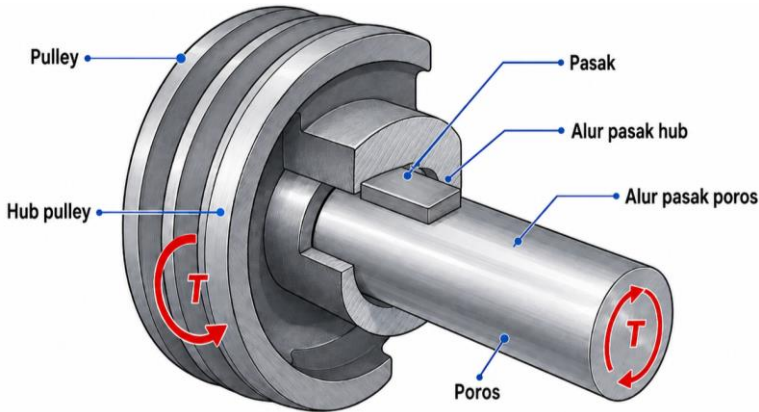
| Mode kegagalan    | Uraian                                           | Parameter yang diperiksa                  |
|-------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Geser paku keling | Paku terpotong akibat gaya melintang.            | Diameter paku, jumlah paku, bidang geser. |
| Tarik plat netto  | Plat robek pada garis lubang.                    | Luas penampang netto plat.                |
| Tekanan tumpu     | Dinding lubang plat tertekan berlebih.           | Diameter paku, tebal plat, gaya.          |
| Robek tepi        | Plat robek ke arah tepi akibat jarak tepi kecil. | Jarak tepi dan kekuatan plat.             |

#### 4.5 Sambungan Pasak

Pasak adalah elemen mesin yang digunakan untuk menghubungkan poros dengan hub pulley, sprocket, gear, roda gila, atau kopling sehingga torsi dapat diteruskan dari poros ke komponen tersebut atau sebaliknya. Pasak dipasang pada alur pasak yang dibuat pada poros dan hub. Sambungan pasak termasuk sambungan penerus daya dan sangat penting pada sistem transmisi mesin.

Fungsi utama pasak adalah mencegah slip relatif antara poros dan hub akibat torsi. Ketika poros berputar, gaya tangensial bekerja pada sisi pasak. Akibatnya, pasak mengalami tegangan geser, sedangkan permukaan kontak pasak dengan hub atau poros mengalami tekanan permukaan. Jika ukuran pasak tidak cukup, pasak dapat patah karena geser atau mengalami deformasi tekan pada bidang kontak.



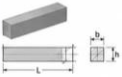
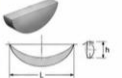
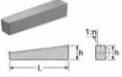


Gambar 4. 7. Ilustrasi Pasak Sebagai Penghubung Poros Dan *Hub Pulley*.

#### 4.5.1 Jenis Pasak

Jenis pasak yang umum digunakan antara lain pasak persegi, pasak sejajar, pasak tirus, pasak setengah lingkaran atau woodruff key, dan pasak tangensial. Pasak sejajar banyak digunakan karena sederhana dan mudah dibuat. Woodruff key cocok untuk poros kecil dan aplikasi yang memerlukan pemasangan relatif mudah. Pasak tirus dapat memberikan efek penguncian lebih kuat, tetapi memerlukan ketelitian pemasangan.

Pemilihan jenis pasak dipengaruhi oleh diameter poros, torsi yang diteruskan, ruang pemasangan, kebutuhan bongkar pasang, standar ukuran pasak, dan proses manufaktur alur pasak. Alur pasak harus dibuat dengan presisi karena dapat menjadi sumber konsentrasi tegangan pada poros.

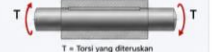
| No. | Jenis Pasak                         | Bentuk & Ilustrasi                                                                | Penampang Pemasangan                                                              | Karakteristik                                                                                                                                                                                                                           | Kelebihan                                                                                                                                                                           | Kekurangan                                                                                                                                                     | Aplikasi Umum                                                                                          |
|-----|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.  | Pasak Persegi (Square Key)          |  |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Bentuk persegi panjang</li> <li>Dipasang pada alur lurus pada poros dan hub</li> <li>Menahan torsi melalui sisi samping (tegangan geser) dan tekanan permukaan.</li> </ul>                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>Sederhana dan ekonomis</li> <li>Mudah dibuat</li> <li>Mudah dipasang dan dilepas</li> </ul>                                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Konsentrasi tegangan pada sudut alur</li> <li>Dapat melonggarkan poros/hub jika beban besar atau kejut</li> </ul>       | Sambungan umum pada mesin, pulley, sprocket, roda gigi, kopling, dll untuk beban ringan sampai sedang. |
| 2.  | Pasak Setengah Bulat (Woodruff Key) |  |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Bentuk setengah lingkaran</li> <li>Dipasang pada alur setengah lingkaran di poros, dan alur lurus di hub</li> <li>Cocok untuk torsi kecil dan perubahan posisi aksial sering terjadi.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Mudah dipasang/dilepas</li> <li>Menjaga posisi sudut dengan baik</li> <li>Mengurangi konsentrasi tegangan dibanding pasak persegi</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Kapasitas torsi lebih kecil dari pasak persegi</li> <li>Alur setengah lingkaran memerlukan poros lebih besar</li> </ul> | Pulley, roda gigi kecil, alat mesin, mekanisme pengunci posisi, beban ringan.                          |
| 3.  | Pasak Tirus (Taper Key)             |  |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Bentuk tirus (sisi atas lebih tebal)</li> <li>Tersangkut kuat karena efek baji (wedge)</li> <li>Menahan torsi dan gaya aksial (satu arah)</li> <li>Alur standar (misal. 1:100)</li> </ul>        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Mengunci lebih kuat (tidak mudah longgar)</li> <li>Dapat menahan gaya aksial</li> <li>Cocok untuk beban lebih besar</li> </ul>               | <ul style="list-style-type: none"> <li>Pemasangan/pembongkaran lebih sulit</li> <li>Perlu presisi pada pembuatan alur</li> </ul>                               | Roda gigi, pulley besar, kopling, sprocket, mesin berbeban sedang sampai berat.                        |
| 4.  | Pasak Spline (Spline Key)           |  |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Banyak gigi (alur memanjang) pada poros dan hub</li> <li>Mampu menyalurkan torsi lebih besar</li> <li>Beban terbagi merata pada banyak sisi.</li> </ul>                                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>Kapasitas torsi sangat besar</li> <li>Centering/kesekuran tinggi</li> <li>Cocok untuk beban berat dan beban kejut</li> </ul>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>Pembuatan lebih rumit dan mahal</li> <li>Tidak mudah dipasang/dilepas</li> </ul>                                        | Transmisi torsi tinggi pada gearbox, poros propeller, turbin, mesin berat, industri otomotif.          |
| 5.  | Pasak Tangensial (Feather Key)      |  |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Satu ujung setengah bulat, satu ujung rata</li> <li>Dipasang pada alur lurus</li> <li>Ujung bulat memudahkan pemasangan.</li> </ul>                                                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>Mudah dipasang</li> <li>Menjaga posisi sudut dengan baik</li> <li>Beban sedang</li> </ul>                                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Kapasitas torsi lebih kecil dari pasak persegi/tirus</li> <li>Tidak cocok untuk beban kejut tinggi</li> </ul>           | Pulley kecil, alat mesin, kipas, pompa, mekanisme ringan hingga sedang.                                |

**Catatan Umum:**

- Pasak bekerja menyalurkan torsi melalui tegangan geser dan tekanan permukaan pada alur.
- Pemilihan jenis pasak ditentukan oleh besar torsi, jenis beban (statik/dinamis/kejut), kebutuhan posisi sudut, dan kemudahan perakitan.
- Material pasak umumnya baja karbon menengah (S45C, AISI 1045, dll) dengan kekerasan lebih rendah dari poros/hub.

**Keterangan Simbol:**

- b = lebar pasak
- h = tinggi (tebal) pasak
- L = panjang pasak
- 1:m = kemiringan tirus (misal 1:100)



Gambar 4. 8. Jenis Pasak dan Karakteristiknya

## 4.5.2 Dasar Perhitungan Pasak

Perhitungan pasak biasanya dilakukan terhadap dua kemungkinan kegagalan, yaitu kegagalan geser dan kegagalan tekan permukaan. Torsi pada poros menghasilkan gaya tangensial pada radius poros. Gaya tangensial tersebut kemudian ditahan oleh luas bidang geser pasak dan luas bidang kontak pasak.

Secara sederhana, gaya tangensial pada pasak dapat dihitung dari hubungan antara torsi dan jari-jari poros. Setelah gaya tangensial diketahui, tegangan geser dan tegangan tekan permukaan dapat dihitung. Nilai tersebut dibandingkan dengan tegangan izin material pasak dengan faktor keamanan yang sesuai. Gaya tangensial pada pasak dihitung dengan persamaan berikut:

$$F = \frac{2T}{d}$$

Dengan:

F = gaya tangensial (N)

T = torsi (N.mm)

d = diameter poros (mm)

Tegangan geser dan tekan pada pasak:

$$\tau = \frac{F}{(b \times L)}$$
$$\sigma_c = \frac{F}{\left(\left(\frac{h}{2}\right) \times L\right)}$$

Dengan:

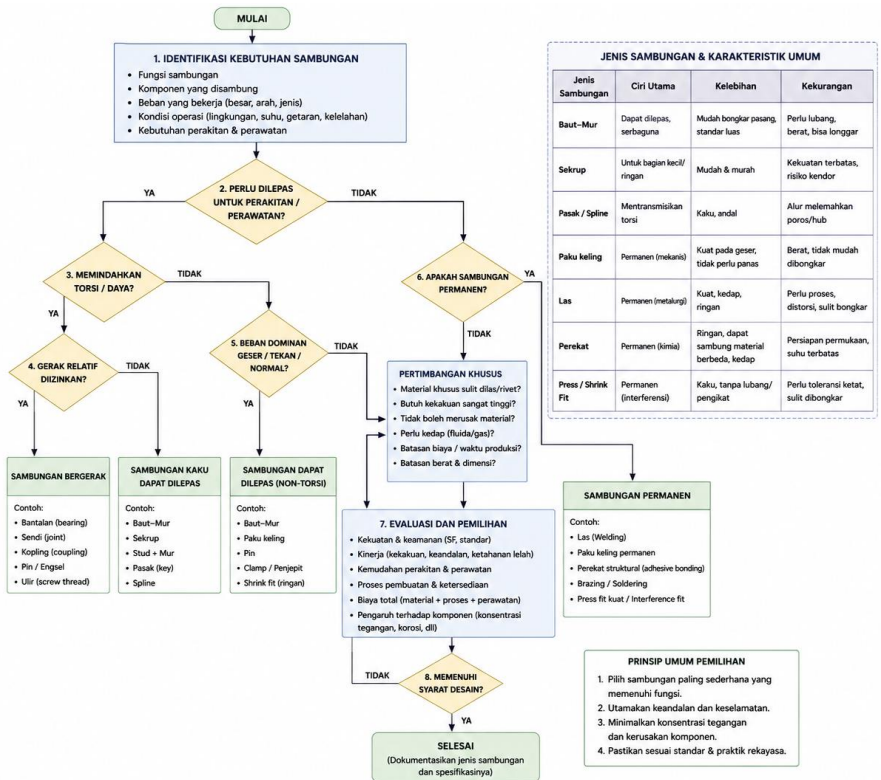
b = lebar pasak

h = tinggi pasak

L = panjang pasak.

## 4.6 Pemilihan Jenis Sambungan

Pemilihan jenis sambungan merupakan keputusan desain yang harus mempertimbangkan fungsi, kekuatan, biaya, proses manufaktur, kemudahan perawatan, dan keselamatan. Tidak ada jenis sambungan yang selalu paling baik untuk semua kondisi. Sambungan baut unggul untuk komponen yang perlu dibongkar, tetapi membutuhkan lubang dan dapat kendur akibat getaran. Sambungan las menghasilkan struktur yang kaku dan permanen, tetapi membutuhkan kualitas proses yang baik dan dapat menimbulkan distorsi. Paku keling cocok untuk material lembaran tertentu, sedangkan pasak digunakan khusus untuk meneruskan torsi pada poros.



Gambar 4. 9. Alur Pertimbangan Pemilihan Jenis Sambungan Pada Perancangan Mesin.

Dalam memilih sambungan, perancang perlu memahami kondisi operasi mesin. Mesin pencacah, crusher, screw press, atau mesin dengan beban kejut memerlukan sambungan yang tahan terhadap getaran dan beban tiba-tiba. Mesin pangan memerlukan sambungan yang mudah dibersihkan dan tahan korosi. Mesin yang sering dibongkar untuk perawatan harus menggunakan sambungan lepas pasang pada bagian akses utama.

Tabel 4. 3. Kriteria Pemilihan Sambungan Berdasarkan Kondisi Desain

| Kondisi desain                              | Jenis sambungan yang cenderung sesuai                      | Catatan teknis                                            |
|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Komponen perlu sering dibongkar             | Baut dan mur                                               | Gunakan washer pengunci atau lock nut bila ada getaran.   |
| Konstruksi rangka permanen                  | Las                                                        | Perhatikan urutan pengelasan dan distorsi.                |
| Material lembaran tipis sulit dilas         | Paku keling                                                | Periksa jarak antar lubang dan jarak tepi.                |
| Poros harus meneruskan torsi ke pulley/gear | Pasak                                                      | Periksa geser pasak dan tekanan permukaan.                |
| Lingkungan korosif                          | Stainless bolt, las sesuai material, pelapisan             | Perhatikan korosi galvanik antar material.                |
| Beban kejut atau getaran tinggi             | Baut terkunci, las dengan detail baik, pasak cukup panjang | Gunakan faktor keamanan lebih besar dan inspeksi berkala. |

# **BAB 5**

## **PERANCANGAN POROS**

Poros merupakan salah satu elemen mesin yang berperan penting dalam sistem mekanik karena berfungsi meneruskan daya, putaran, dan torsi dari satu komponen ke komponen lain. Dalam mesin produksi, poros dapat ditemukan pada sistem transmisi sabuk dan pulley, rantai dan sprocket, roda gigi, screw conveyor, screw press, mesin pencacah, mesin pengaduk, pompa, kompresor, kipas, dan berbagai mekanisme berputar lainnya. Kegagalan poros dapat menyebabkan berhentinya operasi mesin, kerusakan komponen lain, bahkan menimbulkan risiko keselamatan bagi operator.

Perancangan poros tidak hanya berkaitan dengan penentuan diameter berdasarkan torsi, tetapi juga mencakup analisis beban lentur, beban aksial, konsentrasi tegangan, kekakuan, defleksi, kecepatan kritis, pemilihan material, perlakuan panas, serta kesesuaian dengan elemen standar seperti bantalan, pasak, kopling, pulley, dan gear. Oleh karena itu, pembahasan poros harus ditempatkan sebagai bagian integral dari desain sistem transmisi daya dan struktur mesin secara keseluruhan (Budynas & Nisbett, 2015).

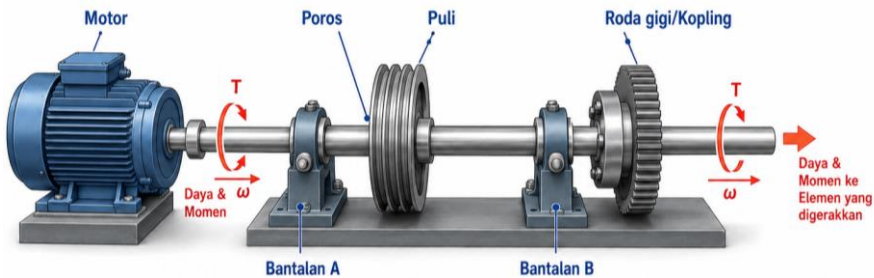
### **5.1 Pengertian dan Fungsi Poros**

Poros adalah komponen mekanik berbentuk batang, umumnya berpenampang lingkaran, yang digunakan untuk menopang komponen berputar atau meneruskan daya dan putaran. Dalam banyak aplikasi, poros bekerja bersama elemen lain seperti pulley, gear, sprocket, kopling, bantalan, roda gila, impeller, pisau pemotong, atau screw. Komponen-komponen

tersebut dipasang pada poros untuk menerima atau menyalurkan energi mekanik.

Fungsi utama poros adalah sebagai media transmisi daya. Daya dari motor penggerak diubah menjadi torsi dan putaran, kemudian diteruskan oleh poros menuju elemen kerja. Selain itu, poros juga berfungsi sebagai penopang komponen yang terpasang di atasnya, menjaga keselarasan rotasi, dan mempertahankan kestabilan sistem transmisi. Pada beberapa mesin, poros juga berfungsi sebagai elemen kerja langsung, misalnya poros pisau pada mesin pencacah atau poros ulir pada screw press.

Dalam perspektif perancangan mesin, poros harus memenuhi persyaratan kekuatan dan kekakuan. Persyaratan kekuatan berkaitan dengan kemampuan poros menahan tegangan akibat torsi, lentur, gaya aksial, dan kombinasi beban. Persyaratan kekakuan berkaitan dengan batas defleksi dan sudut puntir agar komponen yang terpasang tetap bekerja secara presisi. Poros yang terlalu kecil dapat patah atau melendut berlebihan, sedangkan poros yang terlalu besar menyebabkan mesin menjadi berat, mahal, dan tidak efisien.



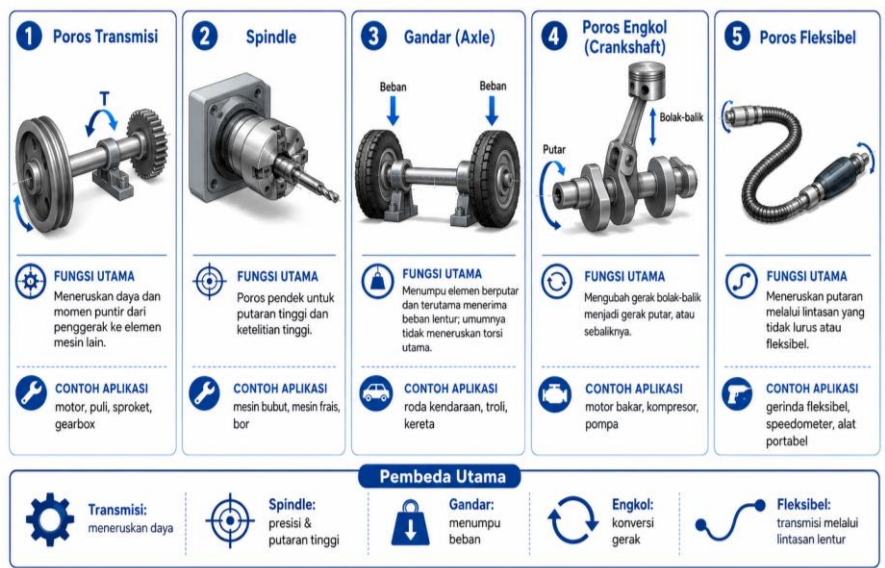
Gambar 5. 1. Fungsi Poros Dalam Sistem Transmisi Daya.

## 5.2 Jenis-Jenis Poros

Poros dalam perancangan mesin dapat dikelompokkan berdasarkan fungsi, kondisi kerja, dan cara pembebanannya. Istilah poros transmisi, spindle, axle, dan shaft sering digunakan untuk membedakan karakteristik kerja poros. Pemahaman terhadap jenis poros penting karena setiap jenis memiliki

parameter desain yang berbeda, terutama dalam hal pembebanan, toleransi, kekakuan, dan metode pemasangan.

Pada praktik industri, istilah shaft sering digunakan secara umum untuk menyebut komponen silindris yang berputar. Namun, dalam kajian elemen mesin, perbedaan istilah tetap berguna untuk memperjelas fungsi teknis komponen



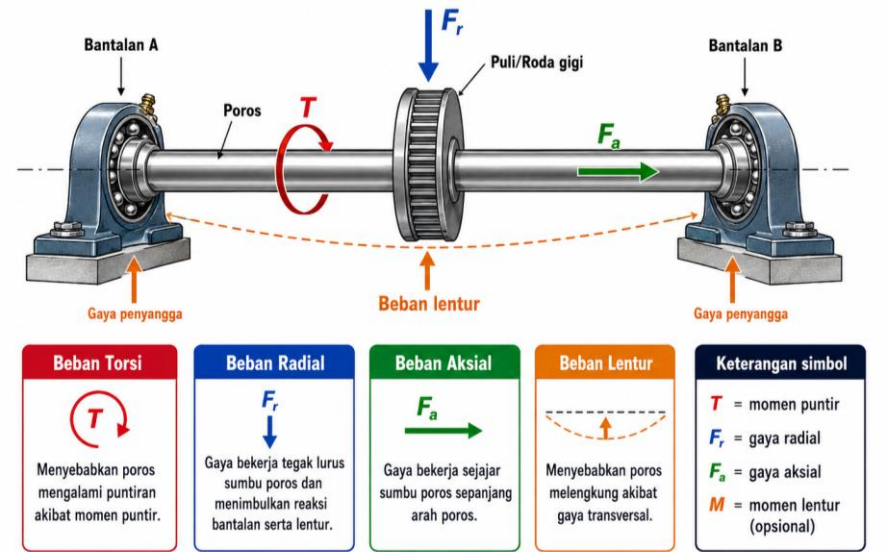
Gambar 5. 2. Ilustrasi Beberapa Jenis Poros Berdasarkan Fungsi Mekaniknya.

5.3 Beban pada Poros

Poros jarang menerima satu jenis beban saja. Pada umumnya, poros menerima kombinasi torsi, lentur, gaya radial, gaya aksial, beban kejut, dan beban berulang. Besar dan arah beban dipengaruhi oleh jenis elemen transmisi yang dipasang pada poros. Pulley menimbulkan gaya radial akibat tegangan sabuk, gear menimbulkan gaya tangensial dan radial, bevel gear dapat menimbulkan gaya aksial, sedangkan screw press dapat menimbulkan torsi besar dan gaya aksial dari proses penekanan material.



Analisis beban pada poros harus diawali dengan diagram benda bebas. Semua gaya dari pulley, sprocket, gear, kopling, beban kerja, berat komponen, dan reaksi bantalan digambarkan untuk menentukan besar momen lentur dan reaksi tumpuan. Hasil analisis ini digunakan untuk menentukan diameter poros dan memilih bantalan yang sesuai.



Gambar 5. 3. Ilustrasi Beban Torsi, Radial, Aksial, dan Lentur Pada Poros.

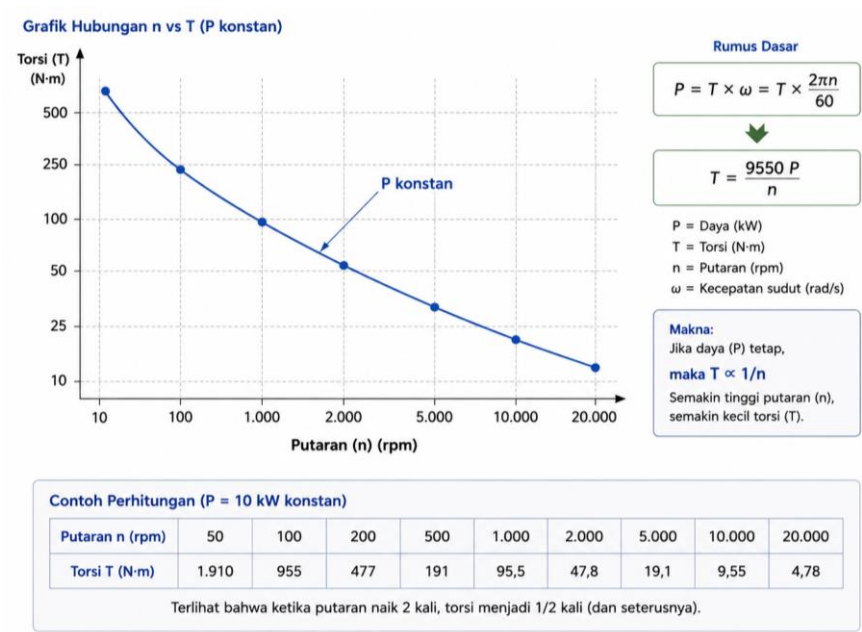
### 5.3.1 Beban Puntir

Beban puntir merupakan beban yang terjadi ketika poros menerima momen puntir atau torsi akibat proses pemindahan daya putar dari satu elemen mesin ke elemen lainnya. Torsi bekerja terhadap sumbu memanjang poros dan menyebabkan material poros mengalami tegangan geser puntir. Jenis beban ini umum dijumpai pada poros motor, poros transmisi, poros reducer, poros screw press, poros mesin pencacah, poros pengaduk, dan poros penggerak roda gigi atau pulley.

Dalam sistem transmisi daya, besarnya torsi yang bekerja pada poros dipengaruhi oleh daya yang ditransmisikan dan

kecepatan putaran poros. Pada kondisi daya yang sama, semakin rendah putaran poros, maka torsi yang dihasilkan semakin besar. Sebaliknya, semakin tinggi putaran poros, maka torsi yang diterima poros menjadi lebih kecil. Hubungan ini sangat penting dalam perancangan poros, terutama pada sistem yang menggunakan reducer atau penurun putaran.

Pada mesin dengan mekanisme reduksi putaran, seperti mesin pencacah, mesin pengaduk, screw press, dan conveyor, poros keluaran reducer umumnya menerima torsi yang lebih besar dibandingkan poros motor. Hal ini terjadi karena reducer menurunkan putaran sekaligus meningkatkan momen puntir pada poros keluaran. Oleh karena itu, poros keluaran reducer harus dirancang dengan diameter, material, dan faktor keamanan yang sesuai agar mampu menahan tegangan puntir yang terjadi selama operasi.



Gambar 5. 4. Hubungan Putaran dan Torsi Pada Daya Tetap.

Berdasarkan persamaan tersebut, dapat dipahami bahwa torsi berbanding lurus dengan daya dan berbanding terbalik dengan putaran. Artinya, peningkatan daya akan meningkatkan torsi, sedangkan peningkatan putaran akan menurunkan torsi apabila daya tetap. Dalam perancangan poros, nilai torsi ini digunakan sebagai dasar untuk menghitung tegangan geser, menentukan diameter poros, memilih material, serta menetapkan faktor keamanan yang sesuai.

### 5.3.2 Beban Lentur

Beban lentur merupakan beban yang terjadi ketika poros menerima gaya radial atau beban transversal yang bekerja tegak lurus terhadap sumbu poros. Gaya tersebut dapat berasal dari elemen mesin yang terpasang pada poros, seperti pulley, roda gigi, sprocket, kopling, impeller, pisau pencacah, maupun elemen kerja lainnya. Akibat adanya gaya transversal tersebut, poros cenderung mengalami lendutan dan di dalam penampang poros terbentuk momen lentur.

Pada poros yang ditumpu oleh dua bantalan, gaya radial dari elemen transmisi akan menghasilkan reaksi pada bantalan serta distribusi momen lentur sepanjang poros. Besarnya momen lentur bergantung pada besar gaya, jarak gaya terhadap tumpuan, serta posisi elemen yang membebani poros. Secara umum, momen lentur maksimum terjadi pada daerah di sekitar titik kerja gaya terbesar atau pada bagian poros di antara dua tumpuan yang menerima pembebanan dominan.

Pemeriksaan tegangan lentur sangat penting dalam perancangan poros karena poros umumnya bekerja dalam kondisi berputar. Pada poros berputar, tegangan lentur yang dialami oleh serat permukaan poros dapat berubah secara siklik. Bagian permukaan poros yang pada suatu saat mengalami tegangan tarik akan mengalami tegangan tekan setelah poros berputar setengah putaran. Perubahan tegangan tarik dan tekan secara berulang ini dapat menyebabkan kegagalan lelah apabila poros tidak dirancang dengan mempertimbangkan kekuatan lelah material, faktor keamanan, kualitas permukaan, serta

konsentrasi tegangan pada alur pasak, bahu poros, lubang, atau perubahan diameter.

5.3.3 Beban Aksial dan Beban Kombinasi

Beban aksial bekerja sejajar dengan sumbu poros. Beban ini dapat muncul pada poros *screw press*, *bevel gear*, *worm gear*, pompa, kompresor, atau komponen yang menghasilkan gaya dorong sepanjang sumbu. Walaupun pada beberapa sistem beban aksial relatif kecil, pengaruhnya tetap perlu diperhitungkan karena dapat memengaruhi pemilihan bantalan dan sambungan.

Dalam banyak kasus, poros menerima kombinasi antara torsi dan lentur. Untuk desain awal poros ulet, pendekatan tegangan ekuivalen dapat digunakan dengan teori kegagalan seperti maximum shear stress atau distortion energy. Pada tahap desain lanjutan, faktor kelelahan, faktor ukuran, faktor permukaan, faktor keandalan, dan faktor konsentrasi tegangan perlu diperhatikan (Juvinall & Marshek, 2017; Budynas & Nisbett, 2015).

Tabel 5. 1. Sumber Beban Pada Poros

| Sumber beban                | Jenis beban dominan                | Implikasi desain                                                     |
|-----------------------------|------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Pulley dan sabuk            | Torsi dan gaya radial              | Periksa lentur poros, torsi, dan reaksi bantalan.                    |
| Roda gigi lurus             | Torsi, gaya tangensial, dan radial | Periksa momen lentur pada dua bidang dan tegangan kontak gear.       |
| <i>Bevel gear/worm gear</i> | Torsi, radial, dan aksial          | Gunakan bantalan yang mampu menahan gaya aksial.                     |
| Screw press                 | Torsi besar dan gaya aksial        | Periksa diameter poros, thrust <i>Bearing</i> , dan kekakuan puntir. |
| Pisau pencacah              | Torsi, lentur, dan beban kejut     | Gunakan faktor keamanan lebih tinggi dan material tangguh.           |

## 5.4 Perhitungan Diameter Poros

Perhitungan diameter poros bertujuan menentukan ukuran minimum poros agar mampu menahan beban kerja dengan aman. Pada tahap awal, diameter poros dapat dihitung berdasarkan torsi murni. Namun, pada desain yang lebih realistis, poros harus diperiksa terhadap kombinasi torsi dan lentur. Diameter yang diperoleh dari perhitungan awal perlu disesuaikan dengan ukuran standar *Bearing*, pulley, pasak, kopling, dan toleransi manufaktur.

Pemilihan diameter poros tidak boleh hanya didasarkan pada kekuatan statis. Defleksi, sudut puntir, getaran, kecepatan kritis, dan fatigue juga harus dipertimbangkan. Pada mesin dengan beban kejut, diameter poros umumnya dibuat lebih besar atau menggunakan material dengan kekuatan dan ketangguhan lebih tinggi.

### 5.4.1 Diameter Poros Berdasarkan Torsi Murni

Perhitungan diameter poros berdasarkan torsi murni dilakukan apabila poros hanya menerima beban puntir tanpa pengaruh momen lentur yang signifikan. Kondisi ini dapat dijumpai pada poros transmisi yang bekerja terutama untuk meneruskan daya putar, dengan gaya radial atau beban transversal yang relatif kecil.

Pada poros pejal berbentuk lingkaran, torsi yang bekerja akan menimbulkan tegangan geser maksimum pada permukaan luar poros. Tegangan geser ini berbanding lurus dengan besar torsi dan berbanding terbalik dengan ukuran penampang poros. Semakin besar torsi yang ditransmisikan, semakin besar pula diameter poros yang diperlukan agar tegangan geser tidak melebihi tegangan izin material. Hubungan dasar antara torsi dan tegangan geser pada poros pejal adalah:

$$\tau = \frac{16T}{\pi d^3}$$

Dari persamaan tersebut, diameter minimum poros pejal dapat ditentukan dengan:

$$d = \sqrt[3]{\frac{16T}{\pi\tau_{izin}}}$$

Dengan:

- $\tau$  = Tegangan geser akibat torsi (MPa atau N/mm<sup>2</sup>)
- $T$  = Torsi yang bekerja pada poros (N·mm)
- $d$  = Diameter poros pejal (mm)
- $\tau_{izin}$  = Tegangan geser izin material (MPa atau N/mm<sup>2</sup>)

Dalam penerapannya, satuan harus digunakan secara konsisten. Jika tegangan geser izin dinyatakan dalam N/mm<sup>2</sup>, maka torsi sebaiknya dinyatakan dalam N·mm agar diameter yang diperoleh berada dalam satuan milimeter. Nilai diameter hasil perhitungan kemudian dibulatkan ke ukuran standar yang tersedia di pasaran atau disesuaikan dengan kebutuhan pemasangan elemen mesin seperti bantalan, *pulley*, *sprocket*, kopling, dan roda gigi.

#### 5.4.2 Diameter Poros Berdasarkan Kombinasi Lentur dan Puntir

Dalam praktik perancangan mesin, poros jarang hanya menerima torsi murni. Poros umumnya menerima kombinasi antara momen puntir dan momen lentur secara bersamaan. Torsi timbul akibat transmisi daya putar, sedangkan momen lentur terjadi akibat gaya radial dari *pulley*, roda gigi, *sprocket*, kopling, berat komponen, atau beban kerja lainnya.

Kombinasi beban lentur dan puntir perlu diperhitungkan karena keduanya menghasilkan tegangan yang berbeda pada poros. Momen lentur menyebabkan tegangan normal tarik dan tekan, sedangkan torsi menyebabkan tegangan geser. Jika kedua tegangan tersebut bekerja secara bersamaan, maka perancangan diameter poros harus mempertimbangkan kondisi tegangan gabungan agar poros aman terhadap kegagalan statik maupun kegagalan lelah.

Untuk desain awal, salah satu pendekatan yang umum digunakan adalah torsi ekuivalen. Torsi ekuivalen merupakan nilai torsi pengganti yang memperhitungkan pengaruh momen

lentur dan torsi secara bersamaan. Faktor koreksi dapat ditambahkan untuk mempertimbangkan pengaruh beban kejut, beban berulang, atau variasi kondisi operasi.

Pendekatan torsi ekuivalen untuk poros pejal dapat dituliskan sebagai berikut:

$$T_e = \sqrt{(K_b M)^2 + (K_t T)^2}$$

Diameter poros kemudian dapat dihitung dengan persamaan:

$$d = \sqrt[3]{\frac{16T_e}{\pi\tau_{izin}}}$$

Dengan:

- $T_e$  = Torsi ekuivalen (N·mm)
- $M$  = Momen lentur yang bekerja pada poros (N·mm)
- $T$  = Torsi atau momen puntir (N·mm)
- $K_b$  = Faktor koreksi untuk beban lentur
- $K_t$  = Faktor koreksi untuk beban puntir
- $d$  = Diameter poros pejal (mm)
- $\tau_{izin}$  = Tegangan geser izin material (MPa atau N/mm<sup>2</sup>)

Faktor koreksi  $K_b$  dan  $K_t$  digunakan untuk memperhitungkan kondisi pembebanan yang tidak sepenuhnya statis. Pada beban yang relatif halus dan konstan, nilai faktor koreksi dapat dibuat lebih kecil. Sebaliknya, pada beban yang mengalami kejutan, fluktuasi, atau pembebanan berulang, nilai faktor koreksi perlu ditingkatkan agar desain poros lebih aman.

Dalam perancangan poros, diameter hasil perhitungan sebaiknya tidak langsung digunakan sebagai ukuran akhir. Diameter tersebut perlu dievaluasi kembali dengan mempertimbangkan alur pasak, bahu poros, ulir, lubang, perubahan diameter, kualitas permukaan, jenis material, proses manufaktur, serta ukuran standar bantalan dan elemen transmisi yang digunakan. Bagian seperti alur pasak dan perubahan diameter dapat menimbulkan konsentrasi tegangan sehingga perlu diberi perhatian khusus dalam desain akhir.

## 5.5 Konsentrasi Tegangan pada Poros

Konsentrasi tegangan adalah peningkatan tegangan lokal pada bagian tertentu akibat perubahan geometri atau adanya diskontinuitas bentuk. Pada poros, konsentrasi tegangan dapat muncul pada alur pasak, perubahan diameter, fillet, lubang, ulir, alur snap ring, goresan permukaan, dan bekas proses pemesinan. Walaupun tegangan rata-rata terlihat aman, tegangan lokal pada daerah konsentrasi dapat menjadi jauh lebih tinggi dan memicu retak awal.

Pengaruh konsentrasi tegangan sangat penting pada poros yang bekerja dengan beban berulang. Retak fatigue sering dimulai dari daerah alur pasak atau perubahan diameter yang memiliki radius fillet kecil. Oleh karena itu, desain poros harus menghindari sudut tajam dan menggunakan radius fillet yang memadai. Permukaan poros juga perlu dikerjakan dengan kualitas yang sesuai agar tidak menimbulkan cacat mikro.



Gambar 5. 5. Beberapa Sumber Konsentrasi Tegangan Pada Poros.

Dalam literatur desain, pengaruh geometri terhadap tegangan lokal dinyatakan dengan faktor konsentrasi tegangan teoritis,  $K_t$ . Untuk desain fatigue, faktor tersebut dapat dimodifikasi menjadi faktor konsentrasi tegangan lelah,  $K_f$ , yang



mempertimbangkan sensitivitas takik material. Nilai  $K_t$  dan  $K_f$  biasanya diperoleh dari grafik atau tabel standar desain elemen mesin (Budynas & Nisbett, 2015).

## 5.6 Pemilihan Material Poros

Material poros harus memiliki kombinasi kekuatan, ketangguhan, kekerasan, ketahanan aus, kemampuan mesin, dan ketersediaan yang baik. Baja karbon sedang merupakan material umum untuk poros karena memiliki kekuatan yang cukup, mudah dikerjakan, dan ekonomis. Untuk beban lebih tinggi atau kondisi operasi berat, baja paduan dapat digunakan karena menawarkan kekuatan dan ketahanan fatigue yang lebih baik.

Pemilihan material poros harus disesuaikan dengan jenis beban, lingkungan operasi, proses manufaktur, dan biaya. Pada mesin pangan atau lingkungan korosif, stainless steel dapat dipilih karena ketahanan korosinya. Pada mesin ringan yang membutuhkan bobot rendah, aluminium dapat digunakan, namun kekuatan dan ketahanan ausnya perlu dievaluasi. Untuk poros dengan kebutuhan ketahanan aus tinggi, perlakuan panas atau pengerasan permukaan dapat diterapkan.

| Material                                | Kekuatan Tarik (MPa) | Kekuatan Lelah (MPa) | Kekerasan (HRC) | Ketangguhan (Impact) | Ketahanan Korosi | Kemampuan Pemisahan | Berat Jenis (g/cm <sup>3</sup> ) |
|-----------------------------------------|----------------------|----------------------|-----------------|----------------------|------------------|---------------------|----------------------------------|
| AISI 1045 (Carbon Steel)                | 600                  | 240                  | 150 - 200       | Sedang               | Rendah           | Baik                | 7,85                             |
| AISI 4140 (Alloy Steel)                 | 850                  | 450                  | 250 - 300       | Baik                 | Rendah - Sedang  | Baik                | 7,85                             |
| AISI 4340 (Nickel Chromium Alloy Steel) | 1.250                | 650                  | 300 - 380       | Baik                 | Rendah - Sedang  | Sedang              | 7,85                             |
| Stainless Steel 304                     | 520                  | 210                  | 150 - 200       | Sangat Baik          | Sangat Baik      | Sedang              | 8,00                             |
| Aluminium 7075-T6                       | 570                  | 160                  | 150             | Sedang               | Sedang - Baik    | Baik                | 2,81                             |

Catatan:  
• Nilai bersifat perkiraan umum (rentang dapat berubah tergantung perlakuan panas, proses, dan standar).  
• Pemilihan material harus mempertimbangkan beban, lingkungan kerja, kelelahan, korosi, dan biaya.

Rendah → Sedang → Baik → Sangat Baik

Gambar 5. 6. Perbandingan Sederhana Karakter Beberapa Material Poros.

Dalam buku Material Teknik, pemilihan material ditekankan sebagai proses yang perlu memperhatikan sifat mekanik, karakteristik material, dan kesesuaian penggunaan terhadap fungsi komponen. Prinsip tersebut sejalan dengan perancangan poros karena poros bekerja sebagai elemen

struktural sekaligus elemen transmisi daya (Abbas & Saputra, 2025).

Tabel 5. 2. Material Umum Untuk Poros

| Material           | Karakteristik                                                     | Aplikasi umum                                                    |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| Baja karbon rendah | Mudah dilas dan dikerjakan, tetapi kekuatan relatif lebih rendah. | Poros ringan, pin, komponen non-kritis.                          |
| Baja karbon sedang | Kekuatan baik, ekonomis, dapat diberi perlakuan panas.            | Poros transmisi, poros pulley, poros mesin skala kecil-menengah. |
| Baja paduan        | Kekuatan dan ketahanan fatigue tinggi, cocok untuk beban berat.   | Poros gear box, drive shaft, crankshaft, poros beban tinggi.     |
| Stainless steel    | Tahan korosi dan sesuai untuk lingkungan higienis.                | Poros mesin pangan, farmasi, kimia, dan lingkungan korosif.      |
| Aluminium paduan   | Ringan, mudah dikerjakan, namun kekuatan dan keausan terbatas.    | Poros ringan, prototipe, mekanisme dengan beban rendah.          |

Selain jenis material, perancang perlu memperhatikan proses perlakuan panas. Proses hardening dapat meningkatkan kekerasan dan ketahanan aus, sedangkan tempering digunakan untuk mengurangi kerapuhan setelah pengerasan. Normalizing dapat memperbaiki struktur mikro dan keseragaman sifat, sedangkan carburizing bermanfaat untuk menghasilkan permukaan keras dengan inti yang tetap lebih ulet. Pemilihan perlakuan panas harus dikaitkan dengan mode kegagalan dominan pada poros, apakah aus, fatigue, puntir, lentur, atau kombinasi di antaranya.



# **BAB 6**

## **PERANCANGAN BANTALAN**

Bantalan merupakan elemen mesin yang berfungsi menopang poros, mengarahkan gerakan relatif, serta mengurangi gesekan antara komponen yang bergerak. Dalam sistem mekanik, bantalan berperan penting dalam menjaga kestabilan putaran, mengurangi kehilangan energi akibat gesekan, serta memperpanjang umur pakai poros dan komponen transmisi daya. Tanpa bantalan yang sesuai, poros dapat mengalami getaran berlebih, kenaikan temperatur, keausan, ketidaksejajaran, dan kegagalan dini.

Perancangan bantalan tidak hanya berkaitan dengan pemilihan ukuran berdasarkan diameter poros, tetapi juga harus mempertimbangkan jenis beban, besar putaran, kondisi pelumasan, lingkungan kerja, umur rencana, kemudahan pemasangan, serta perawatan. Bab ini menyajikan prinsip dasar perancangan bantalan sebagai rujukan teknis dalam pemilihan bantalan untuk mesin produksi, mesin pengolahan, sistem transmisi, dan konstruksi mekanik lainnya.

### **6.1 Fungsi Bantalan**

Bantalan adalah elemen mesin yang ditempatkan di antara poros dan rumah atauudukan bantalan untuk memungkinkan poros berputar atau bergerak dengan gesekan yang terkendali. Fungsi utama bantalan adalah menopang beban dari poros dan komponen yang terpasang pada poros, seperti pulley, sprocket, roda gigi, impeller, pisau, screw, atau rotor.

Selain menopang beban, bantalan juga menjaga posisi geometris poros agar tetap berada pada lintasan putar yang benar. Keselarasan poros sangat penting karena penyimpangan kecil dapat meningkatkan getaran, menghasilkan panas, mempercepat keausan, dan menurunkan efisiensi transmisi daya. Pada mesin berputar, bantalan juga berperan sebagai elemen yang mengendalikan gesekan dan mendistribusikan beban secara merata.



Gambar 6. 1. Fungsi Bantalan Dalam Menopang Poros dan Mengurangi Gesekan.

Dalam konteks perancangan mesin, bantalan harus dipilih berdasarkan fungsi komponen yang didukungnya. Poros transmisi dengan putaran tinggi memerlukan bantalan yang memiliki kemampuan berputar halus dan panas operasi rendah. Poros screw press atau mesin pencacah membutuhkan bantalan yang mampu menahan beban radial besar, beban kejut, serta kemungkinan kontaminasi dari debu, serpihan, atau material proses.

Tabel 6. 1. Fungsi Utama Bantalan Dalam Sistem Mesin

| Fungsi             | Penjelasan Teknis                                                                          | Implikasi Desain                                                    |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Menopang poros     | Menahan beban radial, aksial, atau kombinasi yang bekerja pada poros.                      | Kapasitas beban bantalan harus lebih besar dari beban kerja desain. |
| Mengurangi gesekan | Mengubah kontak langsung menjadi kontak luncur atau gelinding dengan gesekan lebih rendah. | Menurunkan kehilangan daya, panas, dan keausan.                     |

| Fungsi               | Penjelasan Teknis                                                       | Implikasi Desain                                           |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| Menjaga keselarasan  | Menahan poros agar tetap berada pada posisi dan sumbu putarnya.         | Mencegah getaran, misalignment, dan kegagalan sambungan.   |
| Mendukung putaran    | Memungkinkan poros berputar pada putaran kerja tertentu secara stabil.  | Kecepatan batas bantalan harus sesuai dengan rpm operasi.  |
| Memudahkan perawatan | Unit <i>Bearing</i> tertentu dapat diganti dan dilumasi secara berkala. | Memengaruhi pemilihan housing, seal, dan sistem pelumasan. |

## 6.2 Jenis-Jenis Bantalan

Bantalan dapat diklasifikasikan berdasarkan mekanisme kontakannya menjadi bantalan luncur dan bantalan gelinding. Bantalan luncur bekerja melalui kontak geser antara permukaan poros dan permukaan bantalan yang dipisahkan oleh lapisan pelumas. Bantalan gelinding menggunakan elemen gelinding berupa bola atau rol untuk mengurangi gesekan dan meningkatkan efisiensi putaran.

Pemilihan jenis bantalan sangat dipengaruhi oleh arah beban, besar beban, kecepatan putar, kekakuan yang dibutuhkan, ruang pemasangan, harga, dan kondisi lingkungan. Pada mesin sederhana skala kecil hingga menengah, bantalan gelinding seperti ball *Bearing*, roller *Bearing*, dan pillow block *Bearing* banyak digunakan karena mudah diperoleh, mudah dipasang, dan memiliki katalog teknis yang lengkap.

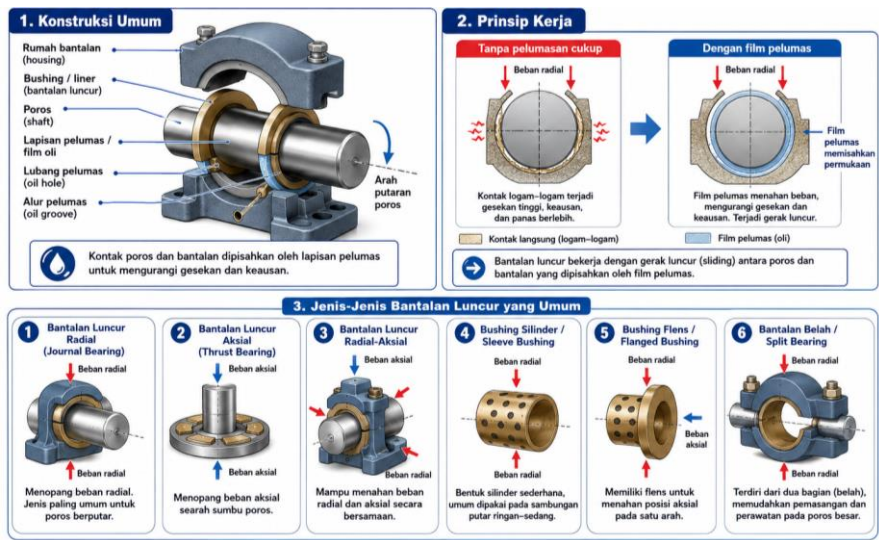
### 6.2.1 Bantalan Luncur/*Sliding Bearing*

Bantalan luncur atau sliding *Bearing* merupakan bantalan yang bekerja berdasarkan gerakan relatif meluncur antara poros dan permukaan bantalan. Pada bantalan jenis ini, poros ditumpu oleh permukaan luncur yang umumnya berupa bushing, liner, atau lapisan bantalan. Pada kondisi kerja yang baik, kedua permukaan tidak bersentuhan secara langsung karena dipisahkan oleh lapisan pelumas. Lapisan pelumas tersebut

berfungsi mengurangi gesekan, menurunkan keausan, serta membantu membuang panas yang timbul selama operasi.

Bantalan luncur banyak digunakan pada mesin berukuran besar, mesin dengan beban tinggi, turbin, kompresor, crankshaft, pompa industri, dan sistem yang memerlukan kemampuan meredam getaran. Dibandingkan bantalan gelinding, bantalan luncur memiliki konstruksi yang lebih sederhana dan mampu menahan beban besar pada diameter poros yang relatif besar. Selain itu, bantalan ini dapat bekerja lebih senyap karena tidak memiliki elemen gelinding seperti bola atau rol.

Keunggulan bantalan luncur antara lain konstruksi sederhana, kemampuan menahan beban besar, kerja relatif senyap, kemampuan meredam getaran, serta sesuai untuk poros berdiameter besar. Namun, bantalan ini membutuhkan sistem pelumasan yang baik dan berkelanjutan. Kekurangan pelumas dapat menyebabkan kontak logam langsung, peningkatan temperatur, keausan berlebih, bahkan kegagalan bantalan. Selain itu, gesekan awal pada saat poros mulai berputar umumnya lebih besar dibandingkan bantalan gelinding.

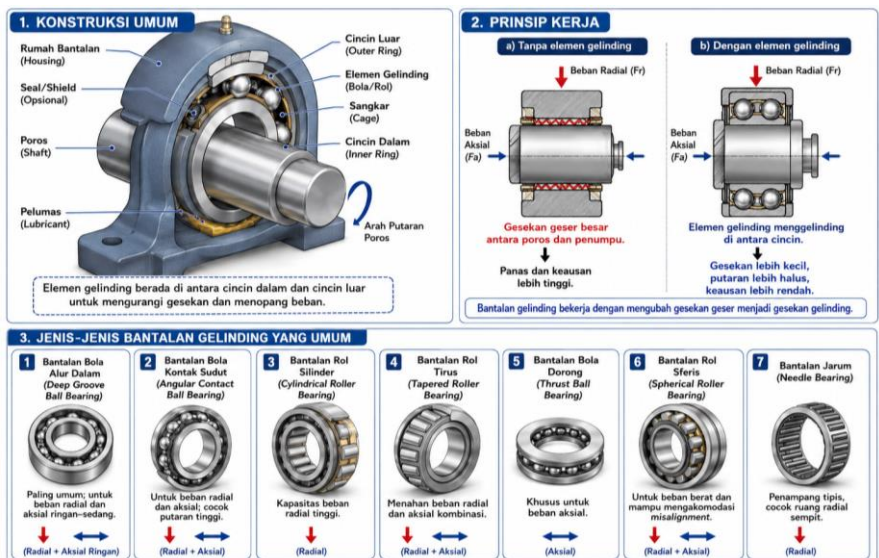


Gambar 6. 2. Bantalan Luncur/Sliding Bearing

## 6.2.2 Bantalan Gelinding

Bantalan gelinding merupakan bantalan yang menggunakan elemen gelinding berupa bola atau rol yang ditempatkan di antara cincin dalam dan cincin luar. Cincin dalam umumnya terpasang pada poros, sedangkan cincin luar terpasang pada rumah bantalan atau dudukan mesin. Elemen gelinding berfungsi mengubah gesekan luncur menjadi gesekan gelinding sehingga rugi gesek menjadi lebih kecil dan putaran poros menjadi lebih halus.

Bantalan gelinding banyak digunakan pada motor listrik, poros transmisi, conveyor, pompa, kipas, mesin pengaduk, mesin pencacah, gearbox, dan berbagai sistem putar lainnya. Jenis bantalan ini tersedia dalam berbagai ukuran dan seri standar sehingga mudah dipilih berdasarkan katalog pabrikan. Kemudahan pemasangan, ketersediaan luas, dan performa putaran yang baik menjadikan bantalan gelinding sebagai salah satu jenis bantalan yang paling banyak digunakan dalam perancangan mesin.



Gambar 6. 3. Bantalan Gelinding/Rolling Bearing



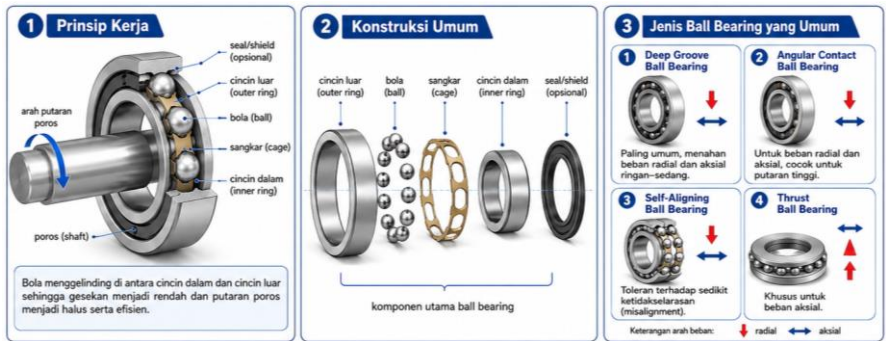
Pemilihan bantalan gelinding umumnya dilakukan berdasarkan diameter dalam, diameter luar, lebar bantalan, kapasitas beban dinamis, kapasitas beban statis, kecepatan maksimum, jenis seal atau shield, toleransi, metode penguncian, serta kondisi pelumasan. Data katalog sangat penting karena setiap seri bantalan memiliki batas operasi yang berbeda. Pemilihan yang tidak sesuai dapat menyebabkan panas berlebih, getaran, keausan dini, atau kerusakan bantalan.

### 6.2.3 *Ball Bearing*

*Ball Bearing* adalah jenis bantalan gelinding yang menggunakan elemen berbentuk bola. Kontak antara bola dan lintasan cincin terjadi pada area yang relatif kecil sehingga gaya gesek rendah dan bantalan mampu bekerja pada putaran tinggi. Oleh karena itu, *ball Bearing* banyak digunakan pada aplikasi dengan beban ringan hingga sedang dan membutuhkan putaran halus.

Salah satu jenis *ball Bearing* yang paling umum digunakan adalah *deep groove ball Bearing*. Tipe ini bersifat serbaguna karena mampu menerima beban radial dan sebagian beban aksial dari dua arah. *Deep groove ball Bearing* banyak ditemukan pada motor listrik, kipas, pompa kecil, mesin perkakas ringan, conveyor ringan, dan berbagai peralatan mekanik umum. Untuk aplikasi yang dominan menerima beban aksial, *thrust ball Bearing* dapat digunakan karena konstruksinya dirancang khusus untuk menahan gaya sepanjang sumbu poros.

Kelebihan *ball Bearing* meliputi gesekan rendah, putaran halus, ketersediaan luas di pasaran, biaya relatif ekonomis, serta pemasangan yang cukup mudah. Namun, kapasitas beban radialnya umumnya lebih rendah dibandingkan *roller Bearing* dengan ukuran yang sebanding. Oleh karena itu, *ball Bearing* lebih sesuai untuk sistem dengan beban ringan hingga sedang, kecepatan tinggi, dan kebutuhan perawatan yang relatif sederhana.



Gambar 6. 4. *Ball Bearing*

#### 6.2.4 *Roller Bearing*

*Roller Bearing* merupakan bantalan gelinding yang menggunakan elemen berbentuk rol. Bentuk rol memberikan area kontak yang lebih besar antara elemen gelinding dan raceway dibandingkan bola pada *ball Bearing*. Dengan area kontak yang lebih luas, *roller Bearing* mampu menahan beban radial yang lebih tinggi dan lebih sesuai untuk aplikasi berat.

Beberapa jenis *roller Bearing* yang umum digunakan antara lain *cylindrical roller Bearing*, *tapered roller Bearing*, *needle roller Bearing*, dan *spherical roller Bearing*. *Cylindrical roller Bearing* sesuai untuk beban radial besar dan putaran sedang hingga tinggi. *Tapered roller Bearing* sesuai untuk kombinasi beban radial dan aksial, terutama pada roda kendaraan, gearbox, dan sistem transmisi. *Needle roller Bearing* digunakan pada ruang radial terbatas karena memiliki diameter rol yang kecil. *Spherical roller Bearing* sesuai untuk beban berat serta kondisi tertentu yang memungkinkan terjadinya ketidaksejajaran atau *misalignment*.



Gambar 6.5. *Roller Bearing*

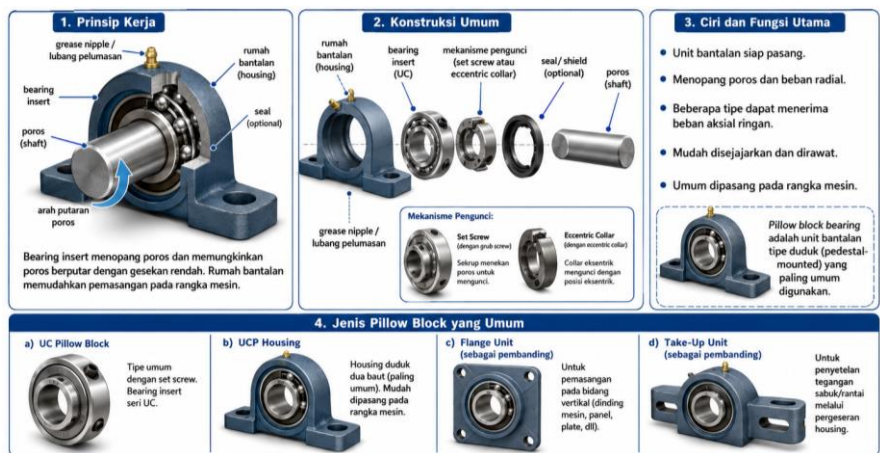
Dalam perancangan mesin berat, *roller Bearing* sering dipilih untuk poros yang menerima beban tinggi, beban kejut, atau beban berulang. Namun, *roller Bearing* biasanya memiliki harga lebih tinggi, pemasangan lebih sensitif, dan memerlukan ketelitian alignment yang baik. Selain itu, kecepatan batas beberapa jenis *roller Bearing* umumnya lebih rendah dibandingkan *ball Bearing* dengan ukuran tertentu.

### 6.2.5 *Pillow Block Bearing*

*Pillow block Bearing* merupakan unit bantalan siap pasang yang terdiri atas *Bearing* insert dan rumah bantalan. Rumah bantalan biasanya dilengkapi lubang baut sehingga dapat dipasang langsung pada rangka atauudukan mesin. Konstruksi ini memudahkan pemasangan, penyetelan, serta perawatan, terutama pada mesin yang menggunakan poros panjang dan membutuhkan tumpuan di beberapa titik.

*Pillow block Bearing* banyak digunakan pada mesin skala UMKM, conveyor, mesin pengaduk, mesin pencacah, mesin pertanian, sistem transmisi sederhana, dan peralatan produksi yang membutuhkan pemasangan praktis. Pada banyak tipe, *Bearing* insert dilengkapi mekanisme penguncian terhadap poros, seperti baut pengunci, eccentric locking collar, atau adapter sleeve. Beberapa tipe juga dilengkapi nipple grease untuk memudahkan pelumasan berkala.

Keunggulan *pillow block Bearing* adalah kemudahan pemasangan, ketersediaan housing, proses alignment yang lebih praktis, sistem penguncian pada poros, dan kemudahan pelumasan pada beberapa tipe. Namun, pemilihannya tetap harus memperhatikan diameter poros, kapasitas beban, kualitas housing, jenis seal, kondisi lingkungan, kecepatan putar, serta kemungkinan kontaminasi debu, air, atau partikel padat. Untuk lingkungan kerja berat, pemilihan material housing dan sistem seal menjadi faktor penting agar umur pakai bantalan lebih panjang.



Gambar 6. 6. *Pillow Block Bearing*

### 6.3 Beban pada Bantalan

Beban pada bantalan secara umum dibedakan menjadi beban radial, beban aksial, dan beban kombinasi. Beban radial bekerja tegak lurus terhadap sumbu poros, sedangkan beban aksial bekerja sejajar sumbu poros. Dalam banyak aplikasi mesin, kedua jenis beban ini terjadi secara bersamaan akibat pengaruh berat komponen, gaya sabuk, gaya rantai, gaya roda gigi, gaya proses, atau gaya tekan dari material kerja.

Identifikasi arah dan besar beban merupakan tahap penting dalam pemilihan bantalan. Kesalahan dalam memperkirakan beban dapat menyebabkan umur bantalan jauh

lebih pendek dari rencana. Pada mesin pencacah atau screw press, beban kejut dan fluktuasi torsi juga perlu diperhitungkan karena dapat meningkatkan gaya reaksi pada bantalan.

### 6.3.1 Beban Radial

Beban radial adalah beban yang bekerja tegak lurus terhadap sumbu poros. Beban ini biasanya berasal dari berat poros, berat pulley, tarikan sabuk, gaya rantai, gaya roda gigi, gaya impeller, atau gaya potong. Bantalan yang menerima beban radial harus dipilih berdasarkan kapasitas beban dinamis dan statis yang sesuai.

Pada poros yang ditumpu dua bantalan, beban radial pada masing-masing bantalan dapat dihitung menggunakan prinsip keseimbangan gaya dan momen. Nilai reaksi tumpuan yang diperoleh menjadi dasar untuk menentukan beban radial bantalan.



Gambar 6. 7. Beban Radial Pada *Bearing*

### 6.3.2 Beban Aksial

Beban aksial atau thrust load bekerja sejajar dengan sumbu poros. Beban ini dapat muncul pada screw press, screw conveyor, pompa sentrifugal, roda gigi heliks, dan sistem yang menghasilkan gaya dorong sepanjang sumbu. Ball *Bearing* biasa hanya mampu menahan beban aksial terbatas, sehingga untuk beban aksial besar dapat digunakan *angular contact ball Bearing*, *tapered roller Bearing*, atau *thrust Bearing*.

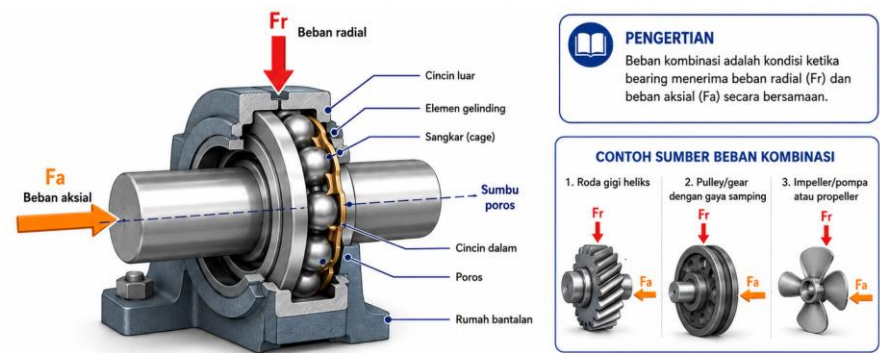
Dalam desain aktual, beban aksial perlu diperhatikan karena dapat menyebabkan pergeseran poros, peningkatan gesekan, dan kenaikan temperatur bantalan. Sistem penahan aksial juga harus dirancang agar tidak menimbulkan preload berlebihan.



Gambar 6. 8. Beban Aksial Pada *Bearing*

### 6.3.3 Beban Kombinasi

Beban kombinasi terjadi ketika bantalan menerima beban radial dan aksial sekaligus. Kondisi ini umum dijumpai pada gearbox, roda gigi heliks, poros miring, screw, dan sistem transmisi yang menerima gaya dalam beberapa arah. Untuk pemilihan bantalan berdasarkan katalog, beban kombinasi sering dikonversi menjadi beban ekuivalen dinamis.



Gambar 6. 9. Beban Kombinasi Pada *Bearing*

Beban ekuivalen dinamis merupakan beban tunggal teoritis yang memberikan efek umur sama dengan kombinasi beban aktual. Perhitungan beban ekuivalen menggunakan faktor

radial dan aksial yang nilainya bergantung pada jenis bantalan dan rasio beban.

## 6.4 Umur Bantalan

Umur bantalan adalah estimasi jumlah putaran atau waktu operasi yang dapat dicapai sebelum terjadi kegagalan akibat kelelahan material pada elemen gelinding atau raceway. Pada bantalan gelinding, kegagalan fatigue biasanya ditandai dengan *pitting*, *spalling*, peningkatan getaran, kebisingan, dan kenaikan temperatur.

Dalam katalog bantalan, umur dasar sering dinyatakan sebagai  $L_{10}$  life.  $L_{10}$  menunjukkan umur teoritis ketika 90% dari kelompok bantalan identik masih dapat beroperasi tanpa mengalami kegagalan fatigue pada kondisi pembebanan tertentu. Konsep ini bersifat statistik sehingga tidak menjamin setiap bantalan akan gagal tepat pada umur tersebut.

### 6.4.1 Kapasitas Beban Dinamis dan Statis

Kapasitas beban dinamis dasar, yang biasanya disimbolkan  $C$ , merupakan parameter katalog yang digunakan untuk menghitung umur bantalan pada kondisi berputar. Semakin besar nilai  $C$  dibandingkan beban ekuivalen  $P$ , semakin panjang umur teoritis bantalan.

Kapasitas beban statis dasar, yang biasanya disimbolkan  $C_0$ , digunakan untuk mengevaluasi bantalan yang menerima beban besar pada kondisi diam, putaran sangat rendah, atau beban kejut. Beban statis berlebih dapat menyebabkan deformasi permanen lokal pada raceway atau elemen gelinding.

### 6.4.2 Rumus Umur Bantalan

Rumus dasar umur bantalan gelinding menghubungkan kapasitas beban dinamis  $C$  dengan beban ekuivalen dinamis  $P$ . Untuk bantalan bola, eksponen umur umumnya  $p = 3$ , sedangkan untuk bantalan rol  $p = 10/3$ . Persamaan ini digunakan sebagai pendekatan awal sebelum mempertimbangkan faktor koreksi



seperti reliabilitas, kondisi pelumasan, kontaminasi, temperatur, kualitas pemasangan, dan kondisi kerja aktual. Kajian modern tentang umur bantalan juga menunjukkan bahwa prediksi umur dapat dipengaruhi oleh model fatigue, distribusi beban kontak, kondisi operasi, serta pendekatan perhitungan berbasis rekayasa maupun kondisi aktual (*condition monitoring*) (Chudzik & Warda, 2020; Yu *et al.*, 2021). Umur dasar bantalan gelinding dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p \times 10^6$$

Jika dinyatakan dalam jam operasi:

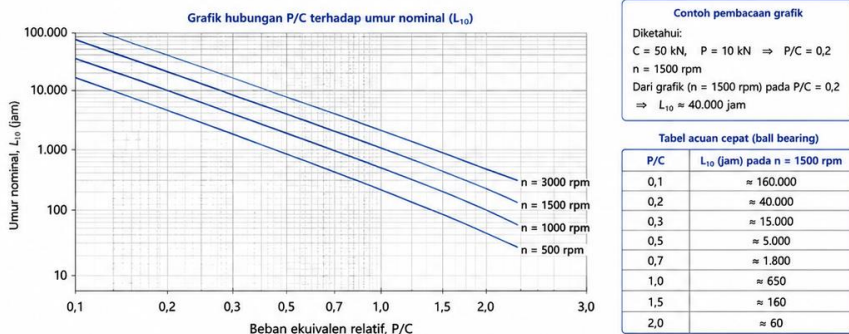
$$L_{10h} = \frac{\left[\left(\frac{C}{P}\right)^p \times 10^6\right]}{(60n)}$$

Dengan:

- p = eksponen umur, 3 untuk bantalan bola dan 10/3 untuk bantalan rol
- C = kapasitas beban dinamis (N)
- P = beban ekuivalen (N)
- n = putaran (rpm).

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa umur bantalan sangat sensitif terhadap perubahan beban. Kenaikan beban ekuivalen akan menurunkan umur bantalan secara signifikan karena nilai beban berada dalam bentuk pangkat. Oleh karena itu, dalam perancangan mesin, beban aktual, beban kejut, ketidaksejajaran, kondisi pelumasan, kontaminasi, dan kualitas pemasangan harus diperhitungkan agar umur bantalan yang dipilih tidak terlalu optimistis dibandingkan kondisi operasi nyata (Yu *et al.*, 2021).





**Gambar 6. 10. Hubungan Beban Ekuivalen Relatif Terhadap Umur Bantalan.**

### 6.4.3 Faktor Pemilihan Bantalan

Selain umur teoritis, pemilihan bantalan juga perlu mempertimbangkan faktor servis. Mesin dengan beban halus dan stabil dapat menggunakan faktor servis lebih rendah, sedangkan mesin dengan beban kejut atau fluktuatif memerlukan kapasitas bantalan lebih besar. Lingkungan kerja berdebu, lembap, panas, atau mengandung bahan korosif juga menuntut pemilihan seal dan pelumas yang lebih baik.

Pada mesin produksi, umur bantalan tidak hanya ditentukan oleh kapasitas katalog. Kesalahan pemasangan, misalignment, preload berlebihan, kekurangan pelumas, kontaminasi partikel, dan penggunaan seal yang tidak sesuai sering menjadi penyebab utama kerusakan bantalan sebelum umur rencana tercapai.

**Tabel 6. 2. Faktor yang Memengaruhi Umur Bantalan**

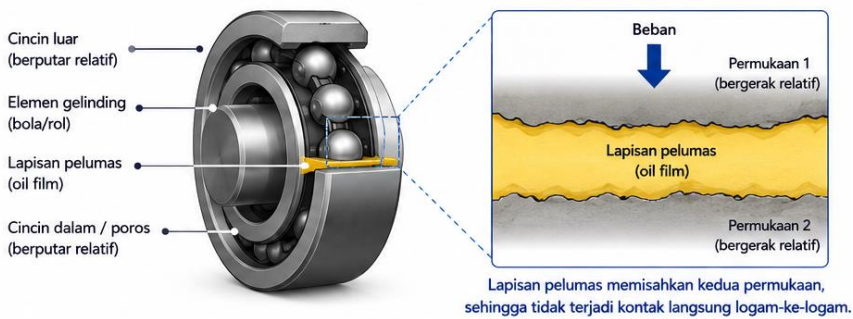
| Faktor          | Pengaruh terhadap Umur                               | Catatan Desain                           |
|-----------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| Beban ekuivalen | Beban lebih besar menurunkan umur secara signifikan. | Gunakan faktor servis untuk beban kejut. |

| <b>Faktor</b> | <b>Pengaruh terhadap Umur</b>                          | <b>Catatan Desain</b>                                  |
|---------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Putaran       | Putaran tinggi mempercepat akumulasi siklus kelelahan. | Periksa batas rpm katalog.                             |
| Pelumasan     | Pelumasan buruk meningkatkan gesekan dan panas.        | Pilih grease atau oil sesuai temperatur dan kecepatan. |
| Kontaminasi   | Debu dan partikel mempercepat pitting dan keausan.     | Gunakan seal yang sesuai.                              |
| Pemasangan    | Misalignment menambah beban internal.                  | Gunakan alignment dan toleransi pemasangan yang benar. |
| Temperatur    | Temperatur tinggi menurunkan viskositas pelumas.       | Perhatikan kelas pelumas dan clearance bantalan.       |

## 6.5 Pelumasan Bantalan

Pelumasan merupakan faktor penting dalam kinerja dan umur bantalan. Fungsi utama pelumas adalah mengurangi gesekan, mengurangi keausan, membuang panas, melindungi permukaan dari korosi, serta membantu mencegah masuknya kontaminan. Pada bantalan luncur, pelumas membentuk film yang memisahkan permukaan poros dan bantalan. Pada bantalan gelinding, pelumas mengurangi gesekan antara elemen gelinding, *raceway*, dan *cage*.

Jenis pelumas yang umum digunakan adalah grease dan oli. Grease banyak digunakan pada bantalan mesin umum karena mudah diaplikasikan, dapat membantu sealing, dan cocok untuk sistem yang tidak memerlukan sirkulasi pelumas kontinu. Oli digunakan pada putaran tinggi, temperatur tinggi, atau sistem yang membutuhkan pembuangan panas lebih baik.



Gambar 6. 11. Prinsip Lapisan Pelumas Sebagai Pemisah Permukaan Kontak.

### 6.5.1 Grease Lubrication

Grease terdiri atas base oil, thickener, dan aditif. Grease cocok untuk bantalan dengan putaran rendah hingga sedang, sistem tertutup, serta aplikasi yang membutuhkan interval pelumasan berkala. Keunggulan grease adalah tidak mudah mengalir keluar, membantu mencegah masuknya debu, dan perawatannya sederhana.

Pemilihan grease perlu memperhatikan viskositas base oil, konsistensi NLGI, temperatur operasi, kecepatan putar, beban, dan kompatibilitas dengan seal. Pengisian grease berlebihan dapat menyebabkan peningkatan temperatur karena hambatan putar bertambah.

### 6.5.2 Oil Lubrication

Pelumasan oli digunakan ketika bantalan bekerja pada putaran tinggi, temperatur tinggi, atau beban besar yang membutuhkan pembuangan panas lebih efektif. Oli dapat diaplikasikan melalui oil bath, oil mist, oil jet, atau sistem sirkulasi. Sistem oli lebih kompleks dibandingkan grease, tetapi mampu memberikan kontrol pelumasan dan pendinginan yang lebih baik.

Dalam desain gearbox atau spindle, pelumasan oli sering dipilih karena mampu melumasi beberapa komponen sekaligus,

seperti gear dan *Bearing*. Namun, sistem ini memerlukan seal, reservoir, jalur aliran, dan kontrol level oli yang baik.

### 6.5.3 Perawatan Bantalan

Perawatan bantalan meliputi pemeriksaan temperatur, kebisingan, getaran, kondisi seal, kekencangan baut housing, dan jadwal pelumasan ulang. Gejala kerusakan bantalan dapat berupa suara kasar, peningkatan temperatur, getaran meningkat, kebocoran grease, atau putaran poros yang tidak stabil.

Pada mesin yang beroperasi dalam lingkungan kotor, interval pemeriksaan perlu dibuat lebih sering. Pelumasan ulang harus mengikuti rekomendasi pabrikan atau disesuaikan dengan kondisi operasi. Dalam perawatan preventif, bantalan yang menunjukkan tanda kerusakan sebaiknya diganti sebelum menyebabkan kerusakan pada poros, housing, atau sistem transmisi.



# **BAB 7**

## **PERANCANGAN TRANSMISI DAYA**

Transmisi daya merupakan bagian penting dalam sistem mesin karena berfungsi menyalurkan daya dan gerak dari sumber penggerak menuju komponen kerja. Sumber penggerak dapat berupa motor listrik, motor bakar, turbin, atau sistem penggerak lainnya, sedangkan komponen kerja dapat berupa poros pisau, impeller, screw, roller, conveyor, roda gigi, atau mekanisme pengolah bahan. Dalam perancangan mesin, sistem transmisi tidak hanya meneruskan putaran, tetapi juga dapat mengubah kecepatan, memperbesar torsi, mengubah arah gerak, serta menyesuaikan posisi antara motor dan elemen kerja.

Pemilihan transmisi daya harus dilakukan secara rasional berdasarkan daya yang ditransmisikan, putaran kerja, rasio kecepatan, jarak antar poros, kondisi beban, ketelitian gerak, biaya, ketersediaan komponen, tingkat kebisingan, keselamatan, dan kemudahan perawatan. Bab ini membahas sistem transmisi daya yang umum digunakan dalam perancangan mesin, meliputi sabuk dan pulley, rantai dan sprocket, roda gigi, serta kopling.

### **7.1 Pengertian Transmisi Daya**

Transmisi daya adalah sistem mekanik yang digunakan untuk memindahkan daya, torsi, dan gerak putar dari elemen penggerak ke elemen yang digerakkan. Pada mesin produksi, motor penggerak jarang dihubungkan langsung ke komponen kerja tanpa perantara. Hal ini disebabkan oleh perbedaan kebutuhan putaran, torsi, posisi poros, keamanan operasi, dan fleksibilitas konstruksi.

Secara fungsional, transmisi daya memiliki beberapa peran utama. Pertama, meneruskan daya dari motor ke beban. Kedua, mengatur rasio putaran sehingga kecepatan komponen kerja sesuai dengan kebutuhan proses. Ketiga, meningkatkan torsi ketika putaran diturunkan. Keempat, memungkinkan perubahan arah gerak atau posisi poros. Kelima, memberikan fleksibilitas terhadap jarak pemasangan antara motor dan mekanisme kerja.

Pada mesin pencacah, misalnya, motor listrik dengan putaran tinggi biasanya perlu diturunkan putarannya melalui pulley atau gearbox agar torsi pada poros pisau meningkat. Pada conveyor, transmisi rantai atau gearbox dapat digunakan untuk memperoleh putaran rendah dan torsi besar. Pada mesin presisi, roda gigi lebih sering dipilih karena rasio putarannya stabil dan tidak mengalami slip seperti sabuk.

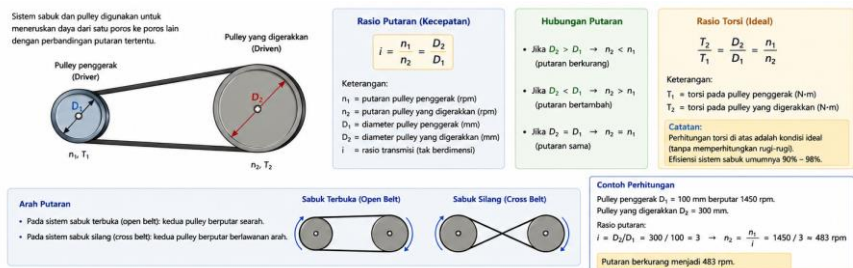
Tabel 7. 1. Fungsi Sistem Transmisi Daya Dalam Perancangan Mesin

| Fungsi                              | Penjelasan Teknis                                               | Contoh Penerapan                                         |
|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Meneruskan daya                     | Memindahkan daya dari motor ke komponen kerja.                  | Motor ke poros pisau, impeller, screw, atau conveyor.    |
| Mengubah putaran                    | Menurunkan atau menaikkan putaran melalui rasio transmisi.      | Pulley besar digunakan untuk menurunkan rpm poros kerja. |
| Mengubah torsi                      | Torsi meningkat ketika putaran diturunkan, dan sebaliknya.      | Gear reducer pada conveyor dan screw press.              |
| Mengubah arah gerak                 | Mengalihkan arah putaran atau sumbu gerak.                      | Bevel gear pada poros saling tegak lurus.                |
| Memberikan fleksibilitas tata letak | Memungkinkan motor dipasang pada posisi yang sesuai konstruksi. | Sabuk-pulley dengan jarak poros cukup jauh.              |

## 7.2 Sabuk dan Pulley

Sabuk dan *pulley* merupakan sistem transmisi daya yang banyak digunakan karena konstruksinya sederhana, biaya relatif rendah, mudah dipasang, dan mampu meredam getaran. Sistem ini bekerja dengan memanfaatkan gaya gesek antara sabuk dan permukaan pulley. Daya diteruskan dari pulley penggerak ke pulley yang digerakkan melalui tarikan pada sisi kencang dan sisi kendur sabuk.

Sabuk-pulley cocok digunakan untuk jarak antar poros yang relatif jauh, beban sedang, dan sistem yang tidak memerlukan rasio kecepatan sangat presisi. Pada mesin pengaduk, mesin pencacah, blower, pompa kecil, dan peralatan produksi skala kecil, transmisi sabuk sering dipilih karena komponen tersedia luas dan perawatannya mudah.



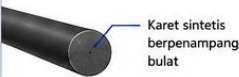
Gambar 7. 1. Prinsip Rasio Putaran Pada Sistem Sabuk dan Pulley

### 7.2.1 Jenis Sabuk

Jenis sabuk yang umum digunakan dalam sistem transmisi antara lain flat belt, V-belt, timing belt, dan round belt. Flat belt sesuai untuk jarak poros jauh dan putaran tinggi, tetapi memerlukan penyelarasan yang baik. V-belt memiliki penampang trapesium dan bekerja dengan efek wedging pada alur pulley



sehingga kemampuan transmisinya lebih baik dibanding sabuk datar untuk ukuran yang relatif kompak.

| JENIS SABUK                                                                                                                        | KONSTRUKSI                                                                          | CIRI-CIRI                                                                                                                                                                                      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1 SABUK-V (V-BELT)</b><br>                     |    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Penampang berbentuk trapesium.</li> <li>• Menggunakan gesekan dan efek baji (wedge).</li> <li>• Cocok untuk daya sedang hingga besar.</li> </ul>      |
| <b>2 SABUK DATAR (FLAT BELT)</b><br>              |    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Penampang datar.</li> <li>• Mengandalkan gesekan.</li> <li>• Untuk jarak poros relatif jauh dan putaran tinggi.</li> </ul>                            |
| <b>3 SABUK BULAT (ROUND BELT)</b><br>             |    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Penampang bulat.</li> <li>• Mengandalkan gesekan.</li> <li>• Fleksibel, dapat digunakan dengan pulley kecil.</li> </ul>                               |
| <b>4 SABUK GIGI (TIMING BELT)</b><br>             |    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Memiliki gigi pada sisi dalam.</li> <li>• Transmisi tidak selip (positif).</li> <li>• Untuk sinkronisasi putaran.</li> </ul>                          |
| <b>5 SABUK POLY-V (RIBBED BELT)</b><br>           |    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Memiliki beberapa rusuk (rib).</li> <li>• Kombinasi kelebihan sabuk-V dan sabuk datar.</li> <li>• Untuk putaran tinggi dan diameter kecil.</li> </ul> |
| <b>6 SABUK SINCHRON / HTD (TIMING BELT)</b><br> |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gigi melengkung (curvilinear).</li> <li>• Kapasitas daya lebih besar dari sabuk gigi standar.</li> <li>• Untuk beban berat dan presisi.</li> </ul>    |

Gambar 7. 2. Jenis-Jenis Sabuk

*Timing belt* memiliki gigi pada sisi dalam sehingga dapat bekerja tanpa slip. Jenis ini cocok untuk aplikasi yang membutuhkan sinkronisasi putaran seperti mesin CNC, printer, atau mekanisme timing. Namun, timing belt lebih sensitif terhadap ketidaksejajaran dan membutuhkan pulley khusus.

Tabel 7. 2. Perbandingan Jenis Sabuk Transmisi

| No. | Jenis Sabuk                        | Kelebihan                                                                                                                                                        | Kekurangan                                                                                                                     | Contoh Aplikasi                                                              |
|-----|------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | <b>Sabuk Datar</b><br>(Flat Belt)  | Efisiensi relatif tinggi, konstruksi sederhana, cocok untuk jarak antarporos yang cukup jauh, dapat bekerja pada kecepatan tinggi                                | Membutuhkan tegangan awal besar, mudah slip jika beban berubah, memerlukan penyelarasan pulley yang baik                       | Mesin tekstil, kipas, conveyor ringan, mesin kayu, peralatan industri ringan |
| 2   | <b>Sabuk-V</b> (V-Belt)            | Daya cengkram tinggi karena efek baji pada alur pulley, ukuran relatif kompak, mampu meneruskan daya sedang hingga besar, slip lebih kecil dibanding sabuk datar | Efisiensi sedikit lebih rendah dibanding sabuk datar, menghasilkan panas lebih besar, perlu penyetelan tegangan secara berkala | Kompresor, pompa, blower, mesin industri, mesin pertanian, mesin pencacah    |
| 3   | <b>Sabuk Bulat</b><br>(Round Belt) | Fleksibel, mudah dipasang, cocok untuk pulley berdiameter kecil, bekerja halus pada beban ringan                                                                 | Kapasitas daya kecil, mudah mengalami slip, tidak cocok untuk beban berat atau torsi besar                                     | Peralatan rumah tangga, alat kantor, mesin kecil, conveyor ringan            |

| No. | Jenis Sabuk                                               | Kelebihan                                                                                                                                    | Kekurangan                                                                                            | Contoh Aplikasi                                                                         |
|-----|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| 4   | <b>Sabuk Gigi</b><br>( <i>Timing Belt</i> )               | Tidak mengalami slip, rasio putaran tepat, cocok untuk sinkronisasi gerak, efisiensi tinggi, perawatan relatif rendah                        | Harga lebih mahal, sensitif terhadap penyelarasan pulley, tidak cocok untuk beban kejut besar         | Mesin CNC, printer, robotik, mesin otomotif, sistem timing mesin                        |
| 5   | <b>Sabuk Poly-V</b><br>( <i>Ribbed Belt</i> )             | Fleksibel, mampu bekerja pada pulley kecil, efisiensi tinggi, kapasitas daya lebih besar dibanding sabuk datar, cocok untuk putaran tinggi   | Harga lebih tinggi dibanding sabuk-V biasa, membutuhkan pulley khusus, sensitif terhadap penyelarasan | Alternator kendaraan, kompresor, mesin otomotif, peralatan industri kompak              |
| 6   | <b>Sabuk Sinkron / HTD</b><br>( <i>Synchronous Belt</i> ) | Transmisi presisi, tidak slip, mampu meneruskan daya lebih besar dibanding timing belt standar, cocok untuk beban tinggi dan putaran presisi | Harga relatif mahal, memerlukan pulley bergigi yang sesuai, pemasangan harus presisi                  | Robotik, mesin industri presisi, otomotif, peralatan CNC, sistem transmisi beban tinggi |

Pemilihan jenis sabuk dalam sistem transmisi daya harus mempertimbangkan besar daya yang ditransmisikan, kecepatan putaran, jarak antarp poros, rasio putaran, kondisi beban, kebutuhan presisi, serta lingkungan kerja. Sabuk datar sesuai untuk transmisi jarak jauh dan putaran tinggi, sedangkan sabuk-V lebih banyak digunakan pada mesin industri karena memiliki daya cengkram yang baik dan mampu meneruskan daya lebih besar pada ruang yang relatif kompak.

Untuk aplikasi yang membutuhkan ketepatan rasio putaran tanpa slip, sabuk gigi atau sabuk sinkron lebih sesuai digunakan. Sementara itu, sabuk poly-V banyak digunakan pada sistem transmisi modern yang membutuhkan kombinasi antara fleksibilitas, efisiensi, dan kapasitas daya yang baik. Sabuk bulat umumnya digunakan untuk beban ringan karena kapasitas transmisinya relatif kecil.

### 7.2.2 Rasio Putaran *Pulley*

Pada sistem transmisi sabuk-pulley, daya dipindahkan dari pulley penggerak ke pulley yang digerakkan melalui kontak antara sabuk dan permukaan pulley. Pada kondisi ideal tanpa slip, kecepatan linear sabuk pada pulley penggerak dan pulley yang digerakkan dianggap sama. Dengan asumsi tersebut, rasio putaran berbanding terbalik dengan diameter pulley. Artinya, pulley yang digerakkan dengan diameter lebih besar akan menghasilkan putaran keluaran yang lebih rendah, tetapi torsi keluaran cenderung meningkat karena daya ditransmisikan pada kecepatan sudut yang lebih kecil (Budynas & Nisbett, 2015).

Hubungan rasio putaran ini menjadi dasar dalam menentukan ukuran pulley untuk menurunkan atau menaikkan putaran dari motor penggerak. Dalam desain praktis, asumsi tanpa slip digunakan sebagai pendekatan awal. Namun, pada

transmisi sabuk datar atau V-belt, slip dan creep tetap dapat terjadi akibat perubahan tegangan sabuk, elastisitas material sabuk, kondisi permukaan pulley, sudut kontak, dan gaya gesek yang tersedia (Juvinall & Marshek, 2017). Rasio putaran pada transmisi sabuk-pulley dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$n_1 D_1 = n_2 D_2$$

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{D_2}{D_1}$$

Dengan:

- $n_1$  = putaran pulley penggerak
- $n_2$  = putaran pulley digerakkan
- $D_1$  = diameter pulley penggerak
- $D_2$  = diameter pulley digerakkan
- $i$  = rasio transmisi.

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa perubahan diameter pulley dapat digunakan untuk mengatur putaran keluaran mesin. Jika  $D_2$  lebih besar daripada  $D_1$ , maka  $n_2$  menjadi lebih kecil daripada  $n_1$ . Kondisi ini umum digunakan pada mesin pencacah, pengaduk, conveyor, dan alat produksi sederhana yang membutuhkan penurunan putaran dari motor listrik ke elemen kerja mesin.

### 7.2.3 Dasar Perhitungan Panjang Sabuk

Panjang sabuk merupakan parameter penting dalam perancangan transmisi sabuk karena menentukan ukuran sabuk standar yang harus dipilih dan menentukan jarak pemasangan antarporos. Pada sistem sabuk terbuka, panjang sabuk dapat diperkirakan berdasarkan diameter pulley penggerak, diameter pulley yang digerakkan, dan jarak antarporos. Rumus pendekatan panjang sabuk terbuka banyak digunakan pada tahap desain awal

karena cukup sederhana dan praktis untuk memilih ukuran sabuk dari daftar standar.

Setelah ukuran sabuk dipilih, posisi motor atauudukan salah satu pulley sebaiknya dibuat dapat digeser. Penyetelan ini diperlukan untuk mengatur tegangan awal sabuk, mengompensasi toleransi panjang sabuk, serta memudahkan penggantian saat perawatan. Tegangan sabuk yang terlalu rendah dapat menyebabkan slip, sedangkan tegangan yang terlalu tinggi dapat meningkatkan beban radial pada poros dan bantalan (Juvinal & Marshek, 2017). Pendekatan panjang sabuk terbuka dihitung dengan persamaan berikut:

$$L = 2C + \left(\frac{\pi}{2}\right)(D_1 + D_2) + \left[\frac{(D_2 - D_1)^2}{(4C)}\right]$$

Dengan:

L = panjang sabuk  
C = jarak antar poros  
D1, D2 = diameter pulley.

Persamaan tersebut merupakan pendekatan geometris untuk konfigurasi sabuk terbuka. Pada kondisi diameter kedua pulley sama, suku koreksi  $[(D_2 - D_1)^2 / (4C)]$  bernilai nol, sehingga panjang sabuk terutama ditentukan oleh dua kali jarak antarporos dan keliling setengah dari kedua pulley. Pada desain akhir, ukuran sabuk harus disesuaikan dengan ukuran standar yang tersedia dan rekomendasi pabrikan.

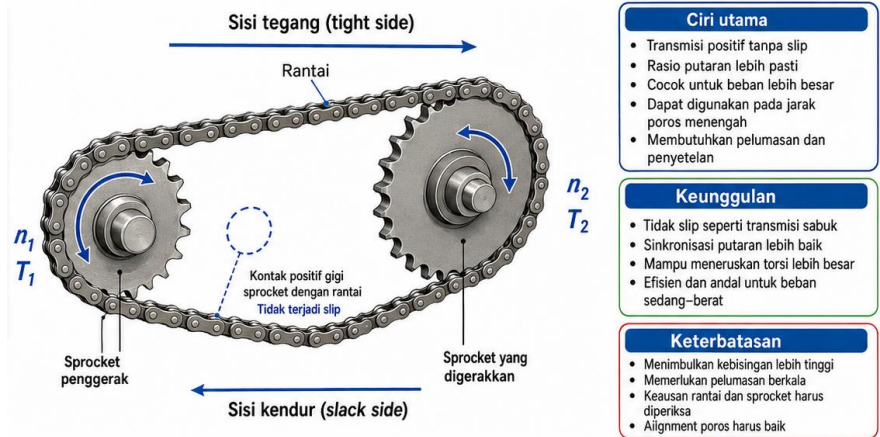
### 7.3 Rantai dan Sprocket

Rantai dan sprocket merupakan sistem transmisi positif yang meneruskan daya melalui keterkaitan mekanis antara roller rantai dan gigi sprocket. Berbeda dengan transmisi sabuk yang bergantung pada gaya gesek, transmisi rantai memiliki keterlibatan langsung antara rantai dan sprocket sehingga slip praktis dapat dihindari. Karena itu, rasio putaran pada transmisi

rantai lebih stabil dan sesuai untuk aplikasi yang membutuhkan sinkronisasi putaran atau kemampuan meneruskan beban lebih besar pada jarak antarporos sedang (Budynas & Nisbett, 2015).

Transmisi rantai banyak digunakan pada conveyor, sepeda motor, mesin pertanian, mesin produksi, sistem pengangkat, dan mekanisme pemindah daya lainnya. Keunggulan utama rantai adalah kemampuan meneruskan daya lebih besar dibandingkan sabuk untuk ukuran tertentu, efisiensi cukup tinggi, rasio putaran relatif tetap, dan dapat bekerja pada kondisi lingkungan yang lebih berat. Namun, rantai membutuhkan pelumasan, penyetelan tegangan, dan pemeriksaan keausan secara berkala karena keausan pada pin, bushing, roller, dan gigi sprocket dapat menyebabkan pemanjangan rantai serta gangguan meshing (Juvinall & Marshek, 2017).

Pada sistem rantai, salah satu fenomena penting yang perlu diperhatikan adalah polygonal action atau chordal action. Fenomena ini muncul karena rantai tidak melilit sprocket sebagai kurva halus, melainkan sebagai rangkaian link yang membentuk poligon pada pitch circle sprocket. Akibatnya, kecepatan rantai dapat mengalami fluktuasi periodik dan menimbulkan getaran atau gerakan tidak seragam. Besarnya efek ini menurun ketika jumlah gigi sprocket meningkat, tetapi tidak sepenuhnya hilang pada transmisi rantai (Radzevich, 2012).



Gambar 7. 3. Transmisi Rantai dan Sprocket.

### 7.3.1 Rasio Putaran Rantai-Sprocket

Rasio putaran pada transmisi rantai ditentukan oleh jumlah gigi sprocket penggerak dan sprocket yang digerakkan. Karena tidak terjadi slip ideal, kecepatan rantai yang melalui kedua sprocket dianggap sama. Dengan demikian, perbandingan putaran berbanding terbalik dengan jumlah gigi sprocket. Jika sprocket penggerak memiliki jumlah gigi lebih sedikit daripada sprocket yang digerakkan, putaran keluaran akan lebih rendah dan torsi keluaran.

Jumlah gigi minimum sprocket perlu diperhatikan dalam desain. Jumlah gigi yang terlalu sedikit dapat meningkatkan polygonal action, memperbesar fluktuasi kecepatan rantai, mempercepat keausan, meningkatkan kebisingan, dan menurunkan kehalusan operasi. Oleh karena itu, untuk aplikasi dengan putaran sedang hingga tinggi, pemilihan sprocket perlu mempertimbangkan jumlah gigi, pitch rantai, jarak antarpors, dan kondisi beban. Rasio putaran pada rantai-sprocket dihitung menggunakan persamaan berikut:



$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{Z_2}{Z_1}$$

Dengan:

- $Z_1$  = jumlah gigi sprocket penggerak  
 $Z_2$  = jumlah gigi sprocket digerakkan.

### 7.3.2 Kriteria Pemilihan Rantai

Pemilihan rantai didasarkan pada daya yang ditransmisikan, putaran sprocket, rasio transmisi, jarak antar poros, kondisi beban, faktor servis, dan lingkungan kerja. Pada beban kejut atau operasi tidak merata, ukuran rantai perlu dinaikkan atau digunakan faktor koreksi daya. Pelumasan sangat penting untuk menurunkan keausan antara pin, bushing, roller, dan gigi sprocket.

Dalam desain praktis, rantai dipilih dari katalog berdasarkan pitch, lebar roller, jumlah strand, kapasitas daya, dan jenis sambungan. Untuk daya lebih besar, rantai ganda atau multi-strand dapat digunakan. Namun, penambahan strand harus tetap memperhatikan distribusi beban dan kualitas pemasangan.

## 7.4 Roda Gigi

Roda gigi merupakan elemen transmisi daya yang berfungsi meneruskan putaran dan torsi melalui kontak langsung antarprofil gigi. Berbeda dengan transmisi sabuk yang bergantung pada gaya gesek, roda gigi bekerja melalui keterlibatan geometris antar gigi sehingga mampu menghasilkan rasio putaran yang tetap dan presisi. Oleh karena itu, sistem roda gigi banyak digunakan pada gearbox, reducer, mesin perkakas, sistem otomotif, alat berat, mesin industri, dan mekanisme presisi yang membutuhkan sinkronisasi gerak serta kemampuan transmisi daya yang tinggi.

Keunggulan utama transmisi roda gigi adalah kemampuannya meneruskan daya besar dalam dimensi yang

relatif kompak, efisiensi tinggi pada kondisi pelumasan dan pemasangan yang baik, serta ketepatan rasio kecepatan. Namun, kinerja roda gigi sangat bergantung pada ketelitian desain dan manufaktur. Parameter seperti geometri gigi, modul, jumlah gigi, diameter pitch, sudut tekan (*pressure angle*), lebar muka, material, perlakuan panas, kualitas permukaan, pelumasan, dan keselarasan poros berpengaruh langsung terhadap umur pakai dan keandalan sistem transmisi (Groover, 2013).

Dalam perancangan roda gigi, kegagalan yang umum diperhatikan meliputi pitting, keausan permukaan, scuffing atau scoring, patah gigi akibat beban lentur, retak pada akar gigi, serta kerusakan akibat pelumasan yang tidak memadai. Oleh karena itu, roda gigi tidak hanya perlu dirancang berdasarkan rasio putaran, tetapi juga harus diverifikasi terhadap kekuatan lentur gigi, kekuatan kontak permukaan, kualitas pelumasan, dan kondisi operasi.



Gambar 7. 4. Jenis Roda Gigi yang Umum Digunakan Dalam Transmisi Daya.

#### 7.4.1 Jenis Roda Gigi

Jenis roda gigi dipilih berdasarkan konfigurasi poros, arah transmisi daya, kebutuhan rasio reduksi, kapasitas beban, efisiensi, tingkat kebisingan, dan ruang pemasangan. Secara umum, roda gigi yang banyak digunakan dalam sistem transmisi daya meliputi spur gear, helical gear, bevel gear, dan worm gear. Spur gear atau roda gigi lurus memiliki gigi yang sejajar dengan sumbu poros. Roda gigi ini digunakan untuk mentransmisikan daya antara dua poros sejajar. Konstruksinya sederhana, efisiensinya tinggi, mudah diproduksi, dan banyak digunakan pada gearbox sederhana, mesin perkakas, serta mekanisme dengan putaran sedang. Keterbatasan utama spur gear adalah kontak gigi terjadi relatif tiba-tiba sehingga pada putaran tinggi dapat menghasilkan kebisingan dan getaran lebih besar dibandingkan roda gigi heliks (Kalpakjian & Schmid, 2013).

*Helical gear* memiliki gigi yang membentuk sudut terhadap sumbu poros. Bentuk ini menyebabkan proses kontak antar gigi berlangsung lebih bertahap sehingga operasi lebih halus, lebih senyap, dan mampu meneruskan beban lebih besar dibanding spur gear pada ukuran yang sebanding. Namun, karena bentuk giginya miring, helical gear menghasilkan gaya aksial yang harus ditahan oleh bantalan. Roda gigi heliks banyak digunakan pada gearbox industri, transmisi otomotif, dan sistem transmisi dengan kebutuhan operasi halus.

*Bevel gear* digunakan untuk mentransmisikan daya antara poros yang berpotongan, umumnya pada sudut 90 derajat. Jenis ini digunakan ketika arah putaran harus diubah, misalnya pada diferensial kendaraan, mekanisme sudut, dan peralatan mesin tertentu. Bentuk giginya dapat berupa lurus, spiral, atau hypoid, bergantung pada kebutuhan beban, kehalusan operasi, dan konfigurasi poros (Radzevich, 2012).

*Worm gear* digunakan untuk mentransmisikan daya antara poros yang saling bersilangan, biasanya tegak lurus. Sistem ini mampu menghasilkan rasio reduksi besar dalam ruang yang kompak dan pada kondisi tertentu dapat memberikan efek self-locking. Namun, efisiensinya umumnya lebih rendah

dibanding spur atau helical gear karena kontak yang terjadi memiliki komponen geser cukup besar. Oleh karena itu, worm gear memerlukan pelumasan yang baik dan pemilihan material pasangan gigi yang sesuai (Collins *et al.*, 2010).

#### 7.4.2 Rasio Gear dan Torsi

Rasio roda gigi ditentukan oleh jumlah gigi atau diameter pitch. Pada gear reducer, gear penggerak yang lebih kecil memutar gear yang lebih besar sehingga putaran turun dan torsi meningkat. Secara ideal, daya masuk dan daya keluar sama. Dalam kondisi nyata, terdapat rugi-rugi akibat gesekan, pelumasan, dan deformasi elastis sehingga efisiensi harus diperhitungkan. Rasio roda gigi dan hubungan torsi dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{d_2}{d_1}$$
$$T_2 = T_1 \times i \times \eta$$

Dengan:

- $i$  = rasio transmisi,
- $n_1$  = putaran roda gigi penggerak
- $n_2$  = putaran roda gigi yang digerakkan
- $Z_1$  = jumlah gigi roda gigi penggerak
- $Z_2$  = jumlah gigi roda gigi yang digerakkan
- $d_1$  = diameter pitch roda gigi penggerak
- $d_2$  = diameter pitch roda gigi yang digerakkan
- $T_1$  = torsi masuk
- $T_2$  = torsi keluar
- $\eta$  = efisiensi transmisi.

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa peningkatan rasio reduksi dapat meningkatkan torsi keluaran, tetapi torsi aktual tetap dipengaruhi oleh efisiensi. Pada sistem roda gigi bertingkat, rasio total diperoleh dari perkalian rasio pada setiap tingkat. Oleh karena itu, desain gearbox perlu memperhatikan jumlah tingkat reduksi, ukuran roda gigi, ruang pemasangan, pelumasan, serta kemampuan poros dan bantalan dalam menahan gaya yang terjadi.

#### 7.4.3 Parameter Dasar Roda Gigi

Parameter dasar roda gigi diperlukan untuk menentukan ukuran, bentuk, dan kemampuan kerja gigi dalam mentransmisikan daya. Beberapa parameter geometri yang umum digunakan adalah modul, jumlah gigi, diameter pitch, sudut tekan, addendum, dedendum, clearance, lebar muka, dan rasio kontak. Parameter tersebut menentukan dimensi gigi, kekuatan lentur, luas kontak, kehalusan operasi, dan kemampuan roda gigi dalam menahan beban.

Dalam sistem metrik, modul merupakan parameter utama yang menyatakan ukuran gigi. Modul didefinisikan sebagai perbandingan diameter pitch terhadap jumlah gigi. Semakin besar modul, semakin besar ukuran gigi dan umumnya semakin besar pula kemampuan roda gigi dalam menahan beban. Namun, peningkatan modul juga akan memperbesar ukuran roda gigi dan kebutuhan ruang pemasangan. Oleh karena itu, pemilihan modul harus mempertimbangkan beban kerja, material, proses manufaktur, ruang pemasangan, standar roda gigi, dan faktor keamanan (Radzevich, 2012). Parameter dasar roda gigi metrik dihitung dengan persamaan berikut:

$$m = \frac{d}{Z}$$
$$d = \frac{m}{Z}$$

Ddengan:

- M = modul roda gigi (mm),
- D = diameter pitch (mm),
- Z = jumlah gigi.

Selain modul, sudut tekan (*pressure angle*) juga menjadi parameter penting karena memengaruhi arah gaya antar gigi, kekuatan akar gigi, dan beban pada bantalan. Sudut tekan yang umum digunakan pada roda gigi involute modern adalah 20 derajat. Lebar muka (*face width*) menentukan luas bidang kontak antar gigi; semakin besar lebar muka, semakin besar kemampuan roda gigi dalam mendistribusikan beban, tetapi kesalahan alignment dapat menyebabkan distribusi beban menjadi tidak merata. Oleh karena itu, perancangan roda gigi perlu memperhatikan hubungan antara geometri gigi, material, kualitas manufaktur, pelumasan, serta kondisi pemasangan.

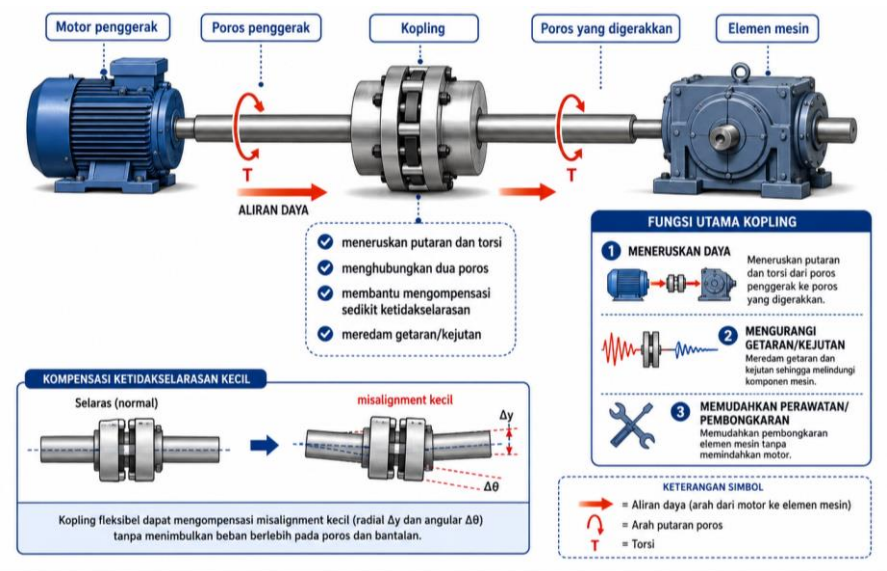
## 7.5 Kopling

Kopling merupakan elemen mesin yang digunakan untuk menghubungkan dua poros sehingga daya putar dan torsi dapat diteruskan dari poros penggerak ke poros yang digerakkan. Dalam sistem transmisi daya, kopling banyak ditempatkan di antara motor dan gearbox, motor dan pompa, motor dan conveyor, motor dan blower, serta antarporos pada sistem transmisi yang terdiri atas beberapa unit. Fungsi utama kopling adalah meneruskan torsi, tetapi dalam aplikasi praktis kopling juga dapat membantu meredam getaran, mengurangi pengaruh beban kejut, mengakomodasi ketidaksejajaran kecil, dan mempermudah proses perakitan maupun perawatan sistem transmisi.

Pemilihan kopling perlu mempertimbangkan torsi kerja, torsi maksimum, putaran, diameter poros, jenis penggerak, karakter beban, frekuensi start-stop, kemungkinan beban kejut, ketidaksejajaran poros, ruang pemasangan, kebutuhan perawatan, dan tingkat ketelitian gerak. Kopling yang terlalu kaku pada sistem yang mengalami misalignment dapat menambah beban reaksi pada poros dan bantalan, sehingga berpotensi meningkatkan getaran serta mempercepat kerusakan komponen pendukung. Sebaliknya, kopling yang terlalu fleksibel dapat menurunkan kekakuan torsional dan mengurangi ketelitian posisi pada sistem yang membutuhkan sinkronisasi gerak tinggi.

Dalam mesin produksi, ketidaksejajaran poros jarang dapat dihilangkan sepenuhnya karena adanya toleransi manufaktur, perubahan temperatur, elastisitas dudukan, deformasi rangka, penurunan fondasi, serta kesalahan pemasangan. Kajian pada sistem rotor-*Bearing* menunjukkan bahwa misalignment pada kopling dapat menimbulkan gaya dan momen reaksi yang memengaruhi respons getaran sistem. Oleh karena itu, pemilihan kopling harus dipadukan dengan

perencanaan alignment, kekakuanudukan mesin, kualitas pemasangan, dan strategi perawatan prediktif (Pavlovic *et al.*, 2024).



Gambar 7. 5. Fungsi Kopling Dalam Menghubungkan Dua Poros Transmisi.

7.5.1 Jenis Kopling

Secara umum, kopling dapat dikelompokkan menjadi kopling kaku, kopling fleksibel, kopling khusus, dan kopling fluida atau gesek. Kopling kaku digunakan ketika kedua poros berada dalam satu garis sumbu dengan alignment yang sangat baik. Jenis ini memiliki konstruksi sederhana dan mampu meneruskan torsi dengan baik, tetapi hampir tidak memiliki kemampuan untuk mengakomodasi ketidaksejajaran. Oleh karena itu, kopling kaku lebih sesuai digunakan pada sistem dengan poros pendek, dudukan kokoh, dan pemasangan presisi.

Kopling fleksibel digunakan untuk mengakomodasi ketidaksejajaran kecil, baik angular misalignment, parallel

misalignment, maupun axial displacement. Fleksibilitas tersebut dapat berasal dari elemen elastomer, pin-bush, grid, gigi, atau elemen logam yang memiliki kemampuan deformasi elastis. Pada sistem mesin umum, kopling fleksibel banyak dipilih karena mampu meredam getaran, mengurangi pengaruh beban kejut, dan menurunkan sensitivitas sistem terhadap ketidaksejajaran kecil. Namun, setiap jenis kopling fleksibel memiliki batas torsi, batas putaran, dan batas *misalignment* yang harus diperhatikan dalam desain (Mott *et al.*, 2018).

*Jaw coupling* atau kopling rahang merupakan salah satu kopling fleksibel yang banyak digunakan pada mesin ringan hingga menengah. Kopling ini meneruskan torsi melalui dua hub yang dihubungkan oleh elemen elastomer. Elemen elastomer berfungsi meredam getaran dan mengakomodasi ketidaksejajaran kecil, tetapi komponen tersebut dapat aus dan perlu diganti setelah periode operasi tertentu. Kopling flens dan kopling selongsong lebih sesuai untuk poros yang segaris, sedangkan gear coupling, chain coupling, dan grid coupling lebih banyak digunakan pada aplikasi dengan torsi lebih besar atau kondisi kerja yang lebih berat.





Gambar 7. 6. Jenis-Jenis Kopling yang Umum Digunakan Pada Sistem Transmisi Daya

Kopling universal digunakan untuk menghubungkan poros yang membentuk sudut tertentu. Jenis ini berguna pada sistem yang membutuhkan perubahan arah transmisi, tetapi pada sudut operasi besar dapat menimbulkan variasi kecepatan sudut jika tidak digunakan dalam konfigurasi yang tepat. Kopling fluida menggunakan media fluida untuk meneruskan daya sehingga dapat memberikan start yang lebih halus dan meredam beban kejut, tetapi efisiensinya dapat berkurang karena adanya slip fluida. Dalam mesin sederhana, kopling elastomer atau jaw coupling sering dipilih karena tersedia luas, pemasangannya sederhana, dan cukup memadai untuk beban ringan hingga sedang.

Tabel 7. 3. Perbandingan Jenis Kopling dalam Sistem Transmisi Daya

| Jenis Kopling           | Kelebihan         | Keterbatasan             | Aplikasi Umum           |
|-------------------------|-------------------|--------------------------|-------------------------|
| Kopling muff/selongsong | Sederhana, murah, | Hanya sesuai untuk poros | Poros pendek, transmisi |

| Jenis Kopling                | Kelebihan                                                                       | Keterbatasan                                                               | Aplikasi Umum                                                |
|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
|                              | konstruksi ringkas, mudah dibuat.                                               | yang benar-benar segaris dan tidak toleran terhadap misalignment.          | sederhana, beban ringan.                                     |
| Kopling <i>flens</i>         | Kuat, mampu meneruskan torsi besar, konstruksi kokoh.                           | Membutuhkan ruang lebih besar dan pemasangan presisi.                      | Pompa, blower, gearbox, sistem transmisi industri.           |
| Kopling <i>fleksibel/jaw</i> | Meredam getaran, mengakomodasi misalignment kecil, pemasangan relatif mudah.    | Elemen elastomer dapat aus dan perlu diganti; kekakuan torsional terbatas. | Motor-pompa, motor-conveyor, mesin pengaduk ringan.          |
| Kopling Oldham               | Baik untuk parallel misalignment kecil dan menjaga transmisi putaran antarpors. | Tidak sesuai untuk torsi sangat besar dan elemen tengah dapat aus.         | Mekanisme presisi ringan, aktuator, peralatan instrumentasi. |
| Kopling universal            | Cocok untuk poros bersudut dan transmisi dengan perubahan arah.                 | Dapat menimbulkan variasi kecepatan jika sudut operasi besar.              | Poros kendaraan, mekanisme sudut, peralatan bergerak.        |
| Kopling gigi                 | Kapasitas torsi tinggi dan sesuai untuk beban berat.                            | Membutuhkan pelumasan dan perawatan lebih baik.                            | Gearbox besar, rolling mill, peralatan industri berat.       |

| <b>Jenis Kopling</b> | <b>Kelebihan</b>                                             | <b>Keterbatasan</b>                                                  | <b>Aplikasi Umum</b>                                          |
|----------------------|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| Kopling rantai       | Kuat, sederhana, mudah dibongkar dan diganti.                | Lebih bising dan membutuhkan pelumasan.                              | Conveyor, mesin produksi, sistem transmisi torsi sedang.      |
| Kopling fluida       | Start halus, meredam beban kejut, mengurangi lonjakan torsi. | Efisiensi dapat berkurang karena slip dan konstruksi lebih kompleks. | Conveyor besar, crusher, fan, mesin dengan beban awal tinggi. |

### 7.5.2 Dasar Pemilihan Kopling

Dasar pemilihan kopling dimulai dari penentuan torsi nominal yang harus diteruskan. Torsi nominal diperoleh dari hubungan antara daya dan putaran poros. Dalam desain praktis, torsi nominal tidak langsung digunakan sebagai torsi desain karena mesin dapat mengalami beban lebih, start-stop berulang, fluktuasi beban, getaran, atau beban kejut. Oleh sebab itu, torsi desain biasanya dihitung dengan mengalikan torsi nominal dengan faktor servis.

Faktor servis dipilih berdasarkan jenis penggerak, karakter beban, jumlah jam operasi, frekuensi start-stop, dan kemungkinan beban kejut. Mesin dengan beban halus, seperti pompa sentrifugal kecil, dapat menggunakan faktor servis lebih rendah. Sebaliknya, mesin dengan beban tidak seragam, seperti mesin pencacah, screw press, crusher, atau conveyor dengan beban berubah-ubah, memerlukan faktor servis lebih besar karena torsi dapat meningkat mendadak ketika material tersangkut atau kepadatan bahan tidak seragam (Budynas & Nisbett, 2015).

Selain torsi, parameter penting lain dalam pemilihan kopling adalah putaran maksimum, diameter poros, metode penguncian pada poros, toleransi misalignment, kekakuan torsional, kemampuan meredam getaran, kondisi temperatur, lingkungan kerja, dan kebutuhan pelumasan. Kopling untuk lingkungan berdebu, basah, atau korosif harus dipilih dengan mempertimbangkan material hub, elemen elastomer, sistem pelumasan, dan perlindungan terhadap kontaminasi. Pada sistem dengan tuntutan presisi tinggi, kekakuan torsional dan backlash kopling juga menjadi pertimbangan penting.

Pemasangan kopling harus disertai pemeriksaan alignment. *Misalignment* yang berlebihan dapat meningkatkan beban tambahan pada bantalan dan poros, memicu getaran, meningkatkan temperatur, dan mempercepat kerusakan elemen kopling. Penelitian tentang sistem rotor-*Bearing* menunjukkan bahwa gaya dan momen akibat *misalignment* kopling dapat memengaruhi respons dinamis sistem, sehingga alignment dan pemantauan getaran menjadi bagian penting dalam keandalan mesin berputar.

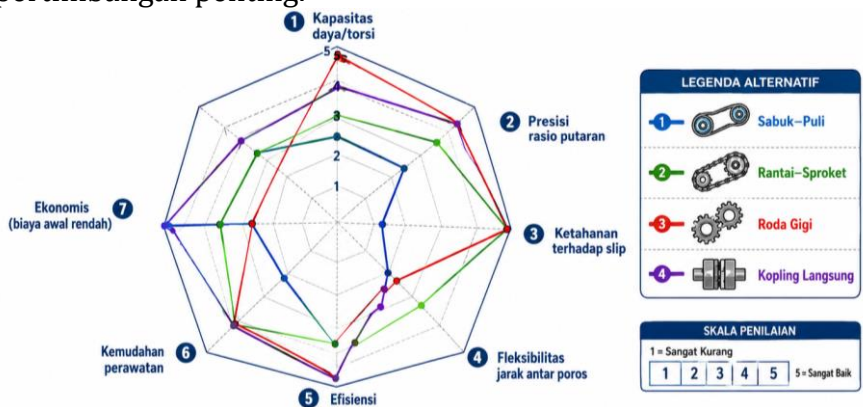
Dalam buku referensi perancangan mesin, pemilihan kopling dapat dipahami sebagai keputusan desain yang menghubungkan aspek kekuatan, dinamika rotasi, keandalan, perawatan, dan keselamatan. Kopling yang tepat bukan hanya mampu meneruskan torsi, tetapi juga mampu bekerja sesuai karakter mesin, tidak menambah beban berlebih pada poros dan bantalan, serta mudah diperiksa dan diganti selama umur pakai mesin.

## **7.6 Pemilihan Sistem Transmisi**

Pemilihan sistem transmisi daya merupakan proses pengambilan keputusan teknis yang harus mempertimbangkan kesesuaian antara kebutuhan mesin dan karakteristik masing-

masing transmisi. Tidak ada satu jenis transmisi yang paling baik untuk semua kondisi. Sabuk-pulley unggul dalam kesederhanaan dan biaya rendah, rantai-sprocket unggul dalam transmisi tanpa slip untuk jarak sedang, roda gigi unggul dalam presisi dan kekompakan, sedangkan kopling berperan sebagai penghubung poros yang menjaga kesinambungan aliran torsi.

Pertimbangan utama dalam pemilihan transmisi meliputi daya, putaran, rasio reduksi, torsi, jarak antar poros, kondisi beban, slip yang diizinkan, tingkat kebisingan, kebutuhan pelumasan, kemudahan perawatan, ruang pemasangan, biaya komponen, dan ketersediaan suku cadang. Pada desain mesin untuk UMKM atau bengkel produksi kecil, faktor ketersediaan komponen lokal dan kemudahan perawatan sering menjadi pertimbangan penting.



Gambar 7. 7. Ilustrasi Perbandingan Awal Alternatif Sistem Transmisi Berdasarkan Beberapa Kriteria Desain.

# **BAB 8**

## **MOTOR PENGGERAK DAN SISTEM KELISTRIKAN DASAR**

Motor penggerak merupakan sumber energi mekanik utama pada sebagian besar mesin. Komponen ini mengubah energi listrik atau energi termal dari bahan bakar menjadi daya putar yang selanjutnya diteruskan melalui sistem transmisi menuju elemen kerja mesin. Dalam perancangan mesin, pemilihan motor tidak dapat dilakukan hanya berdasarkan daya nominal, tetapi harus mempertimbangkan torsi, putaran, karakteristik beban, faktor servis, efisiensi, sumber energi, lingkungan operasi, serta sistem kontrol dan keselamatan.

Bab ini membahas prinsip dasar motor penggerak dan sistem kelistrikan yang umum dijumpai pada mesin produksi, mesin pengolahan, mesin pertanian, mesin UMKM, dan konstruksi mekanik sederhana. Pembahasan diarahkan sebagai rujukan teknis awal dalam memilih jenis motor, menghitung kebutuhan daya dan torsi, menentukan perangkat kontrol dasar, serta memahami aspek keselamatan kelistrikan pada sistem mesin.

### **8.1 Jenis Motor Penggerak**

Motor penggerak dapat diklasifikasikan berdasarkan sumber energinya menjadi motor listrik dan motor bakar. Motor listrik mencakup motor arus bolak-balik atau AC dan motor arus searah atau DC, sedangkan motor bakar mencakup motor bensin dan motor diesel. Setiap jenis motor memiliki karakteristik

operasi, keunggulan, keterbatasan, dan area aplikasi yang berbeda.

Pada mesin yang beroperasi di bengkel, laboratorium, pabrik kecil, atau lingkungan dengan akses listrik stabil, motor listrik AC menjadi pilihan paling umum karena konstruksinya sederhana, perawatan rendah, efisiensi baik, dan mudah dikombinasikan dengan sistem kontrol. Pada mesin portabel atau lokasi tanpa pasokan listrik, motor bensin atau diesel lebih sesuai karena tidak bergantung pada jaringan listrik.



Gambar 8. 1. Jenis Motor Penggerak yang Umum Digunakan Pada Perancangan Mesin.

### 8.1.1 Motor Listrik AC

Motor listrik AC adalah motor yang menggunakan arus bolak-balik sebagai sumber energi. Jenis yang paling banyak digunakan pada mesin industri adalah motor induksi, baik satu fasa maupun tiga fasa. Motor induksi tiga fasa banyak digunakan pada mesin dengan daya menengah hingga besar karena memiliki torsi yang stabil, efisiensi tinggi, dan keandalan yang baik.

Motor AC satu fasa umumnya digunakan pada mesin kecil, seperti pompa kecil, kipas, mesin pengaduk ringan, dan peralatan bengkel dengan daya rendah. Motor AC tiga fasa lebih sesuai untuk mesin pencacah, conveyor, mixer kapasitas besar, pompa industri, kompresor, dan mesin produksi yang membutuhkan operasi kontinu.

#### 8.1.2 Motor Listrik DC

Motor DC menggunakan arus searah sebagai sumber energi. Keunggulan utamanya adalah kemudahan pengaturan kecepatan dan torsi, terutama pada aplikasi yang membutuhkan variasi putaran. Motor DC banyak digunakan pada sistem otomasi, aktuator, kendaraan listrik, robotika, dan peralatan portabel berbasis baterai.

Dalam perancangan mesin produksi, motor DC dipilih ketika pengaturan kecepatan secara fleksibel menjadi kebutuhan utama. Namun, untuk daya besar dan operasi kontinu, sistem motor AC dengan inverter sering lebih ekonomis dan lebih mudah dirawat dibandingkan motor DC konvensional dengan sikat.

#### 8.1.3 Motor Bensin

Motor bensin merupakan motor bakar internal yang menggunakan bahan bakar bensin dan sistem penyalan busi. Motor jenis ini umum digunakan pada mesin portabel, mesin pertanian kecil, pompa air lapangan, mesin pemotong, dan alat produksi yang digunakan di lokasi tanpa listrik. Keunggulan motor bensin adalah bobot relatif ringan, mudah dihidupkan, dan tersedia luas di pasaran.

Keterbatasan motor bensin meliputi kebutuhan bahan bakar, emisi gas buang, kebisingan, perawatan sistem pembakaran, dan efisiensi yang umumnya lebih rendah dibandingkan motor diesel pada beban berat. Dalam desain mesin, penggunaan motor bensin perlu memperhatikan sistem pembuangan, ventilasi, getaran, dan keselamatan bahan bakar.



8.1.4 Motor Diesel

Motor diesel menggunakan bahan bakar solar dan bekerja dengan prinsip penyalaaan kompresi. Motor ini dikenal memiliki torsi besar, efisiensi bahan bakar lebih baik pada beban berat, dan umur pakai yang relatif panjang. Motor diesel banyak digunakan pada generator, mesin pertanian, mesin konstruksi, pompa besar, dan mesin pengolahan yang bekerja di lapangan.

Motor diesel lebih sesuai untuk beban berat dan operasi yang membutuhkan torsi besar pada putaran relatif rendah. Kelemahannya adalah bobot lebih berat, getaran lebih besar, tingkat kebisingan lebih tinggi, dan biaya awal yang umumnya lebih mahal dibanding motor bensin.

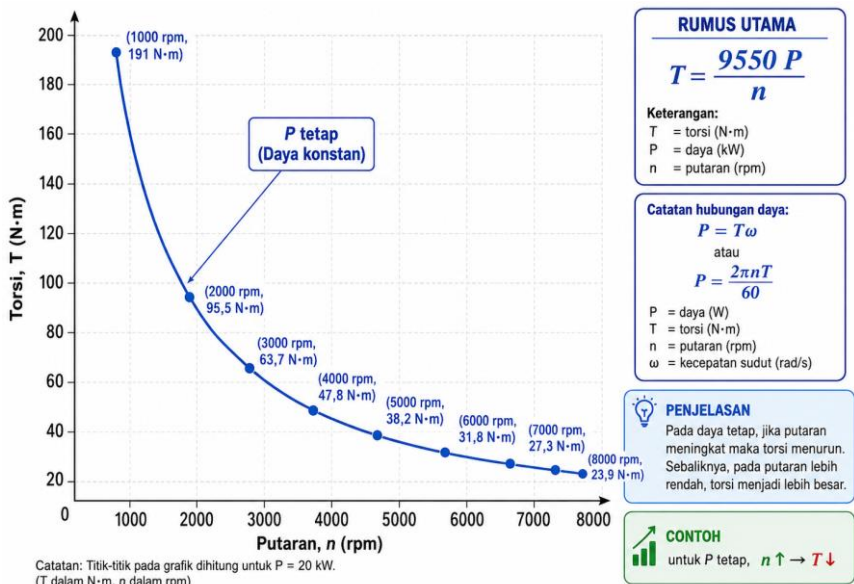
Tabel 8. 1. Perbandingan Jenis Motor Penggerak

| Jenis Motor     | Keunggulan                                         | Keterbatasan                                 | Aplikasi Umum                             |
|-----------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Motor AC 1 fasa | Mudah digunakan pada listrik rumah/bengkel kecil.  | Daya dan torsi awal terbatas.                | Pompa kecil, pengaduk ringan, kipas.      |
| Motor AC 3 fasa | Efisien, kuat, andal untuk operasi kontinu.        | Memerlukan pasokan listrik tiga fasa.        | Conveyor, mesin pencacah, mixer industri. |
| Motor DC        | Kecepatan mudah dikontrol dan cocok untuk baterai. | Perawatan lebih tinggi pada tipe bersikat.   | Aktuator, robotika, peralatan portabel.   |
| Motor bensin    | Portabel dan tidak bergantung listrik.             | Emisi, kebisingan, dan konsumsi bahan bakar. | Mesin pertanian kecil, pompa lapangan.    |
| Motor diesel    | Torsi besar dan efisien untuk beban berat.         | Bobot, getaran, dan biaya awal lebih tinggi. | Generator, pompa besar, mesin lapangan.   |

## 8.2 Daya dan Torsi Motor

Daya dan torsi merupakan parameter utama dalam pemilihan motor penggerak. Daya menunjukkan laju energi atau kerja yang dapat diberikan motor per satuan waktu, sedangkan torsi menunjukkan kemampuan motor menghasilkan momen puntir pada poros. Dalam sistem rotasi, daya mekanik merupakan hasil perkalian antara torsi dan kecepatan sudut. Oleh karena itu, dua motor dengan daya nominal yang sama dapat menghasilkan torsi poros yang berbeda apabila putaran kerjanya berbeda.

Pada perancangan mesin, analisis daya tidak dapat dipisahkan dari putaran operasi. Motor berdaya kecil dengan putaran rendah dapat menghasilkan torsi yang cukup besar apabila digunakan bersama sistem reduksi putaran. Sebaliknya, motor berputaran tinggi membutuhkan rasio transmisi yang sesuai apabila elemen kerja memerlukan torsi besar, misalnya pada mesin pencacah, pengaduk bahan kental, crusher, screw press, dan mesin pengolah bahan padat.



Gambar 8. 2. Hubungan Antara Daya, Torsi, dan Putaran Pada Daya Tetap.

Daya motor diteruskan ke elemen kerja melalui sistem transmisi, seperti sabuk dan pulley, rantai dan sprocket, roda gigi, atau kopling. Setiap sistem transmisi memiliki rugi-rugi mekanik akibat gesekan, slip, ketidaksejajaran, deformasi elemen transmisi, dan kehilangan pada bantalan. Akibatnya, daya yang diterima elemen kerja lebih kecil daripada daya keluaran motor. Efisiensi transmisi harus diperhitungkan agar motor yang dipilih tidak bekerja mendekati batas kemampuannya secara terus-menerus.

Hubungan dasar antara daya, torsi, dan putaran dinyatakan sebagai berikut:

$$P = \frac{2\pi nT}{60}$$

$$T = \frac{9550P}{n}$$

Dengan:

P = daya (kW)  
T = torsi (N.m), dan  
n = putaran (rpm).

Konstanta 9550 diperoleh dari konversi satuan daya kilowatt, putaran rpm, dan kecepatan sudut rad/s. Persamaan tersebut menunjukkan bahwa pada daya tetap, torsi berbanding terbalik dengan putaran. Dengan kata lain, penurunan putaran melalui reduksi transmisi akan menaikkan torsi pada poros keluaran, tetapi tetap harus memperhitungkan efisiensi transmisi (Mott *et al.*, 2018).

### 8.2.1 Daya Nominal dan Daya Desain

Daya nominal adalah daya yang tercantum pada pelat nama motor pada kondisi operasi tertentu. Nilai ini tidak selalu sama dengan daya desain yang dibutuhkan mesin. Daya desain harus mempertimbangkan beban kerja aktual, rugi-rugi transmisi, faktor servis, beban awal, dan kemungkinan beban berlebih.

Pada mesin dengan beban ringan dan stabil, daya desain dapat mendekati daya kerja aktual. Pada mesin yang mengalami beban kejut, seperti pencacah, crusher, screw press, atau pengaduk bahan kental, daya desain harus dibuat lebih besar karena torsi awal dan tahanan proses dapat meningkat secara tiba-tiba. Pendekatan daya desain menggunakan persamaan berikut:

$$P_d = \frac{(P_w \times K_s)}{\eta}$$

Dengan:

$P_d$  = daya desain motor,

$P_w$  = daya kerja yang dibutuhkan beban,

$K_s$  = faktor servis, dan

$\eta$  = efisiensi transmisi.

### 8.2.2 Torsi Awal dan Torsi Operasi

Torsi operasi adalah torsi yang diperlukan mesin selama bekerja pada kondisi normal. Torsi awal adalah torsi yang diperlukan untuk memulai gerakan dari keadaan diam. Pada beberapa mesin, torsi awal dapat lebih besar daripada torsi operasi karena adanya inersia, gesekan awal, bahan yang tertahan, atau material proses yang belum bergerak.

Motor yang dipilih harus mampu melewati fase start tanpa penurunan putaran berlebihan, panas berlebihan, atau trip pada sistem proteksi. Untuk mesin dengan inersia tinggi, penggunaan metode starting yang sesuai, rasio transmisi yang tepat, atau inverter/VFD dapat membantu mengurangi lonjakan arus dan mengendalikan percepatan motor.

## 8.3 Pemilihan Motor

Pemilihan motor penggerak harus dilakukan secara sistematis agar motor mampu memenuhi kebutuhan proses tanpa boros energi, cepat panas, atau mengalami kegagalan. Parameter yang dipertimbangkan mencakup kapasitas kerja mesin, karakteristik beban, torsi awal, putaran elemen kerja,

efisiensi sistem transmisi, sumber energi yang tersedia, biaya, perawatan, dan kondisi lingkungan.

Kesalahan pemilihan motor dapat menimbulkan dua kondisi ekstrem. Motor yang terlalu kecil akan mengalami overload, panas berlebih, dan umur pakai pendek. Motor yang terlalu besar akan meningkatkan biaya awal, konsumsi energi pada beban parsial, ukuran konstruksi, dan biaya sistem kontrol. Karena itu, motor perlu dipilih berdasarkan kebutuhan daya desain, bukan hanya berdasarkan perkiraan kasar.

#### 8.3.1 Berdasarkan Kapasitas Kerja Mesin

Kapasitas kerja mesin menggambarkan jumlah material atau produk yang diproses dalam satuan waktu. Semakin besar kapasitas, semakin besar energi yang diperlukan untuk melakukan proses pemotongan, pengadukan, pemindahan, penekanan, atau penghancuran. Pada tahap desain awal, kebutuhan daya dapat diperkirakan dari gaya proses, kecepatan gerak, torsi, atau data empiris mesin sejenis.

Untuk mesin pengaduk, daya dipengaruhi oleh viskositas bahan, bentuk pengaduk, diameter impeller, dan kecepatan putar. Untuk mesin pencacah, daya dipengaruhi oleh jenis material, ukuran potongan, ketajaman pisau, jumlah pisau, dan laju pemasukan. Untuk conveyor, daya dipengaruhi oleh berat material, kecepatan sabuk, kemiringan, dan panjang lintasan.

#### 8.3.2 Berdasarkan Beban Awal dan Faktor Servis

Beban awal menjadi pertimbangan penting karena motor harus mampu memulai gerakan sistem dari keadaan diam. Mesin dengan beban awal tinggi memerlukan motor dengan karakteristik starting torque yang memadai. Pada mesin yang sering mengalami material tersangkut atau beban berubah-ubah, faktor servis perlu diterapkan untuk memberikan cadangan kemampuan terhadap beban tidak terduga.

Faktor servis tidak boleh digunakan sebagai alasan untuk mengabaikan desain mekanik yang baik. Jika beban mesin terlalu tinggi akibat gesekan, pisau tumpul, transmisi tidak sejajar, atau *Bearing* rusak, peningkatan daya motor hanya menutupi masalah sementara dan dapat menimbulkan kerusakan pada komponen lain.

### 8.3.3 Berdasarkan Efisiensi dan Ketersediaan Energi

Efisiensi motor memengaruhi konsumsi energi dan biaya operasi. Pada mesin yang bekerja lama setiap hari, motor dengan efisiensi lebih tinggi dapat memberikan penghematan biaya listrik yang signifikan. Untuk motor listrik, efisiensi juga berkaitan dengan kenaikan temperatur dan umur isolasi kumparan.

Ketersediaan sumber energi menentukan pilihan motor. Jika listrik tiga fasa tersedia, motor induksi tiga fasa sering menjadi pilihan terbaik untuk mesin produksi. Jika hanya tersedia listrik satu fasa, daya motor biasanya lebih terbatas. Pada lokasi lapangan tanpa listrik, motor bensin atau diesel dapat dipilih dengan memperhatikan bahan bakar, emisi, kebisingan, dan perawatan.

## 8.4 Sistem Kontrol Dasar

Sistem kontrol dasar pada motor berfungsi menghidupkan, mematikan, mengamankan, dan mengatur operasi motor. Pada mesin sederhana, kontrol dapat berupa saklar manual dan proteksi arus lebih. Pada mesin produksi, sistem kontrol umumnya melibatkan kontaktor, *push button*, MCB, *overload relay*, *emergency stop*, dan *inverter* atau *variable frequency drive* untuk pengaturan kecepatan.

Perancangan sistem kontrol harus mempertimbangkan keselamatan operator, kemudahan pengoperasian, proteksi motor, dan keandalan proses. Posisi tombol start, stop, dan

emergency stop harus mudah dijangkau. Komponen kontrol harus memiliki rating arus dan tegangan yang sesuai dengan motor yang digunakan.

#### 8.4.1 Saklar dan *Push Button*

Saklar digunakan untuk menghubungkan atau memutus aliran listrik. Pada sistem motor, push button start dan stop lebih sering digunakan bersama kontaktor karena lebih aman dan memungkinkan rangkaian kontrol bekerja pada tegangan yang lebih rendah. Tombol stop biasanya menggunakan kontak normally closed agar sistem lebih aman ketika terjadi kerusakan rangkaian.

#### 8.4.2 Kontaktor

Kontaktor adalah saklar elektromagnetik yang digunakan untuk mengendalikan motor listrik dengan arus relatif besar melalui rangkaian kontrol berarus kecil. Kontaktor memungkinkan motor dikendalikan dari jarak tertentu dan dapat dikombinasikan dengan overload relay, interlock, timer, atau sensor proses.

#### 8.4.3 MCB dan Proteksi Arus Lebih

MCB atau miniature circuit breaker berfungsi melindungi instalasi dari arus lebih dan hubung singkat. Pada sistem motor, MCB harus dipilih berdasarkan arus nominal, arus start, kapasitas pemutusan, dan karakteristik beban. Pemilihan MCB yang terlalu kecil dapat menyebabkan trip saat start, sedangkan pemilihan terlalu besar dapat mengurangi fungsi proteksi.

#### 8.4.4 *Overload Relay*

*Overload relay* melindungi motor dari beban lebih yang berlangsung cukup lama. Perangkat ini bekerja dengan mendeteksi arus motor dan memutus rangkaian kontrol ketika

arus melebihi nilai setelan. *Overload relay* penting untuk mencegah kerusakan kumparan motor akibat panas berlebih.

#### 8.4.5 *Inverter* atau *Variable Frequency Drive*

*Inverter* atau VFD digunakan untuk mengatur kecepatan motor AC dengan mengubah frekuensi dan tegangan suplai. VFD bermanfaat untuk mesin yang membutuhkan variasi putaran, start halus, penghematan energi, dan kontrol proses lebih presisi. Penggunaan VFD juga dapat mengurangi lonjakan arus start dan mengurangi hentakan mekanik pada transmisi.

#### 8.4.6 Emergency Stop

*Emergency stop* adalah perangkat penghenti darurat yang digunakan untuk memutus operasi mesin secara cepat ketika terjadi kondisi berbahaya. Tombol ini harus mudah dijangkau, berwarna mencolok, dan ditempatkan pada lokasi yang dapat diakses operator. *Emergency stop* tidak menggantikan sistem pengaman lain, tetapi menjadi lapisan perlindungan tambahan dalam operasi mesin.

### 8.5 Keselamatan Kelistrikan

Keselamatan kelistrikan merupakan aspek penting dalam perancangan dan pengoperasian mesin. Risiko utama pada sistem kelistrikan meliputi sengatan listrik, hubung singkat, kebakaran, panas berlebih, kerusakan isolasi, dan gerakan mesin yang tidak terkendali. Oleh karena itu, sistem kelistrikan harus dirancang dengan proteksi yang memadai dan mengikuti prinsip keselamatan kerja.

Keselamatan kelistrikan tidak hanya bergantung pada komponen listrik, tetapi juga pada tata letak panel, kualitas kabel, grounding, pelindung mekanik, prosedur operasi, dan perawatan berkala. Panel listrik harus tertutup, komponen harus memiliki rating yang sesuai, kabel harus terlindung dari panas dan



gesekan, serta operator harus memahami prosedur start, stop, dan keadaan darurat.

**PRINSIP DASAR**

1 

**HINDARI KONTAK LANGSUNG**  
Cegah sentuhan terhadap bagian bertegangan dengan isolasi, penutup, dan penghalang yang memadai.

2 

**PENTANAHAN (GROUNDING) YANG BAIK**  
Semua bagian logam yang dapat terjangkau harus dihubungkan ke sistem pembuntutan untuk mengalirkan arus gangguan ke tanah.

3 

**PROTEKSI ARUS LEBIH DAN HUBUNG SINGKAT**  
Gunakan sekering, MCB, MCCB, atau pemutus arus yang sesuai untuk melindungi instalasi dan peralatan dari arus lebih atau hubung singkat.

4 

**ISOLASI DAN PENYEKATAN**  
Gunakan isolasi yang memadai pada kabel dan komponen. Pisahkan rangkaian kontrol dari rangkaian daya jika diperlukan.

5 

**AMANKAN ENERGI (LOCKOUT-TAGOUT)**  
Pastikan semua sumber energi listrik dimatikan, disolasi, dan dilucok sebelum melakukan perawatan atau perbaikan.

6 

**KOMPETENSI DAN KEPATUHAN**  
Hanya personel yang kompeten yang boleh bekerja dengan instalasi listrik dan selalu patuhi standar serta prosedur keselamatan.

**TINDAKAN PROTEKTIF UTAMA**

**PENTANAHAN (GROUNDING)**



Hubungan rangka mesin ke sistem pentanahan.

**PROTEKSI ARUS BOCOR**



Gunakan ELCB/RCD untuk melindungi dari arus bocor ke tanah.

**PROTEKSI ARUS LEBIH**



Gunakan MCB/MCCB sesuai kapasitas beban dan kabel.

**PEMISAHAN DAYA**



Sediakan selalu pemisah untuk memutuskan daya saat servis.

**ISOLASI DAN PENUTUP**



Gunakan penutup/bos panel agar bagian bertegangan tidak terjangkau.

**PENATAAN KABEL**



Tata kabel dengan rapi, terlindung dari kerusakan mekanis dan panas.

**LABEL DAN PERINGATAN**



Pasang label bahaya dan instruksi keselamatan yang jelas dan mudah terlihat.

**PEMERIKSAAN BERKALA**



Lakukan inspeksi dan pengujian berkala pada instalasi dan sistem proteksi.

**ATURAN KESELAMATAN UTAMA**



Baca dan pahami instruksi/manual sebelum bekerja.



Pastikan semua sumber listrik dimatikan sebelum bekerja.



Gunakan prosedur lockout-tagout saat perawatan.



Verifikasi tidak ada tegangan dengan alat ukur sebelum menyentuh.



Gunakan APD yang sesuai (sarung tangan isolasi, sepatu safety, kasamata, dll.).



Jauhkan peralatan listrik dari air, uap, dan lingkungan lembap.

**SIMBOL PERINGATAN KELISTRIKAN**



Bahaya listrik tegangan tinggi



Peringatan umum



Risiko sengatan listrik



Risiko kebakaran



Dilarang menyentuh saat bertegangan

Gambar 8. 3. Prinsip Dasar Keselamatan Kelistrikan Pada Mesin.

8.5.1 Grounding

*Grounding* atau pentanahan berfungsi menyediakan jalur arus gangguan menuju tanah sehingga mengurangi risiko sengatan listrik pada operator. Bagian logam mesin, panel, dan rumah motor yang berpotensi menjadi bertegangan akibat kerusakan isolasi perlu dihubungkan ke sistem grounding yang baik.

*Grounding* yang buruk dapat menyebabkan bodi mesin menjadi berbahaya ketika terjadi kebocoran arus. Karena itu, pemeriksaan kontinuitas grounding dan kualitas sambungan pentanahan perlu menjadi bagian dari inspeksi keselamatan mesin.

8.5.2 Proteksi Arus Lebih dan Hubung Singkat

Proteksi arus lebih diperlukan untuk mencegah kabel, motor, dan komponen listrik bekerja melebihi kapasitasnya. MCB, fuse, dan overload relay merupakan komponen yang umum

118

digunakan. MCB lebih berperan melindungi instalasi dari hubung singkat dan arus lebih, sedangkan overload relay lebih fokus melindungi motor dari beban berlebih yang berlangsung dalam waktu tertentu.

Pemilihan perangkat proteksi harus memperhatikan arus nominal motor, arus start, jenis beban, panjang kabel, dan kapasitas pemutusan. Sistem proteksi yang tidak tepat dapat menyebabkan dua masalah: sering trip saat mesin normal atau gagal bekerja saat terjadi gangguan.

### 8.5.3 Isolasi Kabel dan Penataan Instalasi

Kabel listrik harus memiliki ukuran penampang dan kelas isolasi yang sesuai dengan arus, tegangan, temperatur, dan lingkungan kerja. Kabel yang terlalu kecil akan mudah panas dan berpotensi menyebabkan kebakaran. Kabel juga perlu dilindungi dari gesekan, minyak, air, serpihan logam, dan bagian mesin yang bergerak.

Penataan kabel yang baik memudahkan pemeriksaan dan mengurangi risiko kerusakan. Kabel daya dan kabel kontrol sebaiknya ditata rapi dalam ducting, conduit, atau tray. Sambungan kabel harus menggunakan terminal yang sesuai dan tidak boleh dibiarkan terbuka.

### 8.5.4 Keamanan Operator

Operator harus terlindungi dari kontak langsung dengan bagian bertegangan dan bagian mesin yang bergerak. Panel listrik perlu dilengkapi penutup, label peringatan, dan akses terbatas. Tombol emergency stop, tombol stop, dan saklar utama harus mudah dijangkau dari posisi kerja operator.

Dalam pengoperasian mesin, prosedur lockout-tagout atau pengamanan sumber energi perlu diterapkan ketika mesin sedang diperbaiki. Mesin harus dipastikan tidak dapat menyala

secara tidak sengaja ketika operator membersihkan, mengganti pisau, memperbaiki transmisi, atau melakukan perawatan kelistrikan.

## BAB 9

# GAMBAR TEKNIK DAN CAD DALAM PERANCANGAN MESIN

Gambar teknik dan *computer-aided design* (CAD) merupakan bagian penting dalam perancangan mesin karena keduanya berfungsi sebagai media komunikasi teknis antara perancang, bagian produksi, bagian perakitan, bagian pengadaan, dan bagian inspeksi mutu. Ide desain yang masih bersifat konseptual perlu diterjemahkan menjadi bentuk geometris, dimensi, toleransi, material, proses pembuatan, dan informasi perakitan yang dapat dipahami secara konsisten oleh semua pihak yang terlibat.

Dalam perancangan mesin, gambar teknik tidak hanya berfungsi sebagai ilustrasi bentuk. Gambar teknik merupakan dokumen teknis yang memiliki konsekuensi manufaktur, biaya, mutu, dan keselamatan. Kesalahan penunjukan ukuran, toleransi, simbol, atau nomor komponen dapat menyebabkan komponen tidak dapat dirakit, biaya produksi meningkat, atau mesin tidak bekerja sesuai fungsi yang direncanakan. Oleh karena itu, penguasaan gambar teknik dan CAD menjadi prasyarat penting dalam menghasilkan rancangan mesin yang dapat diproduksi dan dipertanggungjawabkan.

### 9.1 Fungsi Gambar Teknik

Gambar teknik adalah bahasa grafis dalam bidang teknik yang digunakan untuk menyampaikan informasi bentuk, ukuran, material, toleransi, proses, dan hubungan antar komponen secara jelas dan terstandar. Dalam konteks manufaktur, gambar teknik

menjadi dasar untuk membuat, memeriksa, merakit, dan memelihara komponen mesin.

Fungsi utama gambar teknik adalah mengurangi ambiguitas antara perancang dan pelaksana produksi. Tanpa gambar teknik yang benar, proses manufaktur sangat bergantung pada interpretasi verbal atau perkiraan operator. Hal ini dapat menimbulkan ketidaksesuaian ukuran, kesalahan bentuk, pemborosan material, dan kegagalan fungsi mesin.

Gambar teknik juga berfungsi sebagai dokumen pengendalian mutu. Dimensi dan toleransi yang dicantumkan pada gambar menjadi acuan pemeriksaan menggunakan alat ukur seperti jangka sorong, mikrometer, dial indicator, height gauge, atau coordinate measuring machine. Dengan demikian, gambar teknik menjadi penghubung antara rancangan, proses manufaktur, dan verifikasi kualitas

## 9.2 Jenis Gambar Teknik

Dalam perancangan mesin, jenis gambar teknik dapat dibedakan berdasarkan tingkat detail dan tujuan penggunaannya. Pada tahap awal, perancang dapat membuat sketsa untuk menuangkan gagasan bentuk dan mekanisme. Setelah konsep dipilih, gambar 2D dan model 3D digunakan untuk mengembangkan bentuk komponen secara lebih akurat. Pada tahap produksi, gambar *assembly*, gambar detail, exploded view, dan bill of material digunakan untuk mendukung pembuatan dan perakitan mesin.

Pemilihan jenis gambar harus disesuaikan dengan kebutuhan informasi. Gambar sketsa cukup untuk komunikasi awal, tetapi tidak cukup untuk proses produksi. Sebaliknya, gambar kerja detail harus memuat dimensi, toleransi, material, kekasaran permukaan jika diperlukan, serta keterangan proses agar komponen dapat dibuat dengan benar.

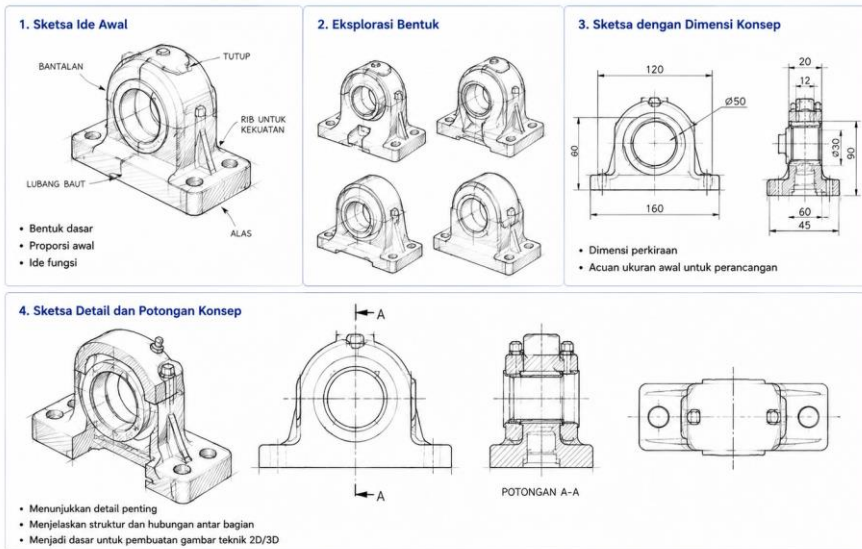
Tabel 9. 1. Jenis Gambar Teknik dan Penggunaannya

| Jenis Gambar           | Fungsi Utama                                           | Informasi yang Umum Dicantumkan                        |
|------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Sketsa                 | Mengembangkan ide awal dan alternatif konsep.          | Bentuk umum, arah gerak, posisi komponen utama.        |
| Gambar 2D              | Menjelaskan tampak dan ukuran komponen secara terukur. | Dimensi, toleransi, simbol, catatan proses.            |
| Model 3D               | Memvisualisasikan bentuk dan hubungan spasial.         | Geometri solid, massa, volume, konfigurasi.            |
| Gambar <i>assembly</i> | Menjelaskan susunan rakitan mesin.                     | Nomor item, posisi komponen, sambungan, daftar bagian. |
| Gambar detail          | Menjadi acuan pembuatan satu komponen.                 | Ukuran lengkap, material, toleransi, finishing.        |
| Exploded view          | Menjelaskan urutan perakitan atau pembongkaran.        | Arah pemasangan, nomor komponen, hubungan antar part.  |

### 9.2.1 Gambar Sketsa

Gambar sketsa merupakan representasi awal dari suatu ide desain. Sketsa biasanya dibuat secara cepat, baik secara manual maupun digital, untuk menggambarkan prinsip kerja, bentuk umum, posisi komponen, dan arah gerak. Walaupun tidak selalu berskala, sketsa harus cukup jelas untuk menjelaskan maksud rancangan.

Dalam proses perancangan mesin, sketsa bermanfaat untuk membandingkan alternatif konsep, misalnya bentuk rangka, susunan motor dan transmisi, posisi poros, letak hopper, atau mekanisme pengeluaran produk. Sketsa juga membantu perancang mengidentifikasi potensi masalah sebelum masuk ke tahap pemodelan detail.

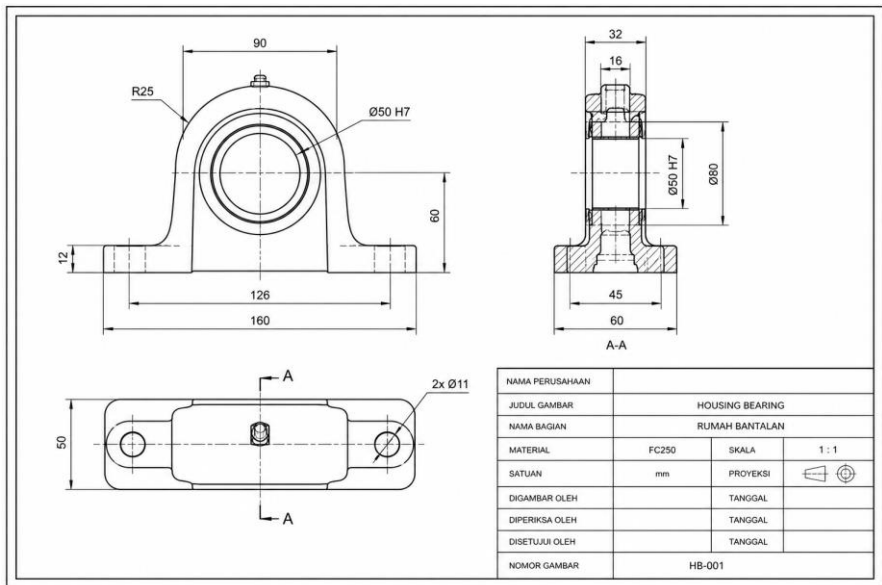


Gambar 9. 1. Contoh Gambar Sketsa

## 9.2.2 Gambar 2D

Gambar 2D adalah gambar dua dimensi yang menampilkan tampak depan, tampak atas, tampak samping, potongan, dan detail tertentu dari suatu komponen. Gambar 2D sangat penting untuk proses produksi karena memuat ukuran nominal, toleransi, simbol, dan catatan teknis. Pada manufaktur konvensional, gambar 2D masih menjadi dokumen utama yang dibaca operator mesin dan teknisi bengkel.

Gambar 2D dapat berupa gambar detail komponen maupun gambar *assembly*. Gambar detail digunakan untuk membuat satu komponen, sedangkan gambar *assembly* menunjukkan hubungan antar komponen dalam satu sistem mesin.



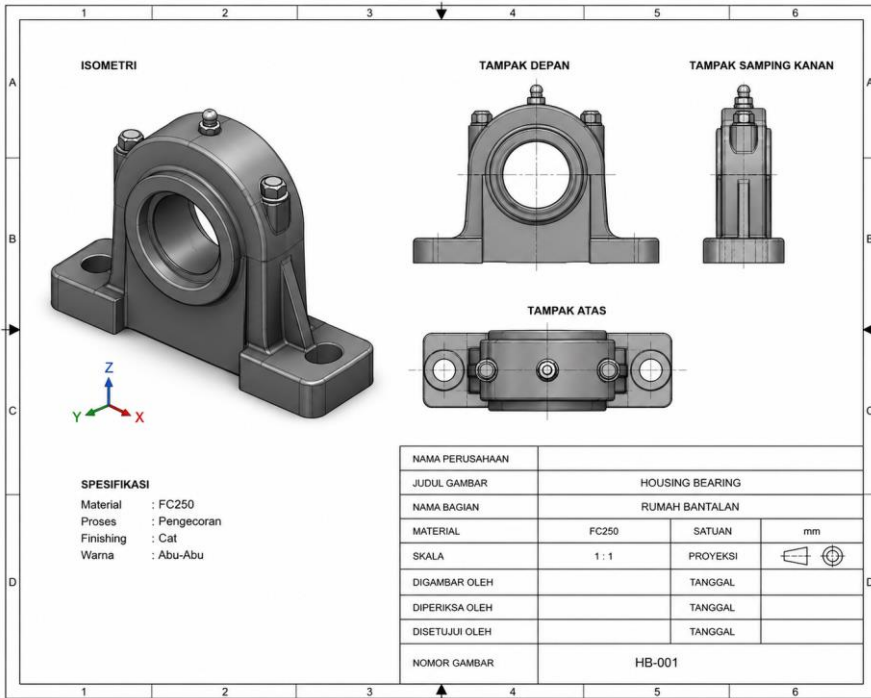
Gambar 9. 2. Contoh Gambar 2D

### 9.2.3 Gambar 3D

Gambar 3D atau model tiga dimensi memberikan representasi visual yang lebih mudah dipahami dibandingkan gambar 2D. Model 3D memudahkan perancang melihat bentuk, volume, posisi komponen, potensi interferensi, dan kesesuaian antar bagian. Model 3D juga dapat digunakan sebagai dasar simulasi, analisis massa, estimasi volume material, rendering, dan pembuatan gambar kerja.

Pada CAD parametrik, perubahan ukuran pada model 3D dapat memperbarui gambar 2D dan *assembly* secara otomatis. Hal ini membantu menjaga konsistensi data desain, terutama pada rancangan mesin yang memiliki banyak komponen.

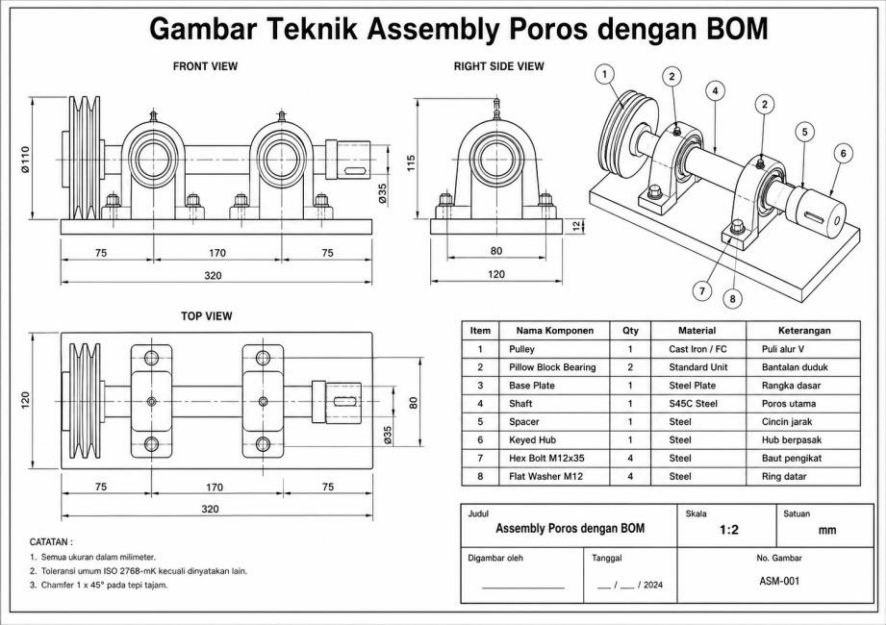




Gambar 9. 3. Contoh Gambar 3D

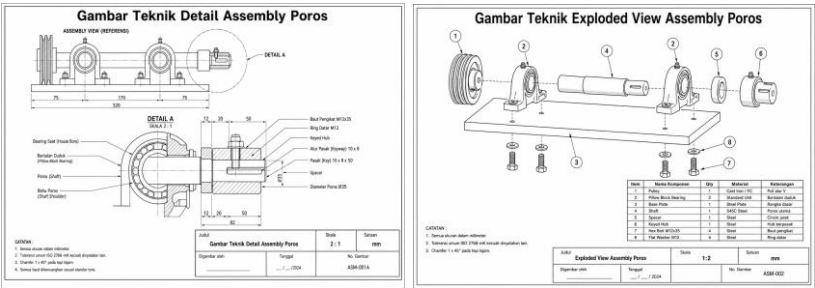
#### 9.2.4 Gambar *Assembly*, *Detail*, dan *Exploded View*

Gambar *assembly* menunjukkan susunan beberapa komponen dalam satu unit mesin. Gambar ini penting untuk memahami hubungan posisi, sambungan, urutan pemasangan, dan fungsi antar komponen. Biasanya gambar *assembly* dilengkapi nomor item yang terhubung dengan *bill of material*.



Gambar 9. 4. Contoh Gambar *Assembly*

Gambar detail menyajikan informasi lengkap untuk membuat satu komponen, termasuk dimensi, toleransi, material, dan proses khusus. *Exploded view* menggambarkan komponen yang dipisahkan dari posisi rakitannya sehingga memudahkan pemahaman urutan perakitan, perawatan, dan penggantian suku cadang.

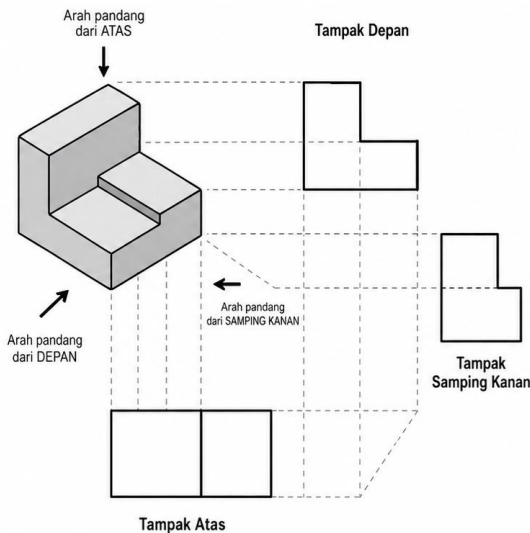


Gambar 9. 5. Contoh Gambar *Detail*, dan *Exploded View*

### 9.3 Jenis Gambar Teknik

Standar gambar teknik diperlukan agar gambar dapat dibaca secara konsisten oleh perancang, teknisi, operator, pemasok, dan bagian inspeksi. Standar mengatur tata cara penyajian proyeksi, jenis garis, penunjukan ukuran, toleransi, simbol kekasaran permukaan, simbol pengelasan, serta informasi pada etiket gambar.

Dalam praktik teknik, beberapa standar yang sering menjadi acuan antara lain ISO untuk dokumentasi teknik produk, ASME untuk dimensi dan toleransi geometrik, serta standar nasional atau standar perusahaan. Penggunaan standar harus disesuaikan dengan kebutuhan industri, negara tujuan produksi, dan sistem mutu yang digunakan.



Gambar 9. 6. Prinsip Tampak Ortografis

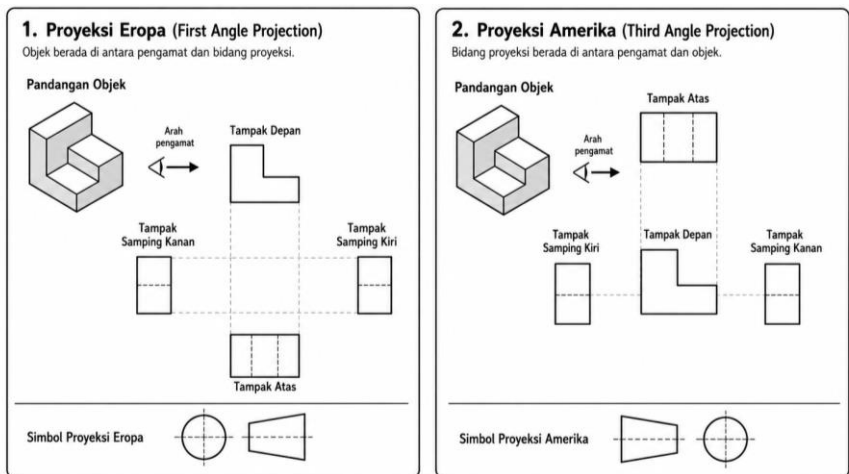
#### 9.3.1 Proyeksi Gambar

Proyeksi gambar merupakan metode yang digunakan untuk menyajikan bentuk benda tiga dimensi ke dalam bidang gambar dua dimensi. Melalui proyeksi, bentuk, ukuran, dan hubungan antarbagian komponen dapat ditampilkan secara jelas

sehingga mudah dipahami dalam proses perancangan, pembuatan, maupun pemeriksaan komponen mesin.

Dalam gambar teknik, dua sistem proyeksi yang umum digunakan adalah proyeksi sudut pertama atau Proyeksi Eropa dan proyeksi sudut ketiga atau Proyeksi Amerika. Perbedaan utama kedua sistem tersebut terletak pada susunan posisi tampak. Pada Proyeksi Eropa, tampak atas diletakkan di bawah tampak depan, sedangkan tampak samping kanan diletakkan di sebelah kiri tampak depan. Sebaliknya, pada Proyeksi Amerika, tampak atas diletakkan di atas tampak depan, dan tampak samping kanan diletakkan di sebelah kanan tampak depan.

Pemilihan sistem proyeksi harus ditunjukkan secara jelas dengan simbol proyeksi pada etiket gambar. Hal ini bertujuan untuk menghindari kesalahan pembacaan posisi tampak, terutama pada gambar kerja yang digunakan dalam proses manufaktur.



Gambar 9. 7. Proyeksi Gambar

Dalam gambar kerja komponen mesin, jumlah tampak yang digunakan harus cukup untuk menjelaskan bentuk komponen secara lengkap. Komponen sederhana dapat digambarkan hanya dengan satu atau dua tampak, sedangkan

komponen yang lebih kompleks memerlukan beberapa tampak tambahan, gambar potongan, atau detail lokal. Pemilihan tampak harus mempertimbangkan kejelasan informasi, efisiensi ruang gambar, dan kemudahan pembacaan oleh teknisi atau operator produksi.

### 9.3.2 Garis Gambar dan Simbol

Jenis garis dalam gambar teknik memiliki makna tertentu. Garis benda tebal digunakan untuk menunjukkan tepi terlihat. Garis putus-putus menunjukkan tepi tersembunyi. Garis sumbu menunjukkan pusat lubang, poros, atau simetri komponen. Garis ukuran dan garis bantu ukuran digunakan untuk menunjukkan nilai dimensi.

Simbol pada gambar teknik digunakan untuk menyampaikan informasi khusus secara ringkas. Contohnya adalah simbol diameter, radius, chamfer, ulir, kekasaran permukaan, toleransi geometrik, dan simbol pengelasan. Penggunaan simbol harus konsisten dan mengikuti standar yang digunakan.



Gambar 9. 8. Beberapa Jenis Garis Dalam Gambar Teknik

### 9.3.3 Toleransi dan Penunjukan Ukuran

Toleransi adalah batas penyimpangan yang diizinkan dari ukuran nominal. Dalam manufaktur, tidak ada komponen yang dapat dibuat benar-benar tepat sama dengan ukuran nominal, sehingga toleransi diperlukan untuk menentukan rentang ukuran yang masih dapat diterima. Toleransi yang terlalu ketat akan meningkatkan biaya produksi, sedangkan toleransi yang terlalu longgar dapat menyebabkan komponen tidak dapat berfungsi atau dirakit dengan baik.

Penunjukan ukuran harus dilakukan dengan jelas, tidak berulang secara tidak perlu, dan ditempatkan pada tampak yang paling menjelaskan bentuk. Pada komponen seperti poros dan lubang *Bearing*, toleransi suaian sangat penting karena menentukan karakter pemasangan, seperti *loose fit*, *transition fit*, atau *interference fit*. Prinsip dasar toleransi ukuran:

**Prinsip dasar toleransi ukuran:**

Ukuran maksimum = ukuran nominal + penyimpangan atas

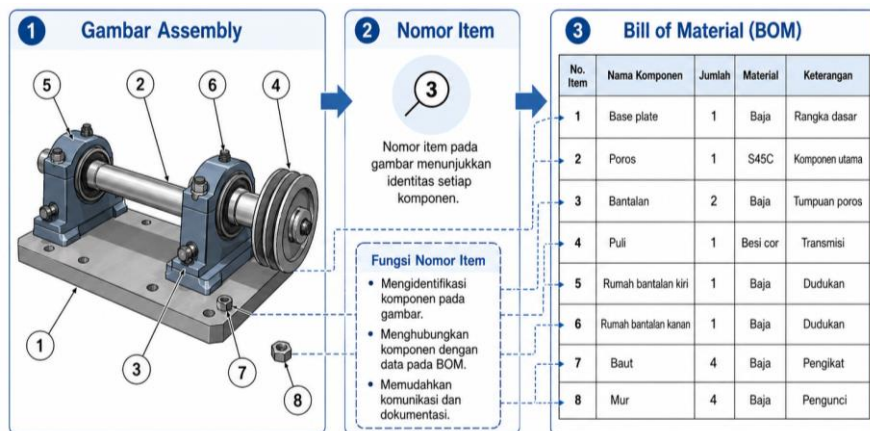
Ukuran minimum = ukuran nominal + penyimpangan bawah

Toleransi = ukuran maksimum - ukuran minimum

## 9.4 *Bill of Material*

*Bill of Material* (BOM) adalah daftar seluruh komponen, material, dan komponen standar yang diperlukan untuk membuat suatu mesin atau sub-rakitan. BOM menjadi penghubung antara gambar *assembly*, pengadaan material, perencanaan produksi, perhitungan biaya, dan dokumentasi teknis.

BOM yang baik harus konsisten dengan nomor item pada gambar *assembly*. Setiap komponen harus memiliki identitas yang jelas, seperti nomor item, nama komponen, material, ukuran, jumlah, proses, dan keterangan. Untuk komponen standar seperti *Bearing*, motor, baut, mur, pulley, sabuk, sprocket, dan rantai, BOM sebaiknya mencantumkan spesifikasi atau kode standar agar tidak terjadi kesalahan pembelian.



Gambar 9. 9. Hubungan Antara Gambar *Assembly*, Nomor Item, dan *Bill of Material*

#### 9.4.1 Fungsi BOM dalam Perancangan Mesin

Dalam perancangan mesin, BOM berfungsi sebagai daftar kendali komponen. Bagian pengadaan menggunakan BOM untuk membeli material dan komponen standar. Bagian produksi menggunakan BOM untuk mengetahui komponen yang harus dibuat. Bagian perakitan menggunakan BOM untuk mencocokkan nomor item dengan gambar *assembly*. Bagian biaya menggunakan BOM untuk menyusun estimasi harga mesin.

BOM juga membantu proses revisi desain. Jika terjadi perubahan komponen, jumlah, material, atau ukuran, perubahan tersebut harus diperbarui pada BOM agar dokumen desain tetap konsisten. Ketidaksesuaian antara BOM dan gambar *assembly* dapat menyebabkan keterlambatan produksi dan kesalahan perakitan.

#### 9.6.2 Prinsip Penyusunan BOM

Penyusunan BOM harus mengikuti struktur rakitan. Untuk mesin yang kompleks, BOM dapat dibuat bertingkat, misalnya BOM untuk rangka, BOM untuk sistem transmisi, BOM untuk unit pemotong, dan BOM untuk sistem kelistrikan. Struktur ini memudahkan pengendalian produksi dan perawatan.

Dalam dokumen buku referensi atau laporan perancangan, BOM sebaiknya dilengkapi dengan satuan, jumlah, spesifikasi material, dan catatan proses. Pada tahap estimasi biaya, BOM dapat dikembangkan menjadi daftar kebutuhan material dan rencana anggaran biaya.





# **BAB 10**

## **MANUFAKTUR KOMPONEN MESIN**

Manufaktur komponen mesin merupakan tahapan penting yang menghubungkan rancangan teknik dengan produk fisik yang dapat digunakan. Perhitungan desain, pemilihan material, dan gambar kerja tidak akan menghasilkan mesin yang andal apabila proses manufaktur tidak dilakukan dengan benar. Oleh karena itu, perancang mesin perlu memahami karakteristik proses pemesinan, pengelasan, pembentukan plat, perakitan, toleransi, suaian, serta finishing.

Dalam praktik rekayasa, keputusan desain harus mempertimbangkan kemampuan proses manufaktur yang tersedia. Komponen yang secara teoritis kuat belum tentu layak diproduksi apabila bentuknya terlalu rumit, toleransinya terlalu ketat, atau memerlukan proses yang tidak tersedia di bengkel. Bab ini menyajikan prinsip-prinsip manufaktur komponen mesin sebagai rujukan teknis untuk memastikan bahwa rancangan dapat dibuat, dirakit, dirawat, dan digunakan secara efektif.

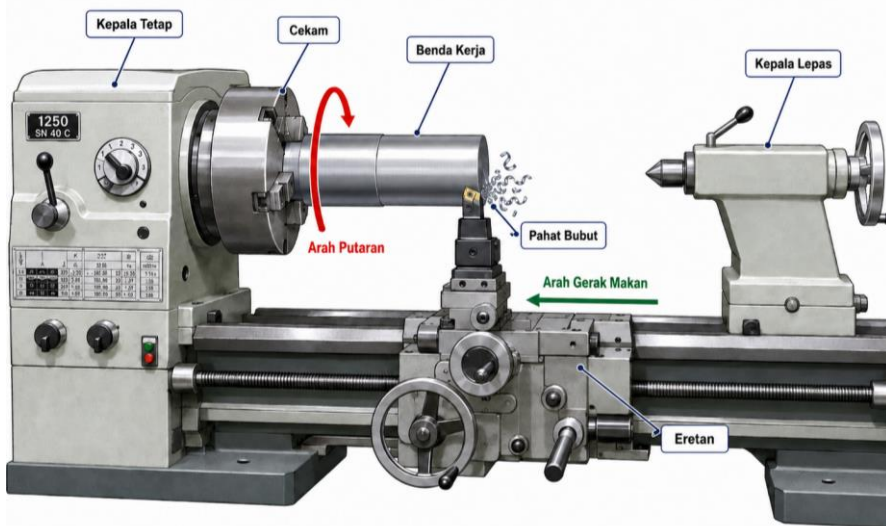
### **10.1 Proses Pemesinan**

Proses pemesinan adalah proses pembentukan komponen dengan cara menghilangkan sebagian material menggunakan alat potong. Proses ini digunakan untuk menghasilkan dimensi, bentuk, dan kualitas permukaan sesuai kebutuhan desain. Dalam manufaktur komponen mesin, proses pemesinan banyak digunakan untuk membuat poros, bushing, pulley, flange, dudukan bantalan, lubang baut, alur pasak, dan permukaan pasang.

Keunggulan proses pemesinan adalah kemampuan menghasilkan ketelitian dimensi relatif tinggi dan kualitas permukaan yang baik. Namun, proses ini juga menghasilkan limbah berupa geram dan memerlukan waktu pengerjaan, mesin perkakas, alat potong, serta operator yang terampil. Oleh karena itu, perancang harus menghindari bentuk yang terlalu sulit dikerjakan apabila tidak memberikan manfaat teknis yang signifikan.

### 10.1.1 Pembubutan

Pembubutan adalah proses pemesinan yang dilakukan dengan memutar benda kerja terhadap alat potong. Proses ini sangat umum digunakan untuk membuat komponen berbentuk silindris, seperti poros, pin, bushing, spacer, pulley, dan ulir. Pada mesin bubut, parameter utama yang perlu diperhatikan adalah kecepatan potong, putaran spindle, gerak makan, kedalaman potong, jenis pahat, dan jenis material benda kerja (Kalpakjian *et al.*, 2020).



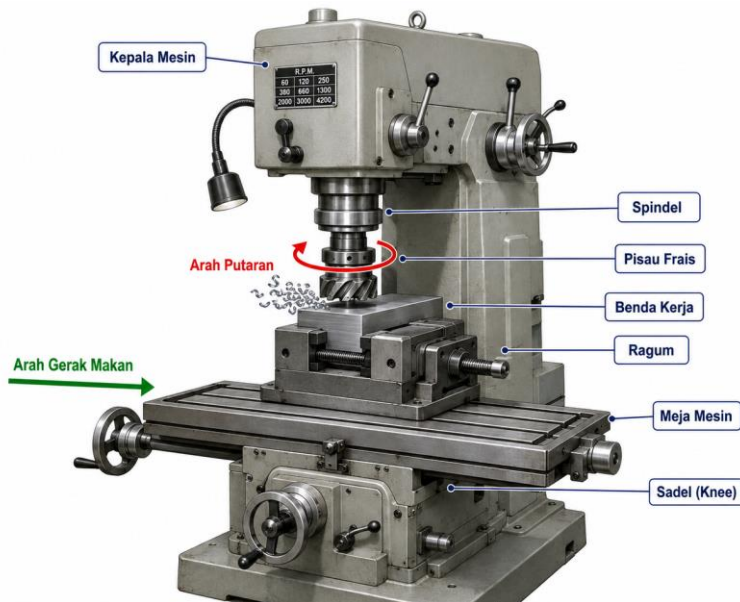
Gambar 10. 1. Ilustrasi Proses Bubut

Dalam perancangan poros, pembubutan sering digunakan untuk menghasilkan diameter bertingkat,udukan *Bearing*, alur snap ring, alur pasak, ulir, dan chamfer. Ketelitian permukaanudukan *Bearing* harus dijaga karena permukaan yang kasar atau ukuran yang tidak sesuai dapat menyebabkan pemasangan bantalan terlalu longgar atau terlalu sesak.

#### 10.1.2 Pengefraisan

Pengefraisan adalah proses pemesinan yang menggunakan cutter berputar untuk memotong benda kerja. Proses ini digunakan untuk membuat bidang datar, alur, slot, permukaan bertingkat, keyway, dan bentuk geometris tertentu. Pada komponen mesin, pengefraisan sering digunakan untuk membuat alur pasak pada poros atau hub, meratakan permukaanudukan, serta membuat slot penyetel pada rangka.

Pengefraisan dapat dilakukan secara konvensional maupun menggunakan mesin CNC. Mesin frais CNC memungkinkan pembuatan geometri yang lebih kompleks dan presisi, tetapi biaya prosesnya lebih tinggi. Pemilihan proses harus disesuaikan dengan tingkat ketelitian, volume produksi, dan kompleksitas komponen (Groover, 2013).

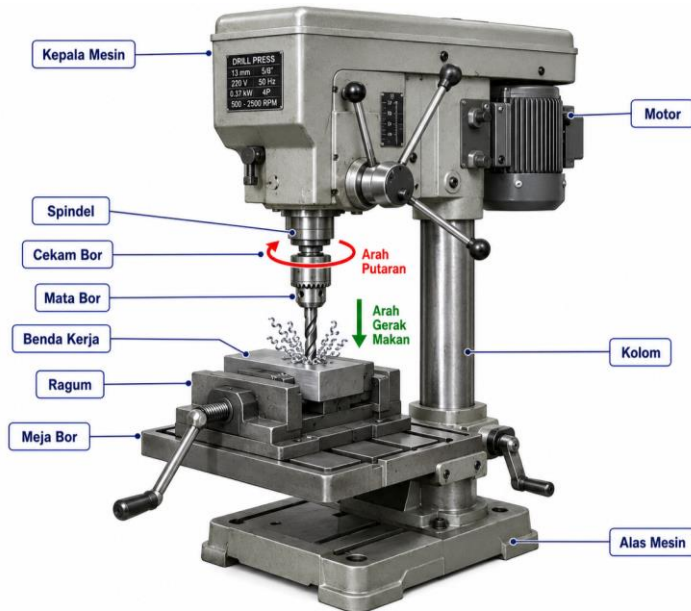


Gambar 10. 2. Ilustrasi Proses Frais

### 10.1.3 Pengeboran

Pengeboran digunakan untuk membuat lubang pada komponen mesin. Lubang tersebut dapat berfungsi sebagai tempat baut, pin, poros, pasak, atau jalur pelumasan. Dalam gambar kerja, lubang harus diberi ukuran diameter, kedalaman, jumlah, pola posisi, dan toleransi apabila diperlukan.

Kualitas lubang dipengaruhi oleh jenis mata bor, kecepatan potong, penjepitan benda kerja, pendinginan, serta ketelitian posisi. Untuk lubang yang membutuhkan ketelitian tinggi, proses pengeboran dapat dilanjutkan dengan reaming, boring, atau tapping apabila diperlukan ulir dalam (Groover, 2013).



Gambar 10. 3. Ilustrasi Proses Pengeboran

#### 10.1.4 Gerinda dan Pemotongan Plat

Proses gerinda digunakan untuk memperbaiki kualitas permukaan, mengasah alat potong, menghilangkan burr, atau menghasilkan dimensi akhir dengan toleransi lebih ketat. Pada poros, gerinda dapat digunakan untuk memperhalus permukaan dudukan *Bearing* agar nilai kekasaran permukaan memenuhi syarat pemasangan.

Pemotongan plat merupakan proses awal dalam pembuatan rangka, cover, hopper, bracket, dan panel mesin. Metode pemotongan dapat berupa *Shearing*, gerinda potong, *plasma cutting*, *laser cutting*, atau *waterjet cutting*. Pemilihan metode bergantung pada ketebalan material, kualitas tepi potong, ketelitian, volume produksi, dan biaya.

## 10.2 Proses Pengelasan

Pengelasan adalah proses penyambungan material, umumnya logam, dengan menggunakan panas, tekanan, atau kombinasi keduanya. Dalam konstruksi mesin, pengelasan banyak digunakan untuk menyambung rangka, bracket,udukan motor, hopper, cover, kaki mesin, dan struktur penopang. Sambungan las dipilih karena mampu menghasilkan sambungan permanen yang kuat, relatif cepat, dan ekonomis.

Walaupun praktis, pengelasan dapat menyebabkan distorsi, tegangan sisa, perubahan struktur mikro, serta potensi cacat seperti porositas, undercut, incomplete fusion, dan retak. Oleh karena itu, desain sambungan las harus mempertimbangkan jenis material, ketebalan, posisi pengelasan, bentuk kampuh, prosedur pengelasan, serta inspeksi hasil las.

### 10.2.1 Pengelasan SMAW

*Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) atau las busur manual menggunakan elektroda terbungkus sebagai sumber logam pengisi dan pelindung busur. Proses ini banyak digunakan pada bengkel fabrikasi karena peralatannya sederhana, fleksibel, dan cocok untuk konstruksi rangka mesin. SMAW sesuai untuk baja karbon dan berbagai pekerjaan perbaikan.

Keterbatasan SMAW adalah produktivitas relatif lebih rendah dibandingkan proses semiotomatis, kualitas sangat dipengaruhi keterampilan operator, serta memerlukan pembersihan slag setelah pengelasan. Dalam pembuatan rangka mesin, SMAW tetap banyak digunakan karena biaya investasi alat rendah dan mudah diterapkan pada berbagai posisi pengelasan.

### 10.2.2 Pengelasan MIG/MAG

*Metal Inert Gas* (MIG) dan *Metal Active Gas* (MAG) menggunakan kawat elektroda kontinu dan gas pelindung. Proses ini memiliki produktivitas tinggi, hasil las lebih bersih, dan cocok untuk produksi berulang. MIG biasanya digunakan untuk aluminium atau stainless steel dengan gas inert, sedangkan MAG

banyak digunakan untuk baja karbon dengan gas aktif seperti CO<sub>2</sub> atau campuran argon-CO<sub>2</sub>.

MIG/MAG sesuai untuk komponen mesin yang membutuhkan kecepatan produksi dan konsistensi hasil. Namun, proses ini membutuhkan peralatan lebih kompleks, gas pelindung, dan kondisi area kerja yang relatif terlindung dari angin agar gas pelindung efektif.

10.2.3 Pengelasan TIG

*Tungsten Inert Gas* (TIG) menggunakan elektroda tungsten tidak habis pakai dan gas inert sebagai pelindung. Proses TIG menghasilkan kualitas las yang baik, bersih, dan presisi, sehingga banyak digunakan pada stainless steel, aluminium, pipa tipis, komponen pangan, dan komponen yang membutuhkan tampilan las rapi.

Kelemahan TIG adalah kecepatan lebih rendah dan membutuhkan keterampilan operator tinggi. Dalam perancangan mesin pangan atau mesin yang bersentuhan dengan bahan korosif, TIG sering dipilih karena hasil sambungan lebih bersih dan mudah difinishing.

Tabel 10. 1. Perbandingan Proses Pengelasan

| Proses  | Kelebihan                                                            | Keterbatasan                                  | Aplikasi pada Mesin                             |
|---------|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| SMAW    | Alat sederhana, fleksibel, biaya relatif rendah.                     | Produktivitas rendah, perlu pembersihan slag. | Rangka mesin, bracket, perbaikan umum.          |
| MIG/MAG | Produktivitas tinggi, hasil relatif bersih, cocok produksi berulang. | Butuh gas pelindung dan alat lebih kompleks.  | Rangka, cover, fabrikasi plat, produksi seri.   |
| TIG     | Hasil rapi, bersih, cocok material                                   | Lebih lambat dan butuh operator terampil.     | Mesin pangan, pipa, stainless steel, aluminium. |



|  |                            |  |  |
|--|----------------------------|--|--|
|  | tipis dan stainless steel. |  |  |
|--|----------------------------|--|--|

### 10.3 Proses Pembentukan Plat

Pembentukan plat adalah proses manufaktur yang mengubah bentuk plat tanpa menghilangkan material secara signifikan. Proses ini penting dalam pembuatan hopper, cover, casing, panel, bracket, pelindung pulley, ducting, dan komponen lembaran lainnya. Keunggulan pembentukan plat adalah efisiensi material yang tinggi dan kemampuan menghasilkan komponen ringan dengan kekakuan yang baik.

Parameter penting dalam pembentukan plat meliputi ketebalan plat, jenis material, radius tekuk, arah serat material, springback, gaya pembentukan, dan batas deformasi. Kesalahan desain pada radius tekuk atau jarak lubang terhadap garis tekuk dapat menyebabkan retak, deformasi tidak terkendali, atau kesulitan fabrikasi.

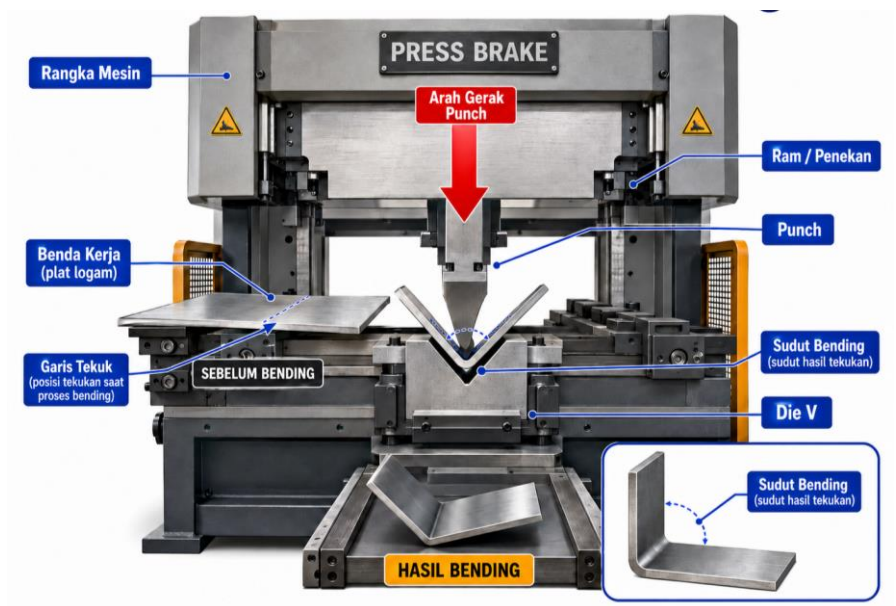
#### 10.3.1 *Bending*

*Bending* merupakan proses pembentukan pelat logam dengan cara menekuk material hingga mencapai sudut tertentu menggunakan gaya tekan. Proses ini umumnya dilakukan dengan bantuan punch dan die, baik pada mesin press brake maupun alat tekuk sederhana. Pada proses *Bending*, pelat ditempatkan di atas die, kemudian punch menekan pelat sehingga terjadi deformasi plastis pada area garis tekuk. Proses ini banyak digunakan dalam pembuatan berbagai komponen mesin dan struktur, seperti cover, bracket, kaki rangka, saluran, panel pelindung, serta bagian hopper (Kalpakjian & Schmid, 2013).

Dalam proses *Bending*, beberapa parameter penting harus diperhatikan, antara lain ketebalan pelat, jenis material, radius tekuk, sudut tekuk, arah tekukan, dan panjang bidang tekuk. Radius tekuk harus disesuaikan dengan ketebalan serta sifat mekanik material. Radius yang terlalu kecil dapat menyebabkan

tegangan tarik berlebih pada sisi luar tekukan sehingga berpotensi menimbulkan retak, terutama pada material yang getas atau memiliki kemampuan deformasi rendah.

Pada gambar kerja, informasi *Bending* harus ditampilkan secara jelas agar proses manufaktur dapat dilakukan dengan tepat. Informasi tersebut meliputi sudut tekuk, arah tekuk, radius dalam, dimensi sebelum dan sesudah proses *Bending*, garis tekuk, serta toleransi ukuran. Untuk menghasilkan komponen yang presisi, perancang juga perlu memperhitungkan bend allowance, yaitu tambahan panjang material akibat proses tekuk, serta springback, yaitu kecenderungan material kembali sebagian ke bentuk semula setelah gaya tekan dilepaskan. Dengan memperhitungkan parameter tersebut, hasil *Bending* dapat memenuhi ukuran, bentuk, dan fungsi yang direncanakan.



Gambar 10. 4. Ilustrasi Proses *Bending*

### 10.3.2 *Rolling*

*Rolling* merupakan proses pembentukan pelat logam dengan cara melewati material di antara beberapa rol sehingga pelat mengalami deformasi plastis dan membentuk lengkungan tertentu. Proses ini banyak digunakan untuk membuat komponen berbentuk melengkung atau silindris, seperti tabung, cover melengkung, selubung mesin, saluran, serta hopper berbentuk silinder.

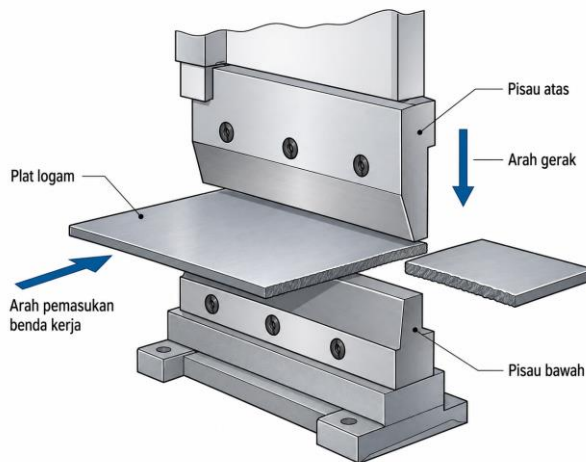
Pada proses *rolling*, bentuk akhir pelat dipengaruhi oleh jarak antarrol, diameter rol, ketebalan pelat, jenis material, serta jumlah lintasan pembentukan. Semakin kecil radius lengkungan yang diinginkan, semakin besar gaya pembentukan yang diperlukan (Kalpakjian & Schmid, 2013). Oleh karena itu, pengaturan posisi rol harus dilakukan secara bertahap agar material tidak mengalami retak, gelombang, atau deformasi berlebihan.

Dalam gambar kerja, informasi proses *rolling* perlu mencakup radius lengkungan, diameter akhir, panjang pelat sebelum dibentuk, arah pembentukan, serta toleransi dimensi. Untuk komponen berbentuk silinder, sambungan ujung pelat biasanya dilanjutkan dengan proses pengelasan atau penyambungan mekanis.

### 10.3.3 *Shearing*

*Shearing* adalah proses pemotongan pelat menggunakan gaya geser yang dihasilkan oleh dua sisi tajam, yaitu pisau atas dan pisau bawah. Pada proses ini, pelat dipotong sepanjang garis tertentu hingga terpisah menjadi bagian yang diinginkan. *Shearing* umumnya digunakan untuk memotong pelat menjadi ukuran awal sebelum masuk ke proses manufaktur lanjutan, seperti *Bending*, *punching*, pengelasan, atau perakitan.

Keunggulan utama proses *Shearing* adalah kecepatan pemotongan yang tinggi, hasil potong yang relatif lurus, serta efisiensi untuk produksi dalam jumlah banyak. Namun, kualitas hasil potong sangat dipengaruhi oleh ketajaman pisau, celah antar pisau, ketebalan material, dan jenis pelat yang dipotong.



Gambar 10. 5. Ilustrasi Proses *Shearing*

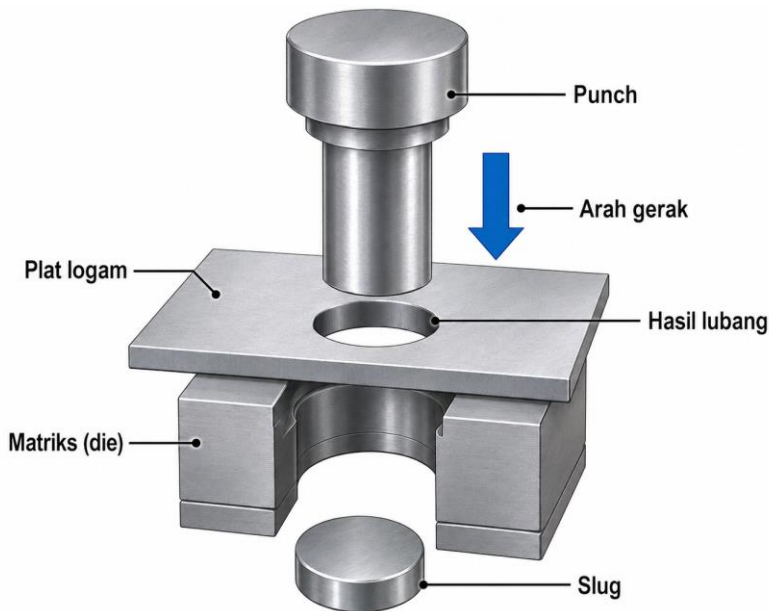
Pada hasil *Shearing*, sering ditemukan burr, deformasi lokal, atau sedikit kemiringan pada tepi potong. Oleh karena itu, proses lanjutan seperti deburring, penggerindaan ringan, atau finishing tepi dapat diperlukan agar komponen aman digunakan dan memenuhi persyaratan kualitas. Dalam gambar kerja, informasi *Shearing* perlu mencakup ukuran potong, garis potong, toleransi dimensi, serta kualitas tepi yang diinginkan.

#### 10.3.4 *Punching*

*Punching* merupakan proses pembuatan lubang atau bentuk tertentu pada pelat dengan menggunakan punch dan die. Punch menekan material menuju die sehingga bagian tertentu dari pelat terpotong sesuai bentuk *punch* (Kalpakjian & Schmid, 2013). Proses ini banyak digunakan untuk membuat lubang baut,

slot, lubang ventilasi, lubang pemasangan, maupun bentuk potongan khusus pada komponen pelat.

Proses *punching* sangat efektif untuk produksi berulang karena dapat menghasilkan lubang dengan ukuran dan posisi yang relatif seragam. Selain itu, proses ini dapat dilakukan dengan cepat dan ekonomis, terutama jika menggunakan mesin press atau mesin *punching* otomatis.



Gambar 10. 6. Ilustrasi Proses *Punching*

Beberapa hal penting yang perlu diperhatikan dalam proses punching adalah ukuran punch, bentuk die, ketebalan pelat, jenis material, serta jarak lubang terhadap tepi dan antar lubang. Jarak yang terlalu dekat dapat menyebabkan pelat robek, melengkung, atau mengalami pelemahan struktur. Hasil punching juga dapat menghasilkan burr pada sisi keluar punch, sehingga proses deburring atau finishing tepi sering diperlukan.

Dalam gambar kerja, informasi *punching* harus mencakup diameter atau bentuk lubang, posisi lubang, jarak antar lubang, jarak lubang terhadap tepi pelat, toleransi, serta jumlah lubang yang dibutuhkan. Informasi tersebut penting agar proses produksi berjalan akurat dan hasil komponen sesuai dengan fungsi perancangannya.

## **10.4 Proses Perakitan Mesin**

Perakitan mesin adalah proses menyatukan komponen hasil manufaktur dan komponen standar menjadi satu sistem mekanik yang berfungsi. Proses ini mencakup pemasangan rangka, poros, bantalan, pulley, sabuk, motor, cover, hopper, sistem transmisi, dan komponen pengaman. Kualitas perakitan sangat menentukan performa akhir mesin karena kesalahan kecil pada alignment, kekencangan baut, atau posisi komponen dapat menyebabkan getaran, kebisingan, keausan, dan kegagalan prematur.

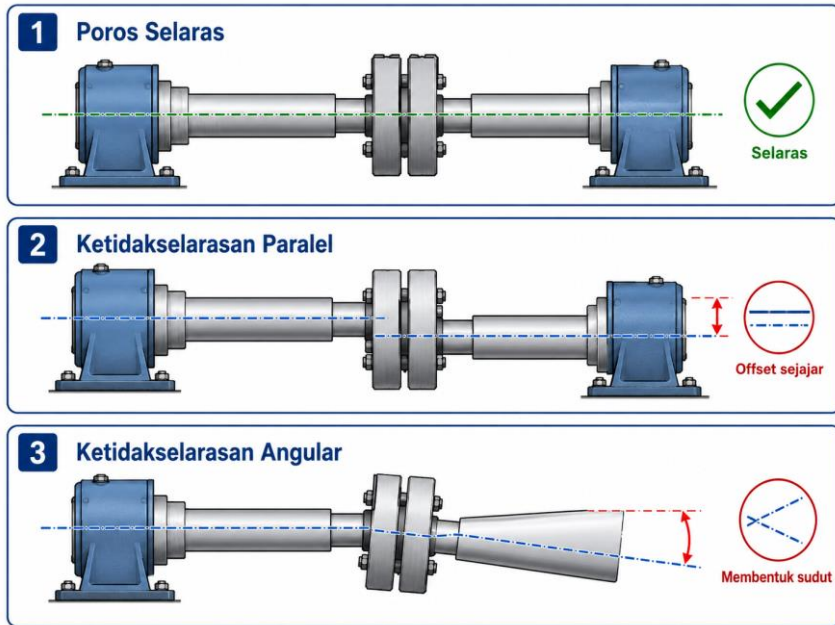
Perakitan yang baik harus mengikuti urutan kerja yang jelas. Komponen utama biasanya dipasang mulai dari rangka, dudukan, bantalan, poros, elemen transmisi, motor, sistem penggerak, pelindung, dan sistem kontrol. Setelah seluruh komponen terpasang, dilakukan pengecekan alignment, putaran manual, kekencangan sambungan, pelumasan, dan uji fungsi tanpa beban maupun dengan beban.

### **10.4.1 Penyelarasan Poros**

Penyelarasan poros bertujuan memastikan poros berputar pada sumbu yang benar dan tidak mengalami beban tambahan akibat misalignment. Misalignment dapat berupa parallel misalignment, angular misalignment, atau kombinasi keduanya. Pada sistem pulley dan sabuk, ketidaksejajaran dapat menyebabkan sabuk cepat aus, slip, getaran, dan beban berlebih pada bantalan.

Pemeriksaan alignment dapat dilakukan menggunakan mistar lurus, dial indicator, laser alignment, atau metode visual untuk mesin sederhana. Semakin tinggi putaran dan semakin besar

daya mesin, semakin penting ketelitian alignment yang diperlukan.



Gambar 10. 7. Ilustrasi Kondisi Poros Selaras, Ketidakselarasan Paralel, dan Ketidakselarasan Angular pada Sistem Poros-Kopling

#### 10.4.2 Pemasangan Bantalan dan *Pulley*

Pemasangan bantalan harus memperhatikan kebersihan permukaan, kesesuaian suaian, metode penekanan, pelumasan, dan penguncian pada poros. Bantalan tidak boleh dipukul langsung pada elemen gelinding karena dapat merusak raceway. Gaya pemasangan harus diberikan pada cincin bantalan yang mengalami interferensi.

*Pulley* dipasang pada poros menggunakan pasak, baut pengunci, *taper lock*, atau metode penguncian lainnya. Setelah pulley terpasang, posisi pulley harus sejajar dengan pulley pasangannya. Ketegangan sabuk perlu disetel sesuai kebutuhan agar tidak terlalu kendur atau terlalu tegang.

## 10.5 Toleransi dan Suaian

Toleransi adalah batas penyimpangan ukuran yang masih diperbolehkan dari ukuran nominal. Dalam manufaktur komponen mesin, toleransi diperlukan karena tidak ada proses produksi yang mampu menghasilkan ukuran benar-benar tepat tanpa penyimpangan. Toleransi yang tepat menjaga keseimbangan antara fungsi teknis dan biaya produksi.

Suaian adalah hubungan ukuran antara dua komponen yang dipasangkan, misalnya poros dan lubang, *Bearing* dan housing, atau pin dan lubang. Jenis suaian dapat berupa clearance fit, transition fit, dan interference fit. Pemilihan suaian yang tidak tepat dapat menyebabkan komponen longgar, sulit dirakit, cepat aus, atau rusak saat pemasangan.

### 10.5.1 Pentingnya Toleransi dalam Perancangan Mesin

Toleransi yang terlalu ketat meningkatkan biaya produksi karena memerlukan mesin presisi, inspeksi lebih detail, dan waktu pengerjaan lebih lama. Sebaliknya, toleransi yang terlalu longgar dapat menyebabkan fungsi komponen terganggu. Oleh karena itu, toleransi harus ditentukan sesuai kebutuhan fungsional, bukan dibuat ketat secara berlebihan.

Pada komponen bergerak seperti poros, bantalan, pulley, dan gear, toleransi memengaruhi kelancaran putaran, kebisingan, getaran, distribusi beban, dan umur pakai. Pada rangka mesin, toleransi posisi dudukan *Bearing* dan motor sangat memengaruhi alignment sistem transmisi.

### 10.5.2 Jenis Suaian

*Clearance fit* adalah suaian yang selalu menghasilkan kelonggaran antara poros dan lubang. Suaian ini digunakan untuk komponen yang harus mudah bergerak atau mudah dibongkar pasang. *Transition fit* dapat menghasilkan kelonggaran kecil atau interferensi kecil, digunakan untuk pemasangan yang membutuhkan posisi cukup presisi. *Interference fit* menghasilkan tekanan kontak antara poros dan lubang sehingga komponen terpasang kuat tanpa kelonggaran.



Contoh penerapan suaian adalah pemasangan *Bearing* pada poros dan *housing*. Cincin *Bearing* yang berputar relatif terhadap arah beban biasanya membutuhkan suaian lebih rapat untuk mencegah creep. Namun, pemilihan akhir harus mengacu pada katalog *Bearing* dan standar toleransi yang berlaku.

# **BAB 11**

## **KESELAMATAN, PERAWATAN, DAN EVALUASI KINERJA MESIN**

Keselamatan, perawatan, dan evaluasi kinerja merupakan bagian integral dalam siklus hidup mesin. Mesin yang dirancang dengan baik tidak hanya harus mampu bekerja sesuai kapasitas, tetapi juga harus aman dioperasikan, mudah dirawat, dan dapat dievaluasi kinerjanya secara terukur. Dalam praktik perancangan mesin, kegagalan untuk memperhatikan keselamatan dan perawatan sering menyebabkan peningkatan downtime, biaya perbaikan, kecelakaan kerja, penurunan produktivitas, serta penurunan umur pakai komponen.

Bab ini membahas aspek keselamatan kerja mesin, identifikasi risiko pengoperasian, perawatan preventif, perawatan korektif, dan pengujian kinerja mesin. Uraian disusun sebagai rujukan teknis agar perancang, operator, teknisi, dan pengelola mesin dapat memahami hubungan antara rancangan mekanik, prosedur kerja, pengendalian risiko, pemeliharaan, serta evaluasi performa mesin secara sistematis.

### **11.1 Keselamatan Kerja Mesin**

Keselamatan kerja mesin adalah upaya sistematis untuk mencegah cedera, kerusakan peralatan, dan gangguan produksi selama mesin digunakan. Dalam perancangan mesin, prinsip keselamatan harus diperhitungkan sejak tahap desain, bukan hanya ditambahkan setelah mesin selesai dibuat. Pendekatan ini sejalan dengan konsep *safety by design*, yaitu bahaya dikurangi

melalui rancangan teknis, pelindung, sistem kontrol, prosedur kerja, dan pelatihan operator.

Komponen berputar seperti poros, pulley, sabuk, sprocket, rantai, kopling, roda gigi, pisau, dan impeller merupakan sumber bahaya utama karena dapat menyebabkan operator terjepit, tersangkut, tersayat, atau tertarik ke dalam mesin. Oleh karena itu, mesin perlu dilengkapi pelindung atau guard yang kuat, mudah dibuka untuk perawatan, tetapi tidak mudah dilepas ketika mesin sedang beroperasi.

Selain pelindung mekanik, mesin harus dilengkapi perangkat penghenti darurat atau emergency stop. Tombol ini ditempatkan pada lokasi yang mudah dijangkau operator dan berfungsi memutus operasi mesin ketika terjadi kondisi tidak aman. Dalam mesin bertenaga listrik, emergency stop sebaiknya terintegrasi dengan rangkaian kontrol sehingga motor berhenti secara aman dan tidak hidup kembali secara otomatis tanpa prosedur reset.

SOP penggunaan mesin diperlukan untuk memastikan setiap operator menjalankan mesin dengan urutan yang benar. SOP sekurang-kurangnya memuat pemeriksaan sebelum operasi, cara menghidupkan mesin, pengaturan material kerja, larangan selama operasi, prosedur penghentian, pembersihan, serta tindakan saat terjadi gangguan. SOP juga perlu ditempatkan di area kerja dalam bentuk yang mudah dibaca.

Alat pelindung diri atau APD merupakan lapisan pengendalian terakhir setelah bahaya dikurangi melalui desain dan pengendalian teknis. APD yang umum digunakan pada pengoperasian mesin meliputi kacamata keselamatan, sarung tangan sesuai jenis pekerjaan, pelindung telinga, sepatu keselamatan, masker atau respirator, serta pakaian kerja yang tidak longgar. Penggunaan APD tidak boleh menggantikan pelindung mesin, tetapi menjadi pelengkap sistem keselamatan.

Tabel 11. 1. Komponen Keselamatan Pada Mesin

| <b>Komponen Keselamatan</b> | <b>Fungsi</b>                                                                       | <b>Catatan Perancangan</b>                                                       |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| Pelindung komponen berputar | Mencegah kontak langsung dengan poros, pulley, sabuk, rantai, roda gigi, dan pisau. | Harus kuat, tidak mengganggu fungsi mesin, dan memungkinkan inspeksi/perawatan.  |
| <i>Emergency stop</i>       | Menghentikan mesin ketika terjadi kondisi berbahaya.                                | Diletakkan pada posisi mudah dijangkau dan tidak tertutup komponen lain.         |
| SOP penggunaan              | Menstandarkan prosedur operasi agar aman dan konsisten.                             | Memuat pemeriksaan awal, pengoperasian, penghentian, dan tindakan darurat.       |
| APD                         | Melindungi operator dari risiko sisa yang tidak dapat dihilangkan sepenuhnya.       | Disesuaikan dengan jenis bahaya: mekanik, listrik, panas, debu, atau kebisingan. |
| Label dan tanda bahaya      | Memberi peringatan visual pada titik risiko.                                        | Harus jelas, tahan lingkungan kerja, dan mudah dipahami.                         |

## 11.2 Risiko dalam Pengoperasian Mesin

Pengoperasian mesin melibatkan berbagai potensi bahaya yang berasal dari gerak mekanik, energi listrik, panas, getaran, kebisingan, material kerja, serta kesalahan prosedur. Risiko merupakan kombinasi antara kemungkinan terjadinya bahaya dan tingkat keparahan akibat yang ditimbulkan. Oleh karena itu, analisis risiko diperlukan untuk menentukan pengendalian yang proporsional.

Risiko terjepit umumnya terjadi pada area nip point, yaitu titik pertemuan antara dua komponen bergerak atau antara komponen bergerak dan komponen diam. Contohnya adalah area antara sabuk dan pulley, rantai dan sprocket, roller, gear, atau mekanisme press. Risiko tersayat terjadi pada mesin dengan

pisau, *cutter*, tepi plat tajam, atau serpihan hasil proses pemotongan.



Gambar 11. 1. Lambang Bahaya Umum pada Pengoperasian Mesin

Risiko tersengat listrik dapat muncul akibat isolasi kabel rusak, grounding tidak memadai, panel listrik terbuka, komponen kontrol basah, atau penggunaan kapasitas proteksi yang tidak sesuai. Risiko terkena panas terjadi pada motor, *Bearing*, permukaan hasil pengelasan, komponen gesekan, atau proses pemanasan. Sementara itu, material terlempar dapat terjadi pada mesin pencacah, gerinda, pemotong, atau mesin dengan putaran tinggi.

Tabel 11. 2. Risiko Utama Dalam Pengoperasian Mesin dan Pengendaliannya

| Jenis Risiko | Sumber Bahaya                                           | Dampak Potensial                             | Pengendalian yang Disarankan                        |
|--------------|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Terjepit     | Pulley-sabuk, sprocket-rantai, roller, mekanisme press. | Cedera jari/tangan, tersangkut, luka serius. | Pelindung, jarak aman, SOP, lockout saat perawatan. |

| <b>Jenis Risiko</b>    | <b>Sumber Bahaya</b>                                                    | <b>Dampak Potensial</b>                              | <b>Pengendalian yang Disarankan</b>                                |
|------------------------|-------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Tersayat               | Pisau, cutter, tepi plat, serpihan tajam.                               | Luka potong, amputasi, infeksi.                      | Guard, alat bantu dorong, sarung tangan sesuai pekerjaan.          |
| Tersengat listrik      | Kabel rusak, panel terbuka, grounding buruk.                            | Cedera listrik, kebakaran, kerusakan motor.          | MCB, grounding, isolasi kabel, panel tertutup, inspeksi berkala.   |
| Terkena panas          | Motor panas, <i>Bearing</i> macet, proses las, gesekan.                 | Luka bakar, kebakaran, kegagalan komponen.           | Pelindung panas, ventilasi, sensor temperatur, SOP pendinginan.    |
| Material terlempar     | Pisau berputar, gerinda, pecahan material, putaran tinggi.              | Cedera mata/wajah, kerusakan area kerja.             | Cover, kacamata keselamatan, batas area kerja, balancing komponen. |
| Kebisingan dan getaran | Ketidakseimbangan rotor, <i>Bearing</i> aus, mesin berkecepatan tinggi. | Gangguan pendengaran, kelelahan, kerusakan komponen. | Peredam, balancing, pelindung telinga, monitoring getaran.         |

### 11.3 Perawatan Preventif

Perawatan preventif adalah tindakan pemeliharaan yang dilakukan secara terencana untuk mencegah kerusakan sebelum terjadi kegagalan. Tujuan utama perawatan preventif adalah menjaga kondisi mesin tetap siap operasi, memperpanjang umur komponen, menurunkan biaya perbaikan, mengurangi downtime, dan menjaga kualitas hasil kerja.

Dalam mesin dengan sistem transmisi mekanik, komponen yang perlu diperiksa secara berkala meliputi pelumasan, kekencangan baut, kondisi sabuk atau rantai, kondisi bantalan, motor penggerak, sistem transmisi, alignment poros,

serta kondisi pelindung keselamatan. Perawatan preventif harus didokumentasikan agar riwayat kondisi mesin dapat ditelusuri.

Jadwal perawatan harus disesuaikan dengan intensitas pemakaian, beban kerja, lingkungan operasi, dan rekomendasi komponen standar. Mesin yang bekerja di lingkungan berdebu, lembap, atau menerima beban kejut memerlukan interval pemeriksaan lebih pendek dibanding mesin yang bekerja pada beban ringan dan lingkungan bersih.

Tabel 11. 3. Contoh Jadwal Perawatan Preventif Mesin

| Komponen          | Pemeriksaan/Tindakan                                                | Interval Umum                     | Indikator Masalah                               |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------------|
| Pelumasan         | Periksa dan tambah grease/oli sesuai kebutuhan.                     | Harian/mingguan tergantung beban. | Bunyi kasar, panas berlebih, gesekan meningkat. |
| Baut dan mur      | Periksa kekencangan baut rangka, <i>Bearing</i> , motor, dan cover. | Mingguan.                         | Getaran, baut kendur, retak sekitar sambungan.  |
| Sabuk atau rantai | Periksa ketegangan, keausan, retak, dan alignment.                  | Mingguan/dua minggu.              | Slip, suara abnormal, aus tidak merata.         |
| Bantalan          | Periksa temperatur, suara, getaran, dan pelumasan.                  | Mingguan/bulanan.                 | Panas, getaran tinggi, putaran berat.           |
| Motor listrik     | Periksa kebersihan, ventilasi, arus, suara, dan temperatur.         | Bulanan.                          | Motor panas, arus naik, bau terbakar.           |
| Sistem transmisi  | Periksa pulley, sprocket, kopling, gear, dan cover.                 | Bulanan.                          | Backlash berlebih, misalignment, kebisingan.    |

| <b>Komponen</b>       | <b>Pemeriksaan/Tindakan</b>                  | <b>Interval Umum</b> | <b>Indikator Masalah</b>                    |
|-----------------------|----------------------------------------------|----------------------|---------------------------------------------|
| Pelindung keselamatan | Pastikan guard dan emergency stop berfungsi. | Sebelum operasi.     | Guard hilang, tombol darurat tidak bekerja. |

### **11.4 Perawatan Korektif**

Perawatan korektif adalah tindakan perbaikan yang dilakukan setelah ditemukan kerusakan atau penurunan performa mesin. Perawatan korektif dapat bersifat terencana apabila kerusakan telah teridentifikasi melalui inspeksi, atau tidak terencana apabila mesin tiba-tiba berhenti karena kegagalan komponen. Perawatan korektif yang baik tidak hanya mengganti komponen rusak, tetapi juga mencari penyebab utama kerusakan.

Langkah awal perawatan korektif adalah menghentikan mesin, mengisolasi sumber energi, dan memastikan kondisi aman sebelum pemeriksaan dilakukan. Isolasi energi mencakup pemutusan daya listrik, pelepasan tekanan, penguncian mekanisme bergerak, serta penandaan agar mesin tidak dihidupkan oleh pihak lain selama perbaikan berlangsung.

Diagnosis kerusakan dilakukan dengan mengamati gejala seperti getaran, kebisingan, panas berlebih, kapasitas turun, hasil proses tidak seragam, konsumsi daya meningkat, atau komponen tidak bergerak normal. Penyebab kerusakan dapat berasal dari keausan, pelumasan kurang, misalignment, beban berlebih, baut kendur, retak, kontaminasi, atau kesalahan operasi.



Tabel 11. 4. Gejala Kerusakan dan Kemungkinan Penyebab

| Gejala             | Kemungkinan Penyebab                                                             | Tindakan Korektif                                                    |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Getaran berlebih   | Poros tidak balance, <i>Bearing</i> aus, pulley tidak sejajar, baut kendur.      | Balancing, ganti <i>Bearing</i> , alignment ulang, kencangkan baut.  |
| Bantalan panas     | Pelumasan kurang/berlebih, misalignment, beban berlebih, <i>Bearing</i> rusak.   | Atur pelumasan, cek alignment, kurangi beban, ganti <i>Bearing</i> . |
| Sabuk slip         | Tegangan sabuk kurang, pulley aus, beban berlebih.                               | Setel ketegangan, ganti pulley/sabuk, evaluasi beban.                |
| Motor panas        | Overload, ventilasi tertutup, tegangan tidak sesuai, <i>Bearing</i> motor rusak. | Cek arus, bersihkan ventilasi, periksa suplai listrik, servis motor. |
| Kapasitas turun    | Pisau tumpul, transmisi slip, material tidak sesuai, putaran turun.              | Asah/ganti pisau, periksa transmisi, sesuaikan material, cek motor.  |
| Bunyi tidak normal | Gear aus, baut kendur, komponen bergesekan, <i>Bearing</i> rusak.                | Inspeksi mekanik, kencangkan sambungan, ganti komponen aus.          |

## 11.5 Pengujian Kinerja Mesin

Pengujian kinerja mesin merupakan tahapan penting dalam proses validasi rancangan untuk memastikan bahwa mesin yang dibuat mampu beroperasi sesuai dengan tujuan perancangan, spesifikasi teknis, serta kebutuhan pengguna. Pengujian tidak hanya diarahkan untuk membuktikan bahwa mesin dapat menyala dan bergerak, tetapi juga untuk memperoleh data kuantitatif dan kualitatif mengenai kapasitas kerja, efisiensi, konsumsi energi, mutu hasil proses, tingkat getaran, kebisingan, temperatur kerja, aspek keselamatan, dan kestabilan operasi.

Data hasil pengujian menjadi dasar dalam mengevaluasi kesesuaian antara rancangan teoritis dan performa aktual mesin di lapangan. Melalui pengujian yang terukur, perancang dapat mengidentifikasi kelemahan konstruksi, ketidaksesuaian pemilihan komponen, kehilangan energi pada sistem transmisi, ketidakseimbangan elemen berputar, maupun risiko keselamatan yang muncul selama pengoperasian. Oleh karena itu, pengujian kinerja berperan sebagai instrumen validasi teknis, pengendalian mutu, dan dasar penyempurnaan desain mesin.

Pelaksanaan pengujian kinerja harus mengacu pada prosedur yang sistematis, alat ukur yang sesuai, serta kondisi operasi yang terkontrol. Parameter pengujian perlu ditetapkan sebelum pengujian dilakukan, sehingga data yang diperoleh dapat dibandingkan dengan target desain atau standar kinerja yang telah ditentukan. Pada mesin pengolahan bahan, parameter yang umum digunakan meliputi kapasitas produksi, efisiensi produksi, konsumsi energi spesifik, daya listrik, daya mekanik, kualitas produk, tingkat getaran, tingkat kebisingan, temperatur motor atau bantalan, serta kelengkapan sistem keselamatan.

Kapasitas produksi dapat ditentukan dari jumlah massa, volume, atau unit produk yang dihasilkan dalam satuan waktu tertentu. Efisiensi produksi dievaluasi dengan membandingkan output aktual terhadap output teoritis atau target rancangan. Konsumsi energi spesifik digunakan untuk mengetahui jumlah energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan satu satuan produk, sehingga dapat digunakan sebagai indikator efisiensi energi. Sementara itu, kualitas hasil kerja dapat dinilai berdasarkan parameter yang sesuai dengan fungsi mesin, seperti ukuran produk, tingkat homogenitas, tingkat kehalusan atau cacahan, kebersihan hasil, kadar air, kualitas permukaan, atau karakteristik teknis lain yang relevan.

Selain parameter produktivitas, pengujian terhadap getaran dan kebisingan juga diperlukan karena kedua aspek tersebut berkaitan dengan keandalan mesin, kenyamanan operator, dan keselamatan kerja. Getaran yang tinggi dapat mengindikasikan adanya ketidakseimbangan komponen berputar, misalignment, kelonggaran sambungan, keausan bantalan, atau kekakuan rangka yang tidak memadai. Kebisingan yang melebihi batas kenyamanan dapat menunjukkan adanya gesekan berlebih, ketidaksempurnaan transmisi, atau kondisi kerja yang berpotensi mengganggu operator.

Pengujian keselamatan dilakukan untuk memastikan bahwa mesin dilengkapi dengan elemen perlindungan yang memadai, seperti pelindung komponen bergerak, emergency stop, sistem grounding, tanda peringatan, serta prosedur operasi standar. Aspek keselamatan harus menjadi bagian yang tidak terpisahkan dari evaluasi kinerja karena mesin yang memiliki kapasitas tinggi belum dapat dinyatakan layak apabila masih menimbulkan risiko operasional bagi pengguna.

Beberapa rumus dasar yang dapat digunakan dalam evaluasi kinerja mesin adalah sebagai berikut.

|                          |                                                          |
|--------------------------|----------------------------------------------------------|
| Kapasitas produksi       | : $Q = \frac{m}{t}$                                      |
| Efisiensi produksi       | : $\eta_p = \left( \frac{Q_a}{Q_t} \right) \times 100\%$ |
| Konsumsi energi spesifik | : $E_s = \frac{E}{m}$ Es = E / m                         |
| Daya listrik tiga fasa   | : $P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos\phi$       |
| Daya mekanik poros       | : $P_m = \frac{(2\pi \times n \times T)}{60}$            |

Keterangan: Q adalah kapasitas produksi; m adalah massa bahan atau produk; t adalah waktu operasi;  $\eta_p$  adalah efisiensi produksi;  $Q_a$  adalah output aktual;  $Q_t$  adalah output teoritis atau

target;  $E_s$  adalah konsumsi energi spesifik;  $E$  adalah energi yang digunakan;  $P$  adalah daya listrik;  $V$  adalah tegangan;  $I$  adalah arus;  $\cos \varphi$  adalah faktor daya;  $P_m$  adalah daya mekanik;  $n$  adalah putaran poros dalam (rpm); dan  $T$  adalah torsi dalam (N.m).

Tabel 11. 5. Parameter Pengujian Kinerja Mesin

| Parameter                | Satuan/Indikator                                                                        | Tujuan Pengukuran                                                                                     | Alat/Metode                                                                           |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Kapasitas produksi       | kg/jam, unit/jam, atau L/jam                                                            | Mengetahui kemampuan produksi aktual mesin dalam kondisi operasi tertentu.                            | Timbangan, gelas ukur, dan stopwatch.                                                 |
| Efisiensi produksi       | Persen (%)                                                                              | Membandingkan output aktual terhadap output teoritis, target desain, atau kapasitas nominal.          | Perhitungan berdasarkan data input-output.                                            |
| Konsumsi daya dan energi | W, kW, atau kWh                                                                         | Menilai kebutuhan energi, beban kerja motor, dan efisiensi penggunaan daya.                           | Wattmeter, clamp meter, atau power analyzer.                                          |
| Kualitas hasil kerja     | Ukuran, homogenitas, cacahan, kualitas permukaan, kadar air, atau indikator teknis lain | Menilai kesesuaian hasil proses terhadap spesifikasi yang ditetapkan.                                 | Pengamatan visual, ayakan/saringan, jangka sorong, mikrometer, atau uji laboratorium. |
| Getaran                  | mm/s, $m/s^2$ , atau nilai relatif sensor                                               | Mendeteksi indikasi ketidakseimbangan, misalignment, kelonggaran struktur, atau kerusakan bantalan.   | Vibration meter atau sensor akselerometer.                                            |
| Kebisingan               | dB(A)                                                                                   | Menilai tingkat kebisingan mesin dan potensi gangguan terhadap kenyamanan serta keselamatan operator. | Sound level meter.                                                                    |
| Temperatur kerja         | $^{\circ}C$                                                                             | Mengetahui peningkatan temperatur pada                                                                | Thermometer digital, infrared                                                         |

| Parameter           | Satuan/Indikator                                                    | Tujuan Pengukuran                                                        | Alat/Metode                                               |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
|                     |                                                                     | motor, bantalan, transmisi, atau komponen kritis selama operasi.         | thermometer, atau thermal camera.                         |
| Keselamatan operasi | Checklist fungsi pelindung, emergency stop, grounding, SOP, dan APD | Memastikan mesin dapat dioperasikan dengan risiko kerja yang terkendali. | Inspeksi keselamatan dan uji fungsi komponen keselamatan. |

Hasil pengujian kinerja perlu didokumentasikan secara lengkap dalam bentuk laporan teknis. Laporan tersebut sekurang-kurangnya memuat tujuan pengujian, spesifikasi mesin, kondisi pengujian, bahan uji, metode pengujian, alat ukur yang digunakan, data hasil pengukuran, analisis kinerja, foto dokumentasi, serta rekomendasi perbaikan. Dokumentasi yang baik akan memudahkan proses pengembangan desain berikutnya, penyusunan SOP, penyusunan jadwal perawatan, serta pembuktian kinerja mesin kepada pengguna atau mitra industri.

Evaluasi hasil pengujian harus dilakukan secara objektif berdasarkan data yang diperoleh. Apabila kapasitas produksi tidak mencapai target, penyebabnya dapat berkaitan dengan daya motor yang tidak mencukupi, rasio transmisi yang kurang tepat, desain elemen kerja yang belum efektif, karakteristik bahan yang tidak seragam, atau adanya kehilangan energi akibat gesekan dan slip. Apabila getaran dan kebisingan berada pada tingkat yang tinggi, maka perlu dilakukan pemeriksaan terhadap keseimbangan komponen berputar, alignment poros dan transmisi, kekakuan rangka, kondisi bantalan, sistem pengikat, serta kualitas perakitan.

Dengan demikian, pengujian kinerja mesin tidak hanya berfungsi sebagai kegiatan akhir setelah proses manufaktur, tetapi juga sebagai bagian integral dari siklus perancangan mesin.

Hasil pengujian memberikan umpan balik teknis yang sangat penting untuk meningkatkan keandalan, efisiensi, keselamatan, dan keberterimaan mesin dalam penggunaan nyata.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, A., & Saputra, A. A. (2025). *MATERIAL TEKNIK*. GEMILANG PRESS INDONESIA.
- Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2015). *SHIGLEY'S MECHANICAL ENGINEERING DESIGN* (10th ed.). McGraw-Hill Education.
- Chudzik, A., & Warda, B. (2020). Fatigue liFe prediction oF a radial cylindrical roller *Bearing* subjected to a combined load using Fem. *Eksploatacja i NiEzawodNosc – MaiNtENaNcE aNd REliability V*, 22(2), 212–220.
- Collins, J. A., Busby, H. R., & Staab, G. H. (2010). *MECHANICAL DESIGN OF MACHINE ELEMENTS AND MACHINES* (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- Erichsen, J. F., Sjöma, H., Steinert, M., & Welo, T. (n.d.). *Digitally Capturing Physical Prototypes During Early-Stage Engineering Design Projects for Initial Analysis of Project Output and Progression*.
- Groover, M. P. (2013). *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems* (5th ed.). John Wiley & Sons, Inc.
- Juniani, A. I., & Singgih, M. L. (2022). Design for Manufacturing , Assembly , and Reliability : An Integrated Framework for Product Redesign and Innovation. *designs*, 6(5). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/designs6050088>
- Juvinall, R. C., & Marshek, K. M. (2017). *Fundamentals of Machine Component Design* (6th ed.). Wiley India Pvt. Ltd.
- Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2013). *Manufacturing Engineering and Technology Eighth Edition* (7th ed.). Pearson Education.
- Kalpakjian, S., Schmid, S. R., & Sekar, K. S. V. (2020). *Manufacturing Engineering and Technology Eighth Edition* (8th ed.). Pearson Education.

- Mott, R. L., Vavrek, E. M., & Wang, J. (2018). *MACHINE ELEMENTS IN MECHANICAL* (6th ed.). Pearson Education.
- Pavlovic, I., Bratić, K., Kiciński, R., & Kluczyk, M. (2024). Testing and Modeling of Shaft Vibrations Due to Misalignment. *Journal of Marine Science and Engineering*, 12(12). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/jmse12122284>
- Poh, E., Liong, K., & Lee, J. S. A. (2022). Mixed Reality for Mechanical Design and Assembly Planning. *HCI International 2022 – Late Breaking Posters*, 1–8.
- Radzevich, S. P. (2012). *Handbook of Practical Gear Design and Manufacture* (2nd ed.). CRC Press. <http://www.crcpress.com>
- William D. Callister, J., & Rethwisch, D. G. (2015). *Fundamentals of Materials Science and Engineering*. John Wiley & Sons, Inc.
- Yu, A., Huang, H. Z., Li, Y. F., Li, H., & Zeng, Y. (2021). Fatigue Life Prediction of Rolling Bearings Based on Modified SWT Mean Stress Correction. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 34(110). <https://doi.org/https://doi.org/10.1186/s10033-021-00625-9>



# INDEKS

## A

Addendum, 162  
Aluminium, ix, 28, 29, 31, 63  
Annealing, 34, 162  
APD, 152, 153, 162  
Assembly, vii, viii, 126, 127, 132, 164, 165, 162

## B

Baja karbon, 25, 27, 31, 62, 63, 162  
Baja karbon rendah, 25, 27, 31, 63  
Baja karbon sedang, 25, 27, 62, 63  
Baja karbon tinggi, 27  
Baja paduan, 26, 27, 63, 162  
Bantalan, iv, vi, vii, ix, 18, 65, 66, 67, 68, 69, 73, 74, 76, 78, 79, 81, 148, 156, 158, 163  
Bantalan gelinding, 67, 69, 163  
Bantalan luncur, 67, 68, 163  
Baut dan mur, 50, 156  
Beban aksial, 57, 74, 163  
Beban berulang, 16  
Beban dinamis, 163  
Beban geser, 15, 163  
Beban kejut, 16, 50, 163  
Beban lentur, 15, 56, 163  
Beban puntir, 16, 54, 163  
Beban radial, 73, 74, 163  
Beban statis, 76, 163  
Bending, viii, 142, 143, 144, 164  
Besi cor, 28, 29, 31  
Bill of Material, v, viii, 131, 132, 164  
BOM, 131, 132, 133, 164

## C

CAD, i, v, 2, 121, 125, 164, 177

Carburizing, 34, 164  
Clearance, 149, 164  
Coating, 164  
Conveyor, 104, 110, 164

## D

Daya desain, 112, 165  
Daya motor, 112  
Daya nominal, 112, 165  
Dedendum, 164  
Defleksi, 58, 164  
Diagram benda bebas, 17, 164

## E

Efisiensi transmisi, 112, 165  
Elemen mesin, 163, 165, 167, 169, 170  
Emergency stop, 117, 153, 165  
Ergonomi, 165  
Exploded view, 123, 127, 165

## F

Faktor keamanan, 18, 165  
Faktor servis, 104, 115, 165  
Fatigue, 164, 165  
Fillet weld, 165  
Finishing, 166

## G

Gambar assembly, 123, 126, 166  
Gambar detail, 123, 124, 127, 166  
Gambar kerja, 166  
Gambar teknik, 121, 122, 166  
Gear, 11, 27, 84, 97, 158, 165  
Gearbox, 103, 166  
Gerinda, 139, 166  
Getaran, 156, 158, 160, 161  
Grounding, 118, 166

## H

Hardening, 34, 166  
Helical gear, 96, 166  
Hopper, 166  
Housing, 167

## I

ISO, 4, 128, 167

## K

Kanal U, 167  
Kapasitas mesin, 167  
Kekakuan, 167  
Kekerasan, 24, 34, 167  
Kekuatan sambungan las, 42  
Kekuatan tarik, 24, 167  
Kelelahan material, 167  
Keselamatan kerja mesin, 151  
Ketahanan aus, 24, 167  
Ketangguhan, 24, 167  
Keuletan, 24, 167  
Kopling, iv, vii, viii, ix, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 148, 167, 168  
Kopling fleksibel, 100, 103, 167  
Kopling kaku, 100, 168  
Korosi, 168

## L

Las, iv, vi, 39, 40, 41, 42, 50, 168  
Lentur, vi, 15, 54, 56, 59, 168  
Lubrikasi, 168

## M

Manufaktur komponen mesin, 135  
Material teknik, 21, 168  
MCB, 115, 116, 118, 155, 168  
Mesin pencacah, 49  
Modul roda gigi, 168  
Modulus elastisitas, 12, 24, 168

Momen, iii, vi, ix, 5, 7, 9, 10, 59, 60, 168, 172  
Momen lentur, 7, 10, 59, 60, 168  
Motor bensin, 109, 110  
Motor diesel, 110  
Motor listrik AC, 108  
Motor penggerak, 107, 169

## N

Normalizing, 34, 63, 169

## O

Overload relay, 116, 169

## P

Paku keling, 48, 50, 169  
Pasak, iv, vi, 37, 45, 46, 47, 50, 169  
Pelapisan, 164  
Pemesinan, v, 135, 169  
Pemilihan bantalan, 70  
Pemilihan material, 21, 29, 62  
Pemilihan motor, 113  
Pemilihan transmisi, 83  
Pengeboran, viii, 138, 139  
Pengefraisan, 137  
Pengelasan, v, ix, 140, 141, 169  
Pengujian kinerja, 158  
Perakitan mesin, 147  
Perancangan bantalan, 65  
Perancangan mesin, i, 1  
Perancangan poros, 51  
Perawatan korektif, 157, 169  
Perawatan preventif, 155, 156, 169  
Perlakuan panas, 32, 170  
Pillow Block Bearing, vii, 72, 73  
Pitch, 170  
Plat, v, vi, 38, 44, 45, 139, 142  
Poros, iv, vi, vii, viii, ix, 5, 9, 10, 15, 16, 17, 18, 27, 30, 46, 50, 51, 52, 53, 54, 57, 58, 59, 61, 62, 63, 66, 100, 102, 103, 147, 148, 158, 170  
Poros transmisi, 10, 16, 63, 66  
Pressure angle, 170

Prototipe, 170  
Pulley, iv, vi, vii, 46, 53, 57, 84, 85, 89, 148, 154, 170  
Puntir, 16, 54, 59, 170

## R

Rangka mesin, 27, 141, 170  
Rantai dan sprocket, 91  
Regangan, iii, vi, 10, 12, 13, 23, 170  
Resultan gaya, 6, 171  
Roda gigi, 57, 94, 96, 166, 171, 173  
Roda gigi heliks, 96  
Roda gigi lurus, 57  
Rolling, vii, 69, 144, 165, 171

## S

Sabuk dan pulley, 85  
Sambungan baut, 37, 48, 171  
Sambungan las, 39, 43, 48, 140, 165, 171  
Sambungan mesin, 36  
Sambungan pasak, 45, 171  
Sambungan permanen, 36, 171  
Sambungan tidak permanen, 171  
Shearing, viii, 139, 144, 145, 171  
Sistem kontrol dasar, 115  
SNI, 171  
SOP penggunaan mesin, 152  
Sprocket, iv, vii, 91, 93, 171  
Stainless steel, 28, 29, 30, 63, 172  
Standar gambar teknik, 128, 172  
Standar keselamatan, 4  
Stress, 165  
Suaian, v, 149

## T

Tegangan, iii, iv, vi, vii, ix, 10, 11, 13, 16, 19, 23, 48, 58, 59, 60, 61, 91, 158, 172  
Tegangan geser, 10, 11, 48, 58, 59, 60, 172  
Tegangan izin, 19, 172  
Tegangan lentur, 10, 16, 172  
Tegangan normal, 11, 172  
Tegangan tarik, 10, 11, 172

Tegangan tekan, 10, 172

Tempering, 34, 172

Throat thickness, 172

Toleransi, v, 131, 149, 172

Torsi, v, vi, vii, 7, 9, 10, 16, 47, 54, 55, 57, 58, 59, 60, 84, 97, 104, 110, 111, 113, 172, 173

Torsi awal, 113, 173

Torsi operasi, 113, 173

Transmisi daya, 83, 173

## U

Umur bantalan, 76

## V

VFD, 113, 117, 171, 173

## W

Washer, 39

Worm gear, 96, 173

# GLOSARIUM

**Addendum:** Bagian tinggi gigi roda gigi yang berada di atas lingkaran pitch.

**Alur pasak:** Celah atau slot pada poros atau hub yang digunakan sebagai tempat pemasangan pasak.

**Annealing:** Proses perlakuan panas untuk melunakkan material, mengurangi tegangan sisa, dan meningkatkan kemampuan pembentukan atau pemesinan.

**APD:** Alat Pelindung Diri yang digunakan operator untuk mengurangi risiko kecelakaan kerja, seperti sarung tangan, kacamata keselamatan, helm, dan sepatu keselamatan.

**Assembly:** Susunan beberapa komponen yang dirakit menjadi satu kesatuan mekanik atau sistem mesin.

**Baja karbon:** Baja yang sifat utamanya ditentukan oleh kandungan karbon dan umumnya diklasifikasikan menjadi baja karbon rendah, sedang, dan tinggi.

**Baja paduan:** Baja yang ditambahkan unsur paduan seperti kromium, nikel, molibdenum, mangan, atau vanadium untuk meningkatkan sifat mekanik, ketahanan aus, atau ketahanan korosi.

**Bantalan:** Elemen mesin yang berfungsi menopang poros, mengurangi gesekan, dan menjaga kestabilan putaran.

**Bantalan gelinding:** Bantalan yang menggunakan elemen gelinding seperti bola atau rol untuk mengurangi gesekan antara poros dan rumah bantalan.

**Bantalan luncur:** Bantalan yang bekerja melalui kontak luncur antara poros dan permukaan bantalan, biasanya dengan bantuan pelumas.

**Beban aksial:** Beban yang bekerja sejajar dengan sumbu poros atau komponen.

**Beban dinamis:** Beban yang berubah terhadap waktu, baik dari segi besar, arah, maupun frekuensinya.

**Beban geser:** Beban yang menyebabkan satu bagian material atau komponen cenderung bergeser terhadap bagian lainnya.

**Beban kejut:** Beban yang bekerja secara tiba-tiba dalam waktu singkat dan dapat menghasilkan tegangan tinggi pada komponen.

**Beban lentur:** Beban yang menyebabkan komponen mengalami pembengkokan akibat momen lentur.

**Beban puntir:** Beban berupa torsi yang menyebabkan komponen mengalami puntiran.

**Beban radial:** Beban yang bekerja tegak lurus terhadap sumbu poros.

**Beban statis:** Beban yang relatif tetap dan tidak berubah secara signifikan terhadap waktu.

**Bending:** Proses pembentukan material dengan cara menekuk plat atau profil pada sudut tertentu.

**Bill of Material (BOM):** Daftar komponen penyusun mesin yang memuat nama komponen, jumlah, material, ukuran, dan keterangan teknis.



**CAD:** Computer-Aided Design, yaitu perangkat lunak yang digunakan untuk membuat desain 2D, model 3D, gambar kerja, dan dokumentasi teknik.

**Carburizing:** Proses perlakuan panas untuk menambah kadar karbon pada permukaan baja sehingga permukaan menjadi lebih keras dan tahan aus.

**Clearance:** Celah atau jarak bebas antara dua komponen yang berpasangan.

**Coating:** Pelapisan permukaan material untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi, keausan, atau pengaruh lingkungan.

**Conveyor:** Sistem pemindah material secara kontinu dari satu tempat ke tempat lain.

**Defleksi:** Perubahan bentuk atau lendutan komponen akibat menerima beban.

**Dedendum:** Bagian kedalaman gigi roda gigi yang berada di bawah lingkaran pitch.

**Diagram benda bebas:** Gambar sederhana yang menunjukkan semua gaya dan momen yang bekerja pada suatu benda atau komponen yang dianalisis.

**Daya:** Laju kerja atau energi per satuan waktu yang dihasilkan atau digunakan oleh mesin.

**Daya desain:** Daya yang digunakan sebagai dasar pemilihan motor atau sistem penggerak setelah mempertimbangkan beban kerja, efisiensi, dan faktor servis.

**Daya nominal:** Daya yang tercantum pada pelat nama motor atau spesifikasi pabrikan pada kondisi operasi tertentu.

**Efisiensi transmisi:** Perbandingan antara daya keluar dan daya masuk pada sistem transmisi daya.

**Elemen mesin:** Komponen dasar penyusun mesin, seperti poros, bantalan, baut, roda gigi, pulley, pasak, dan kopling.

**Emergency stop:** Tombol penghenti darurat yang digunakan untuk menghentikan mesin secara cepat saat terjadi kondisi berbahaya.

**Ergonomi:** Kajian tentang penyesuaian desain mesin, alat, dan lingkungan kerja dengan kemampuan serta kenyamanan manusia.

**Exploded view:** Gambar yang menunjukkan susunan komponen mesin dalam keadaan terpisah untuk memperjelas hubungan antarbagian.

**Faktor keamanan:** Perbandingan antara kekuatan material atau komponen terhadap tegangan atau beban kerja yang terjadi.

**Faktor servis:** Faktor koreksi yang digunakan untuk memperhitungkan kondisi operasi, beban kejut, frekuensi start-stop, dan karakter beban mesin.

**Fatigue:** Kegagalan material akibat pembebanan berulang atau siklik dalam jumlah siklus tertentu.

**Fillet weld:** Sambungan las sudut yang umum digunakan untuk menyambung dua komponen yang saling tegak lurus atau bertumpang tindih.

**Finishing:** Proses akhir pada komponen mesin untuk memperbaiki tampilan, kualitas permukaan, atau perlindungan terhadap lingkungan.

**Gambar assembly:** Gambar teknik yang menunjukkan susunan dan hubungan antar komponen dalam satu unit mesin.

**Gambar detail:** Gambar teknik yang menjelaskan bentuk, ukuran, toleransi, dan informasi manufaktur dari satu komponen.

**Gambar kerja:** Dokumen gambar teknik yang digunakan sebagai acuan dalam proses manufaktur, perakitan, dan inspeksi.

**Gaya:** Aksi mekanik yang dapat menyebabkan benda bergerak, berubah arah, berubah kecepatan, atau mengalami deformasi.

**Gearbox:** Unit transmisi roda gigi yang digunakan untuk mengubah putaran, torsi, atau arah putaran.

**Gerinda:** Proses pemesinan abrasif untuk memperhalus, membentuk, atau memotong permukaan material.

**Grounding:** Sistem pembumian pada instalasi listrik untuk mengurangi risiko sengatan listrik dan kerusakan peralatan.

**Hardening:** Proses perlakuan panas untuk meningkatkan kekerasan material, umumnya melalui pemanasan dan pendinginan cepat.

**Helical gear:** Roda gigi dengan gigi miring terhadap sumbu poros, menghasilkan operasi lebih halus tetapi menimbulkan gaya aksial.

**Hopper:** Saluran atau wadah masuk material pada mesin pengolahan.

**Housing:** Rumah atauudukan komponen, misalnya rumah bantalan, gearbox, atau casing mesin.

**ISO:** International Organization for Standardization, yaitu organisasi internasional yang menerbitkan standar teknis dan manajemen.

**Kanal U:** Profil baja berbentuk huruf U yang digunakan sebagai elemen konstruksi rangka atau struktur.

**Kapasitas mesin:** Kemampuan mesin menghasilkan output kerja dalam satuan waktu tertentu, misalnya kg/jam atau unit/jam.

**Kekakuan:** Kemampuan komponen menahan deformasi akibat beban.

**Kekerasan:** Kemampuan material menahan penetrasi, goresan, atau deformasi permukaan.

**Kekuatan tarik:** Kemampuan material menahan gaya tarik sebelum mengalami kegagalan.

**Kelelahan material:** Kerusakan material akibat pembebanan berulang yang berlangsung dalam waktu tertentu.

**Ketangguhan:** Kemampuan material menyerap energi sebelum patah.

**Ketahanan aus:** Kemampuan material menahan kehilangan material akibat gesekan atau kontak berulang.

**Keuletan:** Kemampuan material mengalami deformasi plastis sebelum patah.

**Kopling:** Elemen mesin yang menghubungkan dua poros untuk meneruskan torsi dan putaran.

**Kopling fleksibel:** Kopling yang mampu mengakomodasi sedikit ketidaksejajaran dan meredam getaran.

**Kopling kaku:** Kopling yang menghubungkan dua poros secara kaku dan membutuhkan keselarasan poros yang baik.

**Korosi:** Kerusakan material akibat reaksi kimia atau elektrokimia dengan lingkungan.

**Las:** Proses penyambungan material dengan cara mencairkan sebagian material induk dan/atau bahan tambah.

**Lentur:** Kondisi pembebanan yang menyebabkan komponen mengalami pembengkokan.

**Lubrikasi:** Proses pemberian pelumas untuk mengurangi gesekan, keausan, dan panas pada komponen bergerak.

**Manufaktur:** Proses pembuatan komponen atau produk melalui pemesinan, pembentukan, pengelasan, perakitan, dan finishing.

**Material teknik:** Material yang digunakan dalam aplikasi rekayasa berdasarkan sifat mekanik, fisik, kimia, dan proses manufakturnya.

**MCB:** Miniature Circuit Breaker, yaitu alat proteksi listrik untuk memutuskan arus saat terjadi beban lebih atau hubung singkat.

**Modul roda gigi:** Parameter ukuran gigi pada sistem metrik yang merupakan perbandingan diameter pitch terhadap jumlah gigi.

**Modulus elastisitas:** Ukuran kekakuan material terhadap deformasi elastis.

**Momen:** Kecenderungan gaya untuk memutar benda terhadap titik atau sumbu tertentu.

**Momen lentur:** Momen yang menyebabkan komponen mengalami pembengkokan.

**Motor penggerak:** Sumber tenaga mekanik yang digunakan untuk menggerakkan mesin, seperti motor listrik, motor bensin, atau motor diesel.

**Normalizing:** Proses perlakuan panas untuk memperbaiki dan menyeragamkan struktur mikro material.

**Overload relay:** Komponen proteksi listrik yang memutus rangkaian ketika motor mengalami beban lebih.

**Paku keling:** Elemen penyambung permanen yang digunakan untuk menyatukan dua atau lebih plat atau komponen.

**Pasak:** Elemen mesin yang dipasang pada alur poros dan hub untuk meneruskan torsi.

**Pelumasan:** Pemberian pelumas pada komponen untuk mengurangi gesekan, panas, dan keausan.

**Pemesinan:** Proses pembentukan material dengan membuang sebagian material menggunakan alat potong, seperti bubut, frais, bor, atau gerinda.

**Pengelasan SMAW:** Shielded Metal Arc Welding, yaitu proses las busur listrik menggunakan elektroda terbungkus.

**Pengelasan MIG/MAG:** Proses las busur listrik dengan kawat elektroda kontinu dan gas pelindung.

**Pengelasan TIG:** Tungsten Inert Gas welding, yaitu proses las menggunakan elektroda tungsten dan gas pelindung inert.

**Perakitan:** Proses menyusun dan menggabungkan komponen menjadi satu unit mesin.

**Perawatan korektif:** Perawatan yang dilakukan setelah terjadi kerusakan atau penurunan fungsi mesin.

**Perawatan preventif:** Perawatan terjadwal untuk mencegah kerusakan dan menjaga keandalan mesin.

**Perlakuan panas:** Proses pemanasan dan pendinginan material secara terkontrol untuk memperoleh sifat mekanik tertentu.

**Pillow block *Bearing*:** Unit bantalan yang dilengkapi rumah bantalan dan umumnya dipasang pada rangka mesin.

**Pitch:** Jarak antar elemen berulang, misalnya jarak antar gigi sprocket atau rantai.

**Pitch diameter:** Diameter teoritis pada roda gigi atau pulley yang menjadi dasar perhitungan rasio dan kontak.

**Poros:** Elemen mesin berbentuk batang silinder yang berfungsi meneruskan putaran dan torsi.

**Pressure angle:** Sudut antara garis aksi gaya gigi dan garis singgung lingkaran pitch pada roda gigi.

**Prototype:** Model awal atau unit percobaan dari suatu rancangan mesin yang dibuat untuk pengujian.

**Pulley:** Roda transmisi yang digunakan bersama sabuk untuk memindahkan daya dan putaran.

**Puntir:** Kondisi pembebanan akibat torsi yang menyebabkan komponen berputar atau terpelintir.

**Rangka mesin:** Struktur utama yang menopang seluruh komponen mesin dan menjaga kestabilan operasi.

**Rantai:** Elemen transmisi daya yang bekerja bersama sprocket untuk meneruskan putaran tanpa slip.

**Rasio transmisi:** Perbandingan antara putaran input dan putaran output pada sistem transmisi.

**Regangan:** Perubahan panjang relatif material akibat pembebanan.

**Resultan gaya:** Gaya tunggal ekuivalen yang mewakili gabungan beberapa gaya yang bekerja pada suatu benda.

**Roda gigi:** Elemen transmisi daya yang meneruskan putaran dan torsi melalui kontak antar gigi.

**Rolling:** Proses pembentukan material dengan melewati material di antara dua atau lebih rol.

**Sabuk:** Elemen fleksibel yang digunakan bersama pulley untuk mentransmisikan daya dan putaran.

**Sambungan baut:** Sambungan tidak permanen yang menggunakan baut dan mur sehingga dapat dibongkar pasang.

**Sambungan las:** Sambungan permanen yang dibuat melalui proses pengelasan.

**Sambungan pasak:** Sambungan antara poros dan hub menggunakan pasak untuk meneruskan torsi.

**Shaft:** Istilah lain untuk poros yang berfungsi meneruskan daya dan putaran.

**Shearing:** Proses pemotongan plat menggunakan gaya geser.

**Sistem kontrol:** Rangkaian atau perangkat yang digunakan untuk mengatur kerja mesin, seperti saklar, kontaktor, relay, dan VFD.

**SNI:** Standar Nasional Indonesia yang digunakan sebagai acuan mutu, keselamatan, dan spesifikasi teknis di Indonesia.

**SOP:** Standard Operating Procedure, yaitu prosedur operasi standar untuk menjalankan mesin secara aman dan benar.

**Sprocket:** Roda bergigi yang digunakan bersama rantai untuk mentransmisikan daya dan putaran.

**Stainless steel:** Baja tahan karat yang mengandung kromium dan memiliki ketahanan korosi tinggi.



**Standar gambar teknik:** Aturan penyajian gambar teknik, termasuk garis, proyeksi, dimensi, toleransi, dan simbol.

**Suaia:** Hubungan ukuran antara dua komponen yang berpasangan, seperti poros dan lubang.

**Tegangan:** Gaya internal per satuan luas yang timbul pada material akibat pembebanan.

**Tegangan geser** Tegangan yang bekerja sejajar terhadap bidang penampang.

**Tegangan izin:** Tegangan maksimum yang diperbolehkan bekerja pada komponen dengan mempertimbangkan faktor keamanan.

**Tegangan lentur:** Tegangan yang timbul akibat momen lentur pada komponen.

**Tegangan normal:** Tegangan yang bekerja tegak lurus terhadap bidang penampang.

**Tegangan tarik:** Tegangan yang timbul akibat gaya tarik.

**Tegangan tekan:** Tegangan yang timbul akibat gaya tekan.

**Tempering:** Proses perlakuan panas setelah hardening untuk mengurangi kerapuhan dan meningkatkan ketangguhan.

**Throat thickness:** Tebal efektif pada sambungan las fillet yang digunakan dalam perhitungan kekuatan las.

**Toleransi:** Batas penyimpangan ukuran yang diizinkan pada komponen teknik.

**Torsi:** Momen puntir yang bekerja pada poros atau komponen berputar.

**Torsi awal:** Torsi yang dibutuhkan untuk memulai gerakan mesin dari kondisi diam.

**Torsi operasi:** Torsi yang dibutuhkan mesin saat bekerja pada kondisi normal.

**Transmisi daya:** Sistem yang memindahkan daya dan putaran dari motor penggerak ke elemen kerja mesin.

**VFD:** Variable Frequency Drive, yaitu perangkat untuk mengatur kecepatan motor listrik AC dengan mengubah frekuensi suplai.

**Worm gear:** Roda gigi cacing yang digunakan untuk memperoleh rasio reduksi besar pada ruang kompak.

## BIODATA PENULIS



**Mazwan, S.Tr.T., M.T**

Dosen Program Studi Teknik Mesin Politeknik Jambi

Penulis lahir di Teluk Lecah pada 02 Desember 1997. Penulis merupakan dosen tetap pada Program Studi Teknik Mesin Politeknik Jambi. Penulis menempuh pendidikan Diploma Empat (D4) pada Program Studi Teknik Mesin Produksi dan Perawatan di Politeknik Negeri Bengkalis, kemudian melanjutkan pendidikan Magister (S2) pada Jurusan Teknik Mesin di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Bidang keilmuan penulis berfokus pada perancangan mesin, proses pemesanan, proses manufaktur, perawatan mesin, serta pengembangan teknologi tepat guna. Selain melaksanakan kegiatan pengajaran, penulis juga aktif dalam penelitian dan pengabdian kepada masyarakat, khususnya pada pengembangan mesin, alat bantu produksi, dan penerapan teknologi mekanik untuk mendukung produktivitas masyarakat dan industri kecil. Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: [mazwan@politeknikjambi.ac.id](mailto:mazwan@politeknikjambi.ac.id)

## BIODATA PENULIS



### **Satrio Darma Utama, S.Tr.T., M.T**

Dosen Program Studi Teknik Mesin Politeknik Jambi

Penulis lahir di Pekanbaru pada 08 April 1998. Penulis merupakan akademisi dengan latar belakang keilmuan di bidang Teknik Mesin. Penulis menempuh pendidikan Diploma Empat (D4) pada Program Studi Teknik Mesin Produksi dan Perawatan di Politeknik Negeri Bengkalis, kemudian melanjutkan pendidikan Magister (S2) pada Jurusan Teknik Mesin di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Bidang keilmuan penulis berfokus pada perancangan mesin, proses manufaktur, Proses pemesinan, perawatan mesin, serta pengembangan teknologi rekayasa mesin dalam mendukung kegiatan pendidikan, penelitian, dan pengabdian kepada masyarakat. Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: [satrio.darma@politeknikjambi.ac.id](mailto:satrio.darma@politeknikjambi.ac.id)

## BIODATA PENULIS



### **Ir. Hj. Hilda Porawati, M.T**

Dosen Program Studi Teknik Mesin Politeknik Jambi

Penulis lahir di Prabumulih pada 21 September 1969. Penulis merupakan akademisi yang memiliki latar belakang keilmuan di bidang Teknik Kimia. Penulis menempuh pendidikan Sarjana (S1) pada Program Studi Teknik Kimia, Universitas Muhammadiyah Palembang, kemudian melanjutkan pendidikan Magister (S2) pada Program Studi Teknik Kimia, Universitas Sriwijaya Palembang. Bidang keilmuan dan pengalaman penulis berkaitan dengan teknik kimia, proses industri, teknologi pengolahan, serta penerapan ilmu rekayasa dalam kegiatan pendidikan, penelitian, dan pengabdian kepada masyarakat. Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: [hildaporawati@politeknikjambi.ac.id](mailto:hildaporawati@politeknikjambi.ac.id)

## SINOPSIS BUKU

Buku referensi "Dasar-Dasar Perancangan Mesin" disusun sebagai sumber rujukan bagi mahasiswa, dosen, peneliti, teknisi, dan praktisi yang membutuhkan pemahaman dasar mengenai prinsip-prinsip perancangan komponen dan sistem mesin. Buku ini membahas perancangan mesin secara sistematis, mulai dari konsep dasar desain, analisis mekanika, pemilihan material, perancangan sambungan, poros, bantalan, transmisi daya, rangka mesin, motor penggerak, sistem kelistrikan dasar, gambar teknik, CAD, proses manufaktur, hingga keselamatan, perawatan, dan evaluasi kinerja mesin.

Pembahasan dalam buku ini diarahkan pada pemahaman teknis dan aplikatif agar pembaca mampu menghubungkan teori dengan kebutuhan perancangan nyata. Setiap topik disajikan dengan uraian konseptual, rumus dasar, tabel teknis, ilustrasi, serta contoh penerapan pada komponen mesin. Materi seperti gaya, momen, tegangan, regangan, faktor keamanan, torsi, pemilihan material, rasio transmisi, sambungan las, sambungan baut, poros, bantalan, pulley, rantai, sprocket, roda gigi, kopling, dan rangka mesin dibahas sebagai dasar dalam menghasilkan rancangan yang kuat, aman, efisien, ekonomis, dan mudah diproduksi.

Buku ini juga menekankan pentingnya standar teknik, keselamatan kerja, kemudahan manufaktur, dan kemudahan perawatan dalam proses perancangan mesin. Dengan cakupan yang luas dan penyajian yang terstruktur, buku ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam kegiatan akademik, penelitian terapan, penyusunan tugas akhir, pengembangan alat tepat guna, serta perancangan mesin sederhana hingga mesin produksi skala kecil dan menengah.