

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Mesin *Bending* Pipa

Bending (pembengkokan) adalah salah satu proses pembentukan yang paling umum, seperti yang dapat diamati pada pembuatan bodi mobil, pipa knalpot, peralatan rumah tangga, penjepit kertas, dan lemari arsip. Proses *bending* juga meningkatkan kekakuan suatu benda dengan meningkatkan momen inersianya. Sebagai contoh, penggunaan gelombang (*corrugations*), flensa (*flanges*), manik-manik (*beads*), dan sambungan lipatan (*seams*) dapat meningkatkan kekakuan suatu komponen dalam proses manufaktur. (Kalpakjian, Schmid, & Sekar, Manufacturing Engineering and Technology, 2023)

Dalam dunia industri, mesin *bending* pipa memainkan peran penting dalam mempermudah dan mempercepat proses produksi. Dengan adanya alat ini, perusahaan dapat menghasilkan pipa dengan bentuk dan dimensi yang sesuai secara konsisten. Contohnya, di industri otomotif, alat ini digunakan untuk membentuk saluran bahan bakar atau knalpot. Sedangkan di bidang konstruksi, mesin ini sering digunakan untuk membuat kerangka struktur bangunan atau jalur pipa untuk air dan gas.

Bagi mahasiswa yang ingin belajar menggunakan mesin *bending* pipa dalam praktikum, alat ini dapat membantu mereka memahami prinsip dasar pembentukan logam serta teknik pembengkokan pipa yang presisi. Mahasiswa

akan belajar cara mengoperasikan mesin, mengatur sudut dan kekuatan tekan, serta menerapkan prosedur keselamatan yang diperlukan saat bekerja dengan alat ini. Melalui praktik langsung, siswa akan memperoleh keterampilan berharga yang relevan, terutama jika mereka berencana untuk bekerja di sektor manufaktur atau konstruksi.

2.1.1 Jenis - jenis Mesin *Bending* Pipa

Berdasarkan bahan, konstruksi, sistem penggerak, dan cara kerja, mesin *bending* pipa dapat di klasifikasikan menjadi tiga jenis yaitu : *bending* manual, *bending* hidrolik, dan *bending* mekanis

a. Mesin *Bending* Pipa Manual



Gambar 2.1.1 Mesin *Bending* Pipa Manual
(Sumber : <https://images.app.goo.gl/vqV6xZ536g1PgNYr5>)

Mesin *bending* manual bekerja dengan menggunakan tenaga manusia untuk memberikan gaya dorong pada pipa melalui tuas atau mekanisme roda pemutar. Operator harus menarik atau mendorong tuas untuk memberikan tekanan pada pipa hingga mencapai bentuk yang diinginkan.

Komponen utama pada mesin *bending* pipa manual adalah rangka mesin sederhana agar mudah dioperasikan manual, tuas pembengkok yang digunakan oleh operator mesin *bending* manual, pengunci pipa agar saat pipa dibengkokkan di sisi yang lain bentuk pipa tidak berubah.

Mesin *bending* pipa manual masih di gunakan karena memiliki keunggulan tidak memerlukan energi listrik atau hidrolik, mesin *bending* manual bisa di bawa atau bersifat *portable* tanpa membutuhkan daya eksternal, dan mesin *bending* pipa manual memiliki mekanisme perawatan yang mudah. Adapun kelemahan dari mesin *bending* pipa manual adalah: membutuhkan tenaga manusia yang lebih besar di banding mesin *bending* yang lain, kurang cocok bahkan tidak bisa di gunakan dalam pipa diameter melebihi 1 *inchi*, tingkat presisi yang kurang untuk sudut kompleks.

b. Mesin *Bending* Pipa Hidrolik



Gambar 2.1.2 Mesin *Bending* Pipa Hidrolik
(Sumber : : <https://share.google/images/Ks1IwybGo8i9OlycD>)

Mesin *bending* hidrolik menggunakan sistem fluida bertekanan tinggi untuk menghasilkan gaya tekan yang besar. Mekanisme ini

memungkinkan pipa *dibending* dengan lebih mudah dan presisi dibandingkan sistem manual.

Komponen utama pada mesin *bending* pipa hidrolik adalah: pompa hidrolik yang dapat menghasilkan tekanan untuk mendorong piston agar bisa membengkokkan pipa, silinder hidrolik yang berfungsi untuk merubah tekanan hidrolik menjadi gerakan mekanis, katup pengontrol hidrolik yang pada mesin sederhana adalah tuas pemompa alat hidrolik

Mesin *bending* pipa hidrolik memiliki kelebihan mampu membengkokkan pipa yang memiliki ukuran lebih besar sampai 4 *inchi* atau lebih, pada mesin *bending* hidrolik yang sederhana sudutnya lebih presisi dan pada mesin yang canggih dapat menghasilkan sudut yang akurat, menggunakan tenaga listrik yang lebih kecil, sudut pembengkokkan dapat diatur hingga 180° tanpa deformasi signifikan. Adapun kekurangan pada mesin pipa hidrolik adalah harganya yang lebih mahal di bandingkan dengan mesin manual, pengerjaannya lebih lambat di bandingkan dengan mesin otomatis, membutuhkan perawatan berkala untuk pengecekan oli agar mesin tetap efisien, beban mesin yang berat sehingga kurang *portable*

c. Mesin *Bending* Pipa Mekanis

Mesin *bending* pipa *roll* adalah mesin yang Memanfaatkan roda gigi dan motor listrik sebagai penggerak utama. Mesin ini sering digunakan dalam industri dengan skala produksi besar karena kemampuannya

yang cepat dan otomatis. (Sumber: Journal of Mechanical Engineering, 2021)

Mesin *bending* pipa mekanis sistem *roll* bekerja dengan menggunakan tiga rol yang disusun dalam formasi segitiga; dua rol bawah berfungsi sebagai penyangga, sementara rol atas berfungsi sebagai penekan. Pipa ditempatkan di antara rol-rol tersebut, dan dengan mengatur posisi rol atas, pipa akan dibengkokkan secara bertahap hingga mencapai radius lengkung yang diinginkan. Proses ini memungkinkan pembentukan lengkungan yang halus dan presisi pada pipa.

Mesin *bending* pipa mekanis sistem *roll* memiliki kelebihan dari fleksibilitas material yang dapat di bengkokkan, presisi sudut pembengkokkan, efisiensi pengerjaan *bending* pipa

2.1.2 Kebutuhan Mesin *Bending* Pipa

Mesin *bending* pipa menjadi kebutuhan penting bagi manusia karena kemampuannya dalam menghasilkan pipa yang dibentuk sesuai kebutuhan industri, seperti di bidang otomotif, konstruksi, dan manufaktur. Dengan mesin ini, pipa dapat dibentuk dengan berbagai sudut dan bentuk yang dibutuhkan, memperkuat efisiensi dalam menciptakan struktur, saluran, dan komponen-komponen yang mendukung berbagai proyek infrastruktur serta peralatan sehari-hari. Alat ini juga membantu menciptakan produk yang lebih aman dan efisien, sekaligus menghemat waktu dan biaya produksi.

2.1.3 Prinsip Kerja Mesin *Bending* Pipa

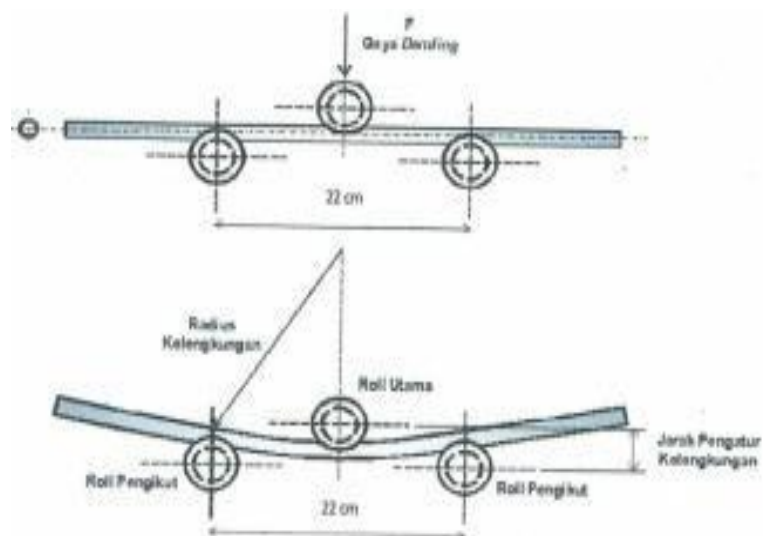
Prinsip kerja mesin *bending* pipa yang menggunakan motor listrik dirancang untuk mempermudah dan meningkatkan efisiensi proses pembengkokan pipa dengan hasil yang presisi dan konsisten. Mesin ini bekerja dengan motor listrik yang menggerakkan sistem mekanis, yang biasanya terhubung ke *gearbox* atau sistem reduksi. Sistem ini berfungsi untuk menyesuaikan kecepatan dan torsi sesuai kebutuhan proses pembentukan pipa. Ketika mesin dioperasikan, pipa yang akan dibentuk ditempatkan pada jalur berbentuk setengah lingkaran yang menjadi bagian dari struktur dasar mesin. Selanjutnya, pipa dijepit menggunakan komponen penjepit agar tetap stabil dan tidak bergeser selama proses pembengkokan berlangsung. Gaya dari motor listrik kemudian diarahkan melalui roda pemutar, die, atau *roller*, yang bertugas membentuk pipa mengikuti sudut dan bentuk yang diinginkan. Komponen-komponen ini bekerja secara sinergis untuk memastikan bahwa pipa dibengkokkan dengan presisi tinggi tanpa menimbulkan deformasi atau kerusakan pada material.

Selain itu, mesin ini dilengkapi dengan sistem kontrol yang berfungsi untuk memantau dan mengatur parameter penting selama proses berlangsung, seperti sudut, tekanan, dan kecepatan pembengkokan. Sistem kontrol ini biasanya didukung oleh sensor atau limit switch yang secara otomatis menghentikan proses pembengkokan ketika sudut yang diinginkan telah tercapai. Hal ini tidak hanya memastikan bahwa hasil pembengkokan sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan, tetapi juga mengurangi risiko

kesalahan operator selama pengoperasian. Dengan kombinasi desain yang cermat dan teknologi yang andal, mesin *bending* pipa ini mampu memenuhi berbagai kebutuhan industri, mulai dari produksi massal hingga pembuatan komponen khusus, dengan tetap menjaga kualitas dan efisiensi proses.

2.1.4 Proses *Bending* Pipa

Prinsip dasar dari pembentukan logam ini adalah melakukan perubahan bentuk pada benda kerja. Gaya-gaya pembentukan yang dapat merubah bentuk benda kerja yang permanen seperti pengerjaan logam yaitu: proses pengerjaan dingin. Proses pengerjaan dingin dapat didefinisikan sebagai proses pembentukan logam yang dilakukan dibawah temperatur rekristalisasi.



Gambar 2.1.3 Proses *Bending* Pipa
(Sumber : Pribadi)

2.1.5 Komponen Mesin *Bending* Pipa

Komponen yang digunakan untuk membuat sebuah mesin *bending* pipa otomatis yang sederhana dan efisien memerlukan segala sumber informasi yang dapat dikembangkan untuk memilih komponen-komponen alat/mesin yang paling ekonomis, segala perhitungan teknis dan penciptaan bentuk dari

alat/mesin yang menarik. Analisis kebutuhan sangat diperlukan dalam perancangan alat/mesin pengerol pipa untuk mendapatkan sebuah hasil yang maksimal. Berikut adalah komponen pada mesin *bending* pipa berbasis *roll*

1. Rangka Mesin (*Frame*)

Rangka mesin merupakan struktur utama yang menopang seluruh komponen pada mesin *bending* pipa. Rangka harus memiliki kekuatan dan kestabilan yang tinggi untuk menahan beban serta tekanan yang dihasilkan selama proses pembengkokan. Material yang digunakan untuk rangka umumnya adalah baja atau besi tuang, karena memiliki ketahanan terhadap gaya mekanik yang besar. Desain rangka juga dibuat agar mampu mengurangi getaran yang terjadi selama proses pembengkokan, sehingga hasil yang diperoleh lebih presisi dan minim kesalahan.

2. *Roller*

Rol merupakan komponen utama yang berfungsi untuk membentuk pipa sesuai dengan radius yang diinginkan. Pada mesin *bending pipa*, terdapat tiga buah rol yang memiliki fungsi berbeda. Rol atas bertugas untuk memberikan tekanan langsung pada pipa, sedangkan dua rol bawah berfungsi sebagai penopang serta penggerak pipa selama proses pembengkokan berlangsung. Rol harus dibuat dari material yang sangat kuat, seperti baja paduan keras atau baja karbon tinggi, agar tidak mengalami deformasi selama penggunaan. Desain rol juga harus mempertimbangkan diameter dan tekstur permukaan agar

pipa tidak mengalami slip atau perubahan bentuk yang tidak diinginkan.

3. Sistem Penggerak (*Drive System*)

Sistem penggerak pada mesin *bending roll* berfungsi untuk menggerakkan rol sehingga pipa dapat diputar dan dibengkokkan sesuai dengan desain yang diinginkan. Komponen utama dalam sistem penggerak ini meliputi motor listrik, *gearbox*, dan sistem transmisi seperti rantai atau *belt*. Motor listrik berperan sebagai sumber tenaga utama yang memberikan daya ke sistem transmisi. *Gearbox* berfungsi untuk menurunkan kecepatan putaran motor dan meningkatkan torsi agar proses pembengkokan dapat dilakukan secara optimal. Sistem transmisi, baik berupa rantai maupun *belt*, bertugas untuk meneruskan putaran dari motor ke rol dengan efisiensi tinggi.

4. Mekanisme Penyesuaian

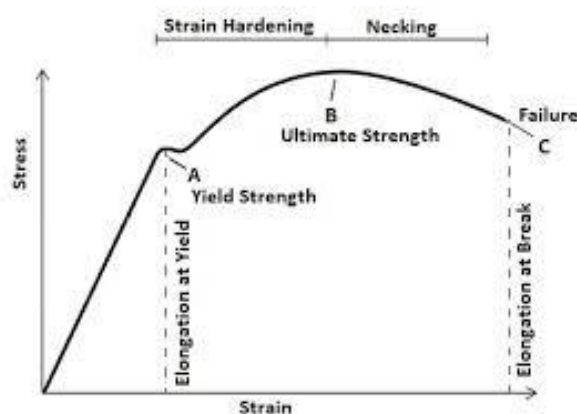
Agar mesin *bending* dapat menghasilkan berbagai ukuran radius lengkungan, diperlukan mekanisme penyesuaian untuk mengatur posisi rol atas. Mekanisme ini dapat berupa sistem manual yang menggunakan skrup penyesuai atau sistem otomatis yang menggunakan aktuator hidrolik. Pada mesin manual, operator harus mengatur posisi rol secara langsung dengan memutar skrup hingga mencapai posisi yang diinginkan. Sedangkan pada mesin otomatis, penyesuaian dilakukan menggunakan sistem hidrolik yang lebih presisi dan mudah dioperasikan.

5. Sistem Keamanan

Mesin *bending pipa* harus dilengkapi dengan sistem keamanan untuk melindungi operator dari risiko kecelakaan kerja. Salah satu fitur keamanan yang umum digunakan adalah yang memungkinkan operator untuk menghentikan mesin secara langsung jika terjadi kesalahan atau keadaan darurat. Selain itu, beberapa mesin juga dilengkapi dengan pelindung atau *guard* pada bagian yang bergerak untuk menghindari kontak langsung dengan operator. Penerapan sistem keamanan yang baik sangat penting untuk memastikan keselamatan kerja dan mengurangi risiko cedera.

2.1.6 Tegangan Yang Bekerja

Tegangan normal (*normal stress*) dan tegangan geser tangensial (*tangential shear stress*) adalah distribusi gaya yang bekerja pada suatu titik di permukaan bersifat unik dan memiliki komponen dalam arah normal dan tangensial (Budynas & Nisbett, 2015)



Gambar 2.1.4 Grafik Tegangan

Tegangan yang bekerja pada proses pengerjaan di jelaskan dengan rumus

$$\sigma = \frac{M \times c}{I} \quad (2.1)$$

Sumber : (Khurmi & Gupta, 2005)

Keterangan :

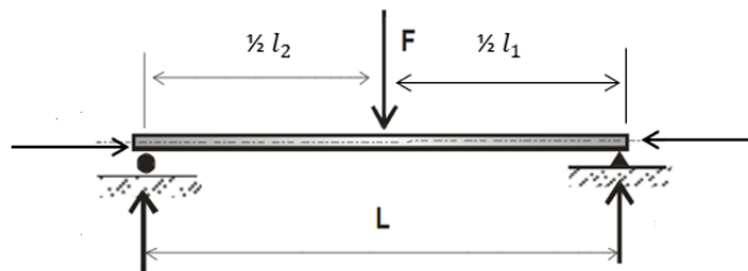
σ_y = Tegangan Luluh Bahan (kg/mm^2)

M = Momen (Kg.mm)

I = Momen Inersia (mm^4)

c = jarak sumbu netral terhadap diameter terluar benda kerja (1/2)
diameter pipa

Mencari momen dengan pembebanan di tengah



$$M = \frac{F \times L}{4} \quad (2.2)$$

Sumber : (Khurmi & Gupta, 2005)

Keterangan :

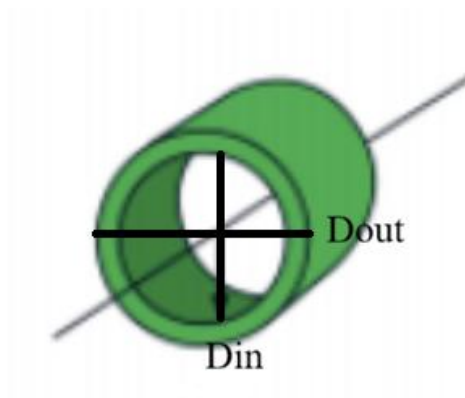
M = Momen (Kg.mm)

F = Gaya yang Bekerja (kg)

L = Jarak sumbu penekanan terhadap sumbu tumpuan

2.1.7 Momen Inersia Pipa

Momen inersia adalah ukuran kelembaman benda dalam Gerak melingkar. Kelembaman adalah sifat mempertahankan kedudukannya. Maksudnya kalau benda sedang diam maka ia akan bertahan untuk diam, sedangkan kalau benda sedang berputar. (Sufiyanto, 2011).



Untuk mencari momen inersia digunakan rumus :

$$I = \frac{\pi \cdot (d_{out}^4 - d_{in}^4)}{64} (mm^4) \quad (2.3)$$

Sumber : (Beer, E. Russell Johnston, DeWolf, & Mazurek, 2015)

Keterangan :

I = Momen Inersia (mm^4)

d_{out} = Diameter luar pipa (mm)

d_{in} = Diameter dalam pipa (mm)

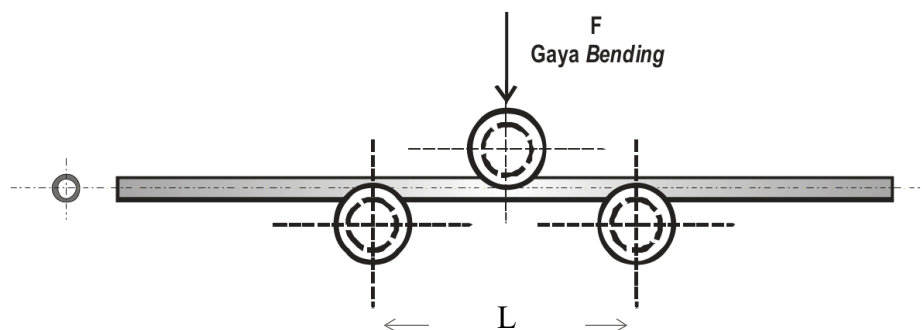
2.1.8 Gaya Tekan

Gaya tekan (*Pressing Force*) adalah gaya yang bekerja pada suatu benda dengan arah menuju ke dalam, menyebabkan benda tersebut mengalami pemendekan atau penyusutan. Dalam mekanika material, gaya tekan sering

dikaitkan dengan tegangan tekan, yaitu tegangan yang terjadi ketika suatu material mengalami gaya tekan. Material yang menerima gaya tekan cenderung mengalami deformasi dengan cara menyusut atau bahkan mengalami kegagalan seperti tekuk (*buckling*) pada benda tipis dan panjang. (Gere & Goodno, 2018)

Gaya tekan banyak ditemukan dalam aplikasi teknik, seperti struktur bangunan, jembatan, dan komponen mekanis seperti kolom atau pipa yang menerima beban aksial. Material dengan kekuatan tekan tinggi, seperti beton dan baja, sering digunakan dalam konstruksi untuk menahan gaya tekan.

Dengan memasukkan persamaan (2.2) dan (2.3) ke persamaan (2.1) maka rumus yang digunakan untuk gaya tekan adalah :



Gambar 2.1.5 Gaya Bending
(Sumber : Pribadi)

$$\sigma = \frac{\left(\frac{F \times L}{4}\right) \times c}{I} \quad (2.4)$$

Sumber : (Sufiyanto, 2011)

Maka rumus gayanya menjadi :

$$F = \frac{4 \times \sigma_y \times I}{L \times c} \quad (2.5)$$

Sumber : (Sufiyanto, 2011)

Keterangan :

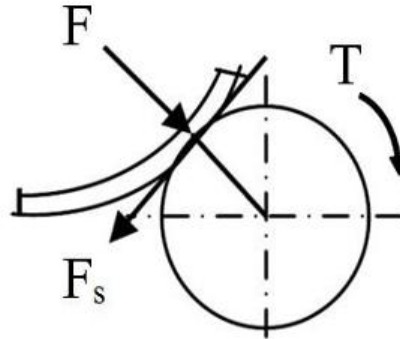
- F = Gaya yang bekerja (Kg)
 L = Jarak terdekat antar sumbu pengerolan (mm)
 σ_y = Tegangan Luluh (Kg.mm²)
 I = Momen Inersia Pipa (mm⁴)
 c = jarak sumbu netral terhadap diameter terluar benda kerja (1/2 diameter pipa)

2.1.9 Gaya Gesek

Gaya gesek adalah gaya yang muncul di antara dua permukaan yang bersentuhan dan berlawanan arah dengan gerak relatif antara keduanya. Gaya ini terjadi akibat ketidaksempurnaan atau kekasaran permukaan benda, meskipun tampak halus pada skala makroskopik. Gaya gesek memiliki peran penting dalam berbagai aspek kehidupan, baik dalam mekanika benda, mesin, maupun aktivitas sehari-hari seperti berjalan atau mengendarai kendaraan. (Hibbeler, Engineering Mechanics: Statics, 2016)

Secara umum, terdapat dua jenis utama gaya gesek, yaitu gaya gesek statis dan gaya gesek kinetis. Gaya gesek statis adalah gaya gesek yang bekerja pada benda diam dan mencegahnya bergerak. Nilainya berubah-ubah hingga mencapai batas maksimum yang ditentukan oleh koefisien gesek statis dan gaya normal. Ketika gaya yang diberikan pada benda melebihi batas gesek statis, benda mulai bergerak dan gaya gesek berubah menjadi gaya gesek kinetis. Gaya

gesek kinetis selalu lebih kecil daripada gaya gesek statis dan dihitung menggunakan koefisien gesek kinetis.



Rumus gaya gesek pada mesin *bending* pipa adalah :

$$F_f = \mu \times F \quad (2.6)$$

Keterangan :

μ = koefisien gesek

F = gaya tekan antara *roller* dan pipa (Kg)

Untuk mencari koefisien gesek digunakan rumus :

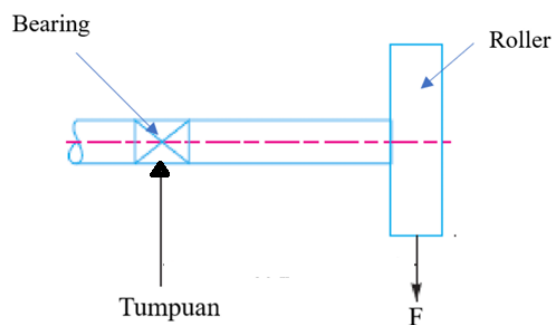
$$\mu = \frac{\text{Gaya gesek}}{\text{Gaya normal}} \quad (2.7)$$

Sumber : (Bird & Ross, 2019)

2.2 Momen Lentur

Momen lentur adalah reaksi internal yang terjadi di dalam suatu elemen struktur, seperti balok, poros, atau pipa, ketika menerima beban luar yang bekerja tegak lurus terhadap sumbu memanjangnya. Fenomena ini mengakibatkan elemen tersebut cenderung melengkung atau mengalami deformasi rotasi pada sumbunya. Secara fisis, momen lentur merepresentasikan

besarnya perlawanan internal benda tersebut terhadap gaya yang mencoba membengkokkannya, di mana nilainya dihitung dari perkalian antara gaya untuk menekan pipa yang bekerja dengan jarak tegak lurus dari titik gaya tersebut ke bearing. Semakin besar jarak atau gaya yang diberikan, semakin besar pula momen lentur yang dihasilkan, yang berarti semakin besar pula kecenderungan benda tersebut untuk berubah bentuk.



Gambar 2.2.1 Momen Lentur
(Sumber : A Textbook of Machine Design)

Untuk mencari momen lentur dapat menggunakan rumus :

$$M = F \times L \quad (2.8)$$

Sumber : (Khurmi & Gupta, 2005)

Keterangan :

M = Momen (Kg.mm)

F = Gaya yang Bekerja (kg)

L = Jarak sumbu penekanan terhadap sumbu tumpuan

2.3 Poros

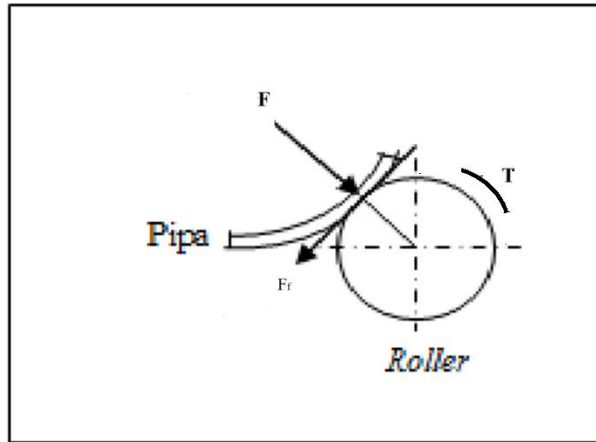
Poros adalah elemen mekanis berbentuk batang silinder yang berfungsi untuk mentransmisikan daya dan gerakan dalam suatu sistem mesin. Komponen

ini banyak digunakan dalam berbagai aplikasi industri, seperti kendaraan bermotor, mesin produksi, pompa, dan turbin. Dalam sistem transmisi mekanis, poros bertindak sebagai penghubung antara berbagai elemen mesin, seperti roda gigi, puli, dan sproket, sehingga energi dapat ditransfer dengan efisien dari satu bagian ke bagian lainnya. Selain itu, poros juga berperan dalam menopang elemen-elemen yang berputar dan memastikan kestabilan gerakan rotasi. (Shigley & Mischke, 2015)

Dalam penggunaannya, poros harus mampu menahan berbagai jenis beban, seperti beban torsi akibat transmisi daya, beban geser akibat gaya transversal, serta beban lentur yang dihasilkan dari kombinasi gaya-gaya tersebut. Oleh karena itu, pemilihan material dan desain poros sangat penting agar dapat bertahan terhadap tekanan dan kelelahan material dalam jangka waktu lama. Material yang sering digunakan untuk poros meliputi baja karbon, baja paduan, dan dalam beberapa kasus tertentu, material komposit untuk mengurangi berat tanpa mengorbankan kekuatan.

Dalam perhitungan teknis, desain poros harus mempertimbangkan faktor-faktor seperti tegangan geser, tegangan torsi, serta kemungkinan terjadinya kelelahan material akibat beban berulang. Oleh karena itu, analisis menggunakan rumus-rumus mekanika bahan sangat penting dalam menentukan dimensi dan spesifikasi poros yang sesuai untuk suatu aplikasi tertentu. Dengan perancangan yang tepat, poros dapat bekerja dengan optimal dan memiliki umur pakai yang panjang tanpa mengalami kegagalan struktural.

2.3.1 Torsi



Gambar 2.3.1 Torsi
(Sumber : Pribadi)

Torsi adalah besaran yang menyatakan kecenderungan suatu gaya untuk menyebabkan rotasi pada suatu benda terhadap sumbu tertentu. Dalam mekanika, torsi sering dikaitkan dengan putaran roda, poros, atau benda lain yang mengalami momen gaya. Secara matematis, torsi dihitung sebagai hasil perkalian antara gaya dan lengan momen, yaitu jarak tegak lurus dari sumbu rotasi ke titik aplikasi gaya. (Hibbeler, Engineering Mechanics: Dynamics, 2016)

Torsi memiliki peran penting dalam berbagai sistem mekanik, termasuk mesin industri, kendaraan, dan alat-alat teknik. Dalam konteks mesin *bending* pipa, torsi digunakan untuk menghitung tenaga yang dibutuhkan oleh *roller* agar dapat memberikan gaya yang cukup untuk membengkokkan pipa. Semakin besar gaya atau semakin panjang lengan momen, semakin besar torsi yang dihasilkan.

Dalam aplikasi teknik, torsi juga sangat penting dalam desain transmisi daya seperti pada *gearbox*, motor listrik, dan sistem penggerak kendaraan.

Misalnya, pada mobil, torsi mesin menentukan kemampuan akselerasi kendaraan, sementara pada mesin *bending* pipa, torsi *roller* menentukan seberapa kuat pipa dapat dibengkokkan tanpa mengalami deformasi berlebihan.

Untuk mengetahui torsi pada poros berputar menggunakan rumus :

$$T = F_f \times r \quad (2.9)$$

Sumber : (Sularso & Suga, 2004)

Keterangan :

T = Torsi pada poros berputar (Kg·mm)

F_f = Gaya gesek (Kg)

D = Jari – jari *roller* (mm)

Setelah mengetahui torsi yang bekerja pada mesin *bending* pipa kemudian menghitung diameter poros yang di butuhkan menggunakan rumus :

$$d = \sqrt[3]{\frac{16T_e}{\pi\tau} \times SF} \quad (2.10)$$

Sumber : (Mujahidin & Andoko, 2019)

Keterangan :

T_e = Torsi (kg·mm)

τ = Tegangan tarik bahan yang ingin di gunakan (kg/mm²)

SF = *Safety Factor* (1,51)

Setelah itu untuk mengetahui putaran poros menggunakan rumus :

$$n_g = n_2 \times g_b \quad (2.11)$$

Sumber : (Khurmi & Gupta, 2005)

Keterangan :

n_g = Putaran Poros (rpm)

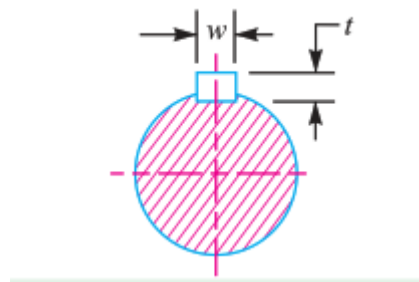
n_2 = Putaran Gearbox (rpm)

g_b = Ukuran Gearbox

2.4 Pasak

Pasak adalah komponen mesin yang berfungsi untuk mengamankan sambungan antara poros (*shaft*) dengan elemen mesin yang berputar di atasnya, seperti *roller*, pulley, sprocket, fungsi poros adalah meneruskan torsi dari poros dan elemen mesin yang dipasang, dan menjaga elemen mesin yang terpasang tetap pada posisi yang ditentukan.

Dalam desain mesin terdapat beberapa jenis pasak yaitu pasak batang, pasak saddle, dan pasak tangensial.



Gambar 2.4.1 Pasak

(Sumber : A Textbook of Machine Design)

Untuk mengetahui lebar pasak pasak dengan menggunakan rumus :

$$w = d/4 \quad (2.12)$$

Sumber : (Khurmi & Gupta, 2005)

Dan untuk mengetahui tinggi pasak menggunakan rumus :

$$t = \frac{2w}{3} = d/6 \quad (2.13)$$

Sumber : (Khurmi & Gupta, 2005)

Kemudian untuk mengetahui panjang pasak yang di butuhkan menggunakan rumus :

$$l = \frac{\pi}{8} \times \frac{d^2}{w} \quad (2.14)$$

Sumber : (Khurmi & Gupta, 2005)

Keterangan

w = Lebar Pasak (mm)

d = Diameter Poros yang Direncanakan (mm)

t = Tinggi Poros (mm)

l = Panjang Poros (mm)

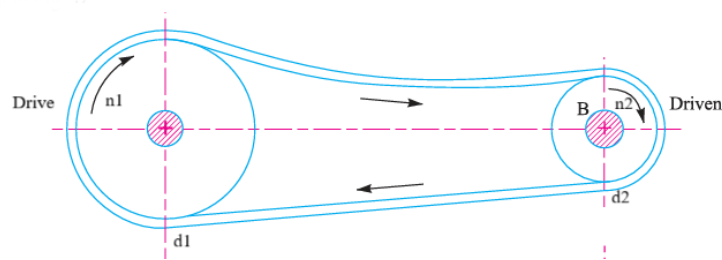
2.5 Pulley

Puli digunakan untuk mentransmisikan daya dari satu poros ke poros lainnya melalui sabuk datar, sabuk-V, atau tali. Karena rasio kecepatan adalah rasio terbalik dari diameter puli penggerak dan puli yang digerakkan, oleh karena itu diameter puli harus dipilih dengan cermat untuk mendapatkan rasio kecepatan yang diinginkan. Puli harus dalam kelurusan yang sempurna (selaras) agar sabuk dapat bergerak dalam garis yang tegak lurus terhadap permukaan puli.

Puli dapat terbuat dari besi cor, baja cor atau baja tekan (*pressed steel*), kayu, dan kertas. Material cor harus memiliki karakteristik gesekan dan keausan yang baik. Puli yang terbuat dari baja tekan lebih ringan daripada puli cor,

namun dalam banyak kasus memiliki gesekan yang lebih rendah dan dapat menyebabkan keausan yang berlebihan.

Biasanya dalam perencanaan mesin salah satu *pulley* sudah di tentukan untuk memudahkan dalam perencanaan ukuran *pulley driven* oleh sebab itu, untuk mencari rumus perencanaan pulley driven menggunakan perbandingan rumus kecepatan transmisi.



Gambar 2.5.1 Pulley
(Sumber : A Textbook of Machine Design)

$$\frac{\pi \times d_1 \times n_1}{60} = \frac{\pi \times d_2 \times n_2}{60} \quad (2.15)$$

Sumber : (Khurmi & Gupta, 2005)

Keterangan :

d_1 = diameter *pulley drive* (mm)

n_1 = kecepatan motor (rpm)

d_2 = Diameter *pulley driven* (mm)

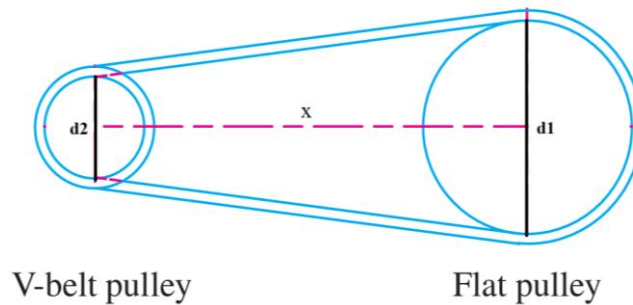
n_2 = Kecepatan yang di inginkan (rpm)

Dengan persamaan (2.14) maka rumus untuk mencari *pulley driven* menggunakan rumus :

$$d_2 = \frac{d_1 \times n_1}{n_2} \quad (2.16)$$

Sumber : (Khurmi & Gupta, 2005)

2.6 Sabuk



Gambar 2.6.1 Sabuk
(Sumber : A Textbook of Machine Design)

Sabuk atau tali digunakan untuk mentransmisikan daya dari satu poros ke poros lainnya melalui puli yang berputar pada kecepatan yang sama atau pada kecepatan yang berbeda. Jumlah daya yang ditransmisikan bergantung pada faktor kecepatan sabuk, tegangan (kekencangan) sabuk saat dipasang pada puli, sudut kontak (busur kontak) antara sabuk dan puli yang lebih kecil, kondisi penggunaan sabuk.

Poros-poros harus selaras (lurus) dengan baik untuk memastikan tegangan yang seragam di seluruh penampang sabuk. Jarak antar puli tidak boleh terlalu dekat, agar sudut kontak pada puli yang lebih kecil dapat sebesar mungkin, jarak antar puli tidak boleh terlalu jauh sehingga menyebabkan sabuk membebani poros secara berlebihan, yang akhirnya meningkatkan beban gesekan pada bantalan (*bearing*), sabuk yang panjang cenderung berayun dari sisi ke sisi, menyebabkan sabuk keluar dari puli, yang pada gilirannya menimbulkan titik-titik bengkok (kerusakan) pada sabuk, sisi kencang (*tight side*) sabuk harus berada di bagian bawah, sehingga kendur (*sag*) apapun yang ada pada sisi

kendor (loose side) akan menambah sudut kontak pada puli, untuk mendapatkan hasil yang baik dengan sabuk datar, jarak maksimum antar poros tidak boleh melebihi 10 meter dan jarak minimum tidak boleh kurang dari 3,5 kali diameter puli yang lebih besar. (Khurmi & Gupta, 2005)

Untuk mencari panjang sabuk yang di butuhkan dalam mesin *bending* pipa menggunakan rumus :

$$L = \frac{\pi}{2} \cdot (d_1 + d_2) + 2x + \frac{(d_1 - d_2)^2}{4x} \quad (2.17)$$

Sumber : (Khurmi & Gupta, 2005)

Keterangan :

L = Panjang sabuk yang di butuhkan (mm)

d_1 = Diameter *pulley* besar (mm)

d_2 = Diameter *pulley* kecil (mm)

x = Jarak rencana antara *pulley* besar dan *pulley* kecil (mm)

Kemudian setelah menentukan panjang dari sabuk di tentukan kecepatan sabuk dengan menggunakan rumus :

$$v = \frac{\pi \times d \times n}{60} \quad (2.18)$$

Sumber : (Khurmi & Gupta, 2005)

Keterangan :

v = Kecepatan sabuk (mm/detik)

d = Diameter *pulley* terbesar (mm)

n = Putaran yang bekerja pada pulley (rpm)

Setelah di ketahui kecepatan dari sabuk selanjutnya menentukan sudut kontak sabuk dengan rumus :

$$\sin \alpha = \frac{r_1 - r_2}{x} \quad (2.19)$$

Sumber : (Khurmi & Gupta, 2005)

Keterangan :

α = Sudut kontak (°)

r_1 = Diameter *pulley* besar (mm)

r_2 = Diameter pulley kecil (mm)

Setelah di ketahui sudut kontak sabuk selanjutnya mencari sudut lilit sabuk dengan menggunakan rumus :

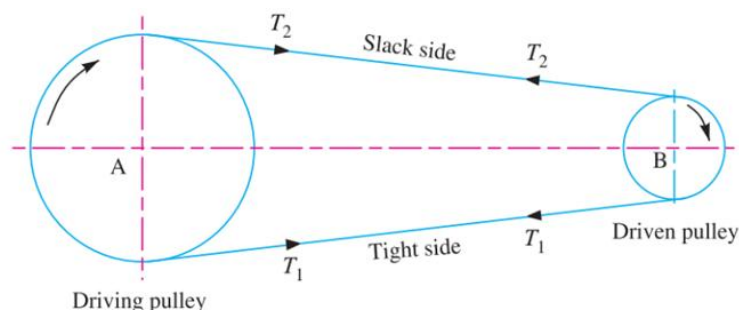
$$\theta = (180^\circ - 2\alpha) \frac{\pi}{180} \text{ rad} \quad (2.20)$$

Sumber : (Khurmi & Gupta, 2005)

Keterangan :

θ = Sudut Lilit (°)

α = Sudut Kontak (°)



Gambar 2.6.2 Tegangan Sabuk
(Sumber : A Textbook of Machine Design)

Kemudian setelahnya harus di cari rasio tegangan antara kedua sabuk dengan rumus :

$$2,3 \log \left(\frac{T_1}{T_2} \right) = \mu \times \theta \quad (2.21)$$

Sumber : (Khurmi & Gupta, 2005)

Keterangan :

T_1 = Torsi yang Telah Diketahui (kg.mm)

T_2 = Torsi Terkecil yang Bekerja pada Sabuk (kg.mm)

μ = Koefisien Gesek Sabuk yang Ditentukan

θ = Sudut Lilit Sabuk (radian)

Setelah diketahui torsi terbesar dan torsi terkecil pada sabuk, kemudian dihitung daya transmisi sabuk dengan menggunakan rumus :

$$P = (T_1 - T_2) \times v \quad (2.22)$$

Sumber : (Khurmi & Gupta, 2005)

Keterangan :

P = Daya Sabuk yang di Transmisikan (KW)

T_2 = Torsi Terkecil yang Bekerja pada Sabuk (kg.mm)

T_1 = Torsi Terbesar yang Bekerja pada Sabuk (N.m)

v = Kecepatan Sabuk (m/detik)

Setelah di ketahui daya yang di transmisikan dan torsi yang telah diketahui kemudian mencari jumlah sabuk yang di butuhkan dengan rumus :

$$N = \frac{P_d}{P_o \times K_\theta} \quad (2.23)$$

Sumber : (Khurmi & Gupta, 2005)

Keterangan :

N = Jumlah Sabuk yang Dibutuhkan

P_d = Daya Rencana (KW)

P_o = Daya Sabuk (KW)

K_θ = Faktor Koreksi Sabuk

2.7 Motor Listrik



Gambar 2.7.1 Motor Listrik

(Sumber : <https://share.google/images/GON08GzqJnfYEFpNv>)

Motor listrik adalah alat untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Perubahan ini dilakukan dengan mengubah tenaga listrik menjadi magnet yang disebut sebagai elektromagnet. Sebagaimana yang diketahui bahwa kutub-kutub dari magnet yang senama akan tolak menolak dan kutub yang tidak senama akan tarik menarik. Dengan terjadinya proses ini maka dapat memperoleh gerakan jika menempatkan sebuah magnet pada sebuah poros yang dapat berputar dan magnet yang lain pada suatu kedudukan yang tetap. Motor listrik memiliki macam berdasarkan pasokan input, konstruksi, dan mekanisme operasinya. Secara umum motor listrik terbagi dua yaitu motor listrik AC dan motor listrik DC.

2.7.1 Motor Listrik AC

Motor Listrik AC (*Alternating Current*) adalah perangkat elektromekanis yang mengubah energi listrik bolak-balik menjadi energi mekanis berupa gerakan putaran. Motor ini bekerja berdasarkan prinsip arus bolak-balik yang mengalir melalui kumparan kawat dalam medan magnet, menghasilkan gaya yang menyebabkan rotor atau bagian berputar dari motor bergerak. (Chapman, 2021)

Motor AC terbagi menjadi dua jenis utama, yaitu motor sinkron dan motor induksi (asinkron). Motor sinkron memiliki rotor yang berputar dengan kecepatan sama seperti medan magnet stator. Motor ini banyak digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan kecepatan tetap dan efisiensi tinggi, seperti pembangkit listrik dan mesin industri presisi. Sementara itu, motor induksi memiliki rotor yang berputar dengan kecepatan lebih rendah dari medan magnet stator (terjadi slip). Motor induksi lebih umum digunakan karena lebih sederhana dan memiliki biaya perawatan yang lebih rendah dibandingkan motor sinkron.

Keunggulan Mesin Motor Listrik AC

- Tidak Memerlukan Sikat dan Komutator: Motor AC tidak menggunakan sikat dan komutator, sehingga mengurangi kebutuhan perawatan.
- Tidak Menghasilkan Panas Secara Signifikan: Motor AC cenderung menghasilkan lebih sedikit panas dibandingkan motor DC, sehingga memerlukan kurangnya sistem pendingin.

- Umur Pakai Lebih Panjang: Karena tidak ada gesekan langsung seperti pada sikat dan komutator, umur pakai motor AC dapat lebih lama.

Kekurangan Mesin Motor Listrik AC

- Kendali Kecepatan Tidak Sebaik Motor DC: Motor AC biasanya memiliki kendali kecepatan yang kurang presisi dan responsif dibandingkan motor DC.
- Kurang Fleksibel dalam Perubahan Arah Putaran: Meskipun beberapa motor AC memiliki kemampuan untuk mengubah arah putaran, proses ini tidak sefleksibel dan seringkali memerlukan perangkat tambahan.

2.7.2 Motor Listrik DC

Motor Listrik DC (*Direct Current*) adalah suatu perangkat elektromekanis yang mengubah energi listrik searah menjadi energi mekanis berupa gerakan putaran. Motor ini bekerja berdasarkan prinsip arus searah yang mengalir melalui kumparan kawat dalam medan magnet, menghasilkan gaya yang menyebabkan rotor atau bagian berputar dari motor bergerak. (Chapman, 2021)

Prinsip dasar kerja motor listrik DC melibatkan interaksi antara medan magnet tetap (stator) dan rotor yang dapat berputar. Arus searah dialirkan melalui kumparan kawat pada rotor, menciptakan gaya magnetik yang berinteraksi dengan medan magnet stator. Interaksi ini menghasilkan gaya putar yang menyebabkan rotor berputar, mengubah energi listrik menjadi gerakan mekanis.

Keunggulan Mesin Motor Listrik DC :

- Kontrol Kecepatan yang Baik: Motor Listrik DC memungkinkan kontrol kecepatan yang presisi dan responsif.
- Mudah Diatur: Kemampuan untuk dengan mudah diatur dan diubah arah putaran membuatnya ideal untuk berbagai aplikasi.
- Torsi Awal yang Baik: Motor ini memiliki torsi awal yang tinggi, membuatnya cocok untuk memulai beban berat.

Kekurangan Mesin Motor Listrik DC :

- Perawatan yang Diperlukan: Memerlukan perawatan reguler karena gesekan dan keausan pada sikat dan komutator.
- Dapat Menghasilkan Panas: Pemakaian yang berlebihan dapat menghasilkan panas, memerlukan sistem pendingin.
- Umur Pakai Sikat Terbatas: Sikat yang digunakan dalam motor listrik DC memiliki umur pakai terbatas dan perlu diganti secara berkala.

2.7.3 Daya Motor

Daya motor adalah ukuran kapasitas sebuah motor dalam melakukan kerja dalam satuan waktu. Daya ini menentukan seberapa kuat sebuah motor mampu menggerakkan beban dan seberapa efisien motor dalam mengonversi energi listrik atau bahan bakar menjadi energi mekanik. (Santoso, 2021)

Dalam sistem *bending* pipa, motor digunakan untuk menggerakkan *roller* yang memberikan gaya terhadap pipa hingga mengalami deformasi plastis. Daya motor harus cukup besar untuk mengatasi torsi yang diperlukan dalam proses ini. Jika daya terlalu kecil, motor akan bekerja lebih keras, menyebabkan

overheating dan mengurangi umur operasionalnya. Sebaliknya, jika daya terlalu besar, maka terjadi pemborosan energi dan biaya yang tidak efisien. Oleh karena itu, pemilihan daya motor harus memperhitungkan beban kerja, efisiensi transmisi daya, serta kebutuhan spesifik dari material yang dibengkokkan.

Untuk mengetahui daya motor yang dibutuhkan menggunakan rumus :

$$P_d = \frac{\left(\frac{T}{1000}\right)\left(\frac{2 \times \pi \times n_1}{60}\right)}{102} \quad (2.24)$$

Sumber : (Sularso & Suga, 2004)

Keterangan :

P_d = Daya rencana (Kw)

T = Torsi (kg·mm₂)

n_1 = Putaran motor (Rpm)

2.7.4 Rendeman Mekanis

Pada kenyataannya, tidak ada mesin yang mampu mentransfer seratus persen daya yang diterimanya menjadi daya keluaran tanpa adanya pengurangan. Hal ini terjadi karena adanya kerugian daya yang tidak bisa dihindari selama proses transmisi berlangsung. Penyebab utama dari hilangnya daya ini adalah gesekan yang terjadi antar komponen mesin yang saling bersentuhan, seperti pada bantalan, roda gigi, atau rantai. Gesekan ini mengubah sebagian energi gerak menjadi energi panas yang akhirnya terbuang ke lingkungan dan tidak terpakai untuk menggerakkan beban.

Oleh karena itu, angka rendemen mekanis selalu bernilai kurang dari satu atau kurang dari seratus persen. Semakin tinggi nilai rendemen mekanis sebuah

mesin, maka semakin sedikit energi yang terbuang sia-sia akibat gesekan atau panas, yang berarti mesin tersebut semakin efisien dan hemat energi. Sebaliknya, jika nilainya rendah, itu menandakan bahwa banyak energi yang hilang di dalam sistem, yang biasanya disebabkan oleh kurangnya pelumasan, komponen yang aus, atau rancangan mesin yang kurang presisi.

Selanjutnya setelah mendapatkan rumus untuk menghitung daya motor rencana kemudian menghitung daya yang di butuhkan dengan rumus :

$$P = \frac{P_d}{\eta_{transmisi}} \quad (2.25)$$

Sumber : (Sularso & Suga, 2004)

Keterangan :

P = Daya yang Di butuhkan

P_d = Daya rencana (Kw)

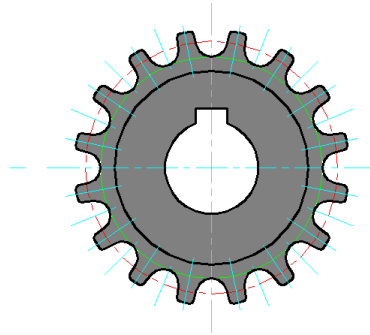
$\eta_{transmisi}$ = Putaran motor (Rpm)

2.8 Sprocket

Kita telah membahas sebelumnya bahwa selip (*slipping*) pada sabuk atau tali adalah fenomena umum dalam transmisi gerak atau daya antara dua poros. Efek dari selip adalah mengurangi rasio kecepatan sistem.

Gerak dan daya yang ditransmisikan oleh roda gigi secara kinematik setara dengan yang ditransmisikan oleh roda gesek (*frictional wheels*) atau cakram. Untuk memahami bagaimana gerak dapat ditransmisikan oleh dua roda bergigi, pertimbangkan dua roda melingkar yang dipasang pada poros. Roda-

roda tersebut memiliki permukaan yang cukup kasar dan saling menekan satu sama lain



Gambar 2.8.1 Sprocket
(Sumber : Wikipedia)

Untuk mengetahui diameter sprocket menggunakan rumus :

$$D = \frac{p}{\sin\left(\frac{180}{T}\right)} \quad (2.26)$$

Sumber : (Khurmi & Gupta, 2005)

Keterangan :

D = Diameter Sprocket (mm)

p = Pitch rantai (mm)

T = Jumlah Mata Gigi Sprocket

2.9 Rantai

Kita telah melihat di bab-bab sebelumnya mengenai penggerak sabuk dan tali bahwa selip (slipping) dapat terjadi. Untuk menghindari selip, rantai baja digunakan, rantai - rantai tersebut terdiri dari sejumlah sambungan kaku (rigid links) yang dihubungkan bersama oleh sambungan pin (engsel) untuk menyediakan fleksibilitas yang diperlukan agar dapat melilit pada roda penggerak dan roda yang digerakkan, roda - roda ini memiliki gigi yang

menonjol dengan profil khusus dan masuk ke dalam lekukan (reses) yang sesuai pada sambungan rantai, roda bergigi ini dikenal sebagai roda sprocket atau disingkat sprocket.

Dengan demikian, sprocket dan rantai terikat untuk bergerak bersama tanpa selip dan memastikan rasio kecepatan yang sempurna.

Untuk menghitung rantai yang pertama dilakukan adalah menghitung nilai pitch rantai dengan rumus acuan :

$$D = p \times \operatorname{cosec}\left(\frac{180}{T}\right) \quad (2.27)$$

Sumber : (Khurmi & Gupta, 2005)

Dari rumus di atas maka di untuk menentukan nilai pitch menggunakan rumus :

$$p = D \times \sin\left(\frac{180}{T}\right) \quad (2.28)$$

Sumber : (Khurmi & Gupta, 2005)

Keterangan :

D = Diameter sprocket (mm)

p = Pitch rantai (mm)

T = Jumlah Mata Gigi Sprocket

Setelah nilai pitch telah diketahui kemudian menentukan jumlah pitch yang akan digunakan dengan rumus :

$$K = \left(\frac{3T}{2}\right) + \left(\frac{4x}{p}\right) \quad (2.29)$$

Sumber : (Khurmi & Gupta, 2005)

Keterangan :

K = Jumlah Mata Rantai

T = Jumlah Mata Sprocket

x = Jarak antar Sprocket (mm)

p = Pitch Rantai (mm)

Setelah jumlah mata rantai kemudian menghitung panjang rantai yang akan digunakan menggunakan rumus :

$$L = K \times p \quad (2.30)$$

Sumber : (Khurmi & Gupta, 2005)

Keterangan :

L = Panjang Rantai (mm)

K = Jumlah Mata Rantai

p = Pitch Rantai (mm)

2.10 *Bearing*

Bearing atau bantalan adalah komponen mekanis yang berfungsi untuk mengurangi gesekan antara dua bagian yang bergerak relatif satu sama lain, seperti antara poros dan rumah bantalan. (Shigley & Mischke, 2015)

Bearing digunakan dalam berbagai aplikasi, mulai dari motor listrik, mesin industri, kendaraan bermotor, hingga peralatan rumah tangga. Tujuan utama penggunaan *bearing* adalah untuk meningkatkan efisiensi gerakan, mengurangi keausan, dan memperpanjang umur pakai mesin.

Secara umum, *bearing* terdiri dari beberapa bagian utama, yaitu cincin luar (*outer ring*), cincin dalam (*inner ring*), elemen gelinding (*rolling element*), dan cage (penahan bola atau *roller*). Elemen gelinding ini bisa berbentuk bola (*ball bearing*) atau rol (*roller bearing*), tergantung pada jenis dan fungsinya. Cage berfungsi untuk menjaga elemen gelinding tetap pada posisinya serta memastikan distribusi beban yang merata.

Berdasarkan prinsip kerjanya, *bearing* dibagi menjadi dua kategori utama: *bearing* gelinding (*rolling bearing*) dan *bearing* luncur (*plain bearing*). *Bearing* gelinding menggunakan bola atau rol untuk meminimalkan gesekan dan lebih umum digunakan karena efisiensinya yang tinggi. Sementara itu, *bearing* luncur bekerja dengan prinsip gesekan langsung antara permukaan bantalan dan poros, sering kali dengan bantuan pelumas untuk mengurangi keausan.

Jenis *bearing* yang paling umum digunakan meliputi *ball bearing*, yang cocok untuk beban ringan hingga sedang dan memiliki kecepatan rotasi tinggi. Ada juga *roller bearing*, yang lebih tahan terhadap beban berat dan lebih cocok untuk aplikasi dengan beban radial tinggi. Selain itu, terdapat *thrust bearing*, yang dirancang khusus untuk menangani beban aksial, serta *needle bearing*, yang memiliki rol berbentuk jarum sehingga cocok untuk aplikasi dengan ruang terbatas namun membutuhkan kapasitas beban tinggi.

$$W = X.V.W_R + Y.W_A \quad (2.31)$$

Sumber : (Khurmi & Gupta, 2005)

Keterangan :

W = Beban yang Bekerja pada *Bearing*

X = Faktor beban radial

V = Faktor rotasi

W_R = Beban radial (diasumsikan W total pada saat pengerjaan pipa 2 inchi)

Y = Faktor beban axial

W_A = Beban axial (diasumsikan total berat sprocket dan *shaft*)

Setelah mengetahui beban pada *bearing* kemudian menghitung faktor lamanya *bearing* bisa berputar dengan menggunakan rumus :

$$L = \left(\frac{C}{W} \right)^k \quad (2.32)$$

Sumber : (Khurmi & Gupta, 2005)

Keterangan :

L = Beban yang Bekerja pada *Bearing*

C = Faktor beban radial

W = Faktor rotasi

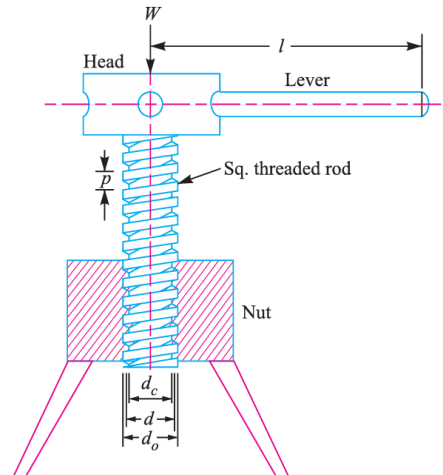
Tabel 2.10.1 Tabel Ukuran *Bearing*
(Sumber : A Textbook of Machine Design)

Tabel Ukuran <i>Bearing</i> (mm)							
Ukuran <i>Bearing</i>	Ukuran Lubang	Diameter Luar	Tebal	Ukuran <i>Bearing</i>	Ukuran Lubang	Diameter Luar	Tebal
200	10	30	9	210	50	90	20
300		35	11	310		110	27
201	12	32	10	410	55	130	31
301		37	12	211		100	21
202	15	35	11	311	60	120	29
302		42	13	411		140	33
203	17	40	12	212	60	110	22
303		47	14	312		130	31
403		62	17	412		150	35

204		47	14	213		120	23
304	20	52	14	313	65	140	33
404		72	19	413		160	37
205		52	15	214		125	224
305	25	62	17	314	70	150	35
405		80	21	414		180	42
206		62	16	215		130	25
306	30	72	19	315	75	160	37
406		90	23	415		190	45
207		72	17	216		140	26
307	35	80	21	316	80	170	39
407		100	25	416		200	48
208		80	18	217		150	28
308	40	90	23	317	85	180	41
408		110	27	417		210	52
209		85	19	218		160	30
309	45	100	25	318	90	190	43
409		120	29	418		225	54

2.11 Ulir Penekan

Tuas ulir pemutar merupakan mekanisme penggerak mekanis yang berfungsi sebagai sistem transmisi untuk mengubah energi rotasi dari tangan operator menjadi gerakan linear yang sangat kuat dan presisi. Secara fungsional, alat ini bekerja dengan memanfaatkan prinsip bidang miring yang melingkar pada batang poros, di mana setiap putaran manual pada gagang tuas akan menyebabkan batang ulir bergerak naik atau turun melalui sebuah mur tetap yang terpasang pada rangka mesin. Dalam pengoperasian mesin pengerol pipa, tuas ini memegang peranan krusial sebagai pengatur kedalaman penekanan rol tengah yang menentukan seberapa besar radius lengkungan yang dihasilkan pada benda kerja.



Untuk menentukan sebuah poros ulir penekan menggunakan rumus :

$$d_c = \sqrt{\frac{4 \cdot W}{\pi \cdot f_{ec}}} \quad (2.33)$$

Sumber : (Khurmi & Gupta, 2005)

Keterangan :

d_c = Diameter yang Di rencanakan (mm)

W = Gaya untuk Membengkokan Pipa (kg)

f_{ec} = Kekuatan elastisitas bahan baut terhadap tegangan & tekanan (6 Kg/mm²)

2.12 Sistem Kendali

A. Tombol *On – Off*

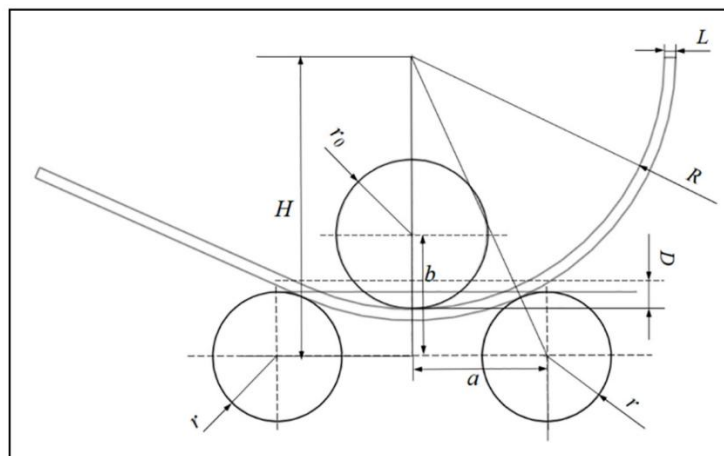
Dalam sistem kendali mesin, tombol *On-Off* berfungsi sebagai saklar utama untuk menghidupkan dan mematikan mesin. Tombol *On* umumnya berwarna hijau dan digunakan untuk mengaktifkan aliran listrik ke sistem, sehingga mesin dapat mulai beroperasi. Sebaliknya, tombol *Off* yang biasanya berwarna merah berfungsi untuk memutus

aliran listrik dan menghentikan operasi mesin. Sistem ini sering terhubung dengan kontaktor atau *relay*, yang berperan sebagai penghubung utama antara sumber daya dan motor atau aktuator mesin. Penggunaan tombol *On-Off* memberikan kendali dasar yang penting bagi operator dalam mengelola status kerja mesin secara manual dan aman.

B. Tombol Arah Motor

Tombol arah motor digunakan untuk mengatur arah putaran motor atau pergerakan mekanis mesin, khususnya pada mesin yang memiliki dua arah gerak seperti mesin *bending* pipa. Tombol ini memungkinkan operator memilih arah gerakan sesuai kebutuhan proses, misalnya membengkokkan pipa ke arah kanan atau kiri. Tombol ini bekerja dengan membalik polaritas arus listrik pada motor, terutama pada motor DC atau motor tiga fasa. Dengan adanya tombol kanan-kiri, operator memiliki fleksibilitas dalam pengoperasian, yang sangat membantu saat menyesuaikan posisi atau sudut *bending*.

2.13 Proses Pengerolan



Pengerolan pipa adalah metode pengerjaan logam tanpa pemotongan (*non-cutting process*) di mana pipa dilewatkan di antara serangkaian rol yang berputar. Tekanan yang diberikan oleh rol tersebut memaksa material pipa melewati batas elastisitasnya sehingga pipa berubah bentuk secara permanen sesuai dengan konfigurasi rol yang diatur. Untuk mengetahui penekanan dan pengerolan yang di butuhkan sampai ukuran berdasarkan jari – jari yang di butuhkan menggunakan rumus :

$$H = \sqrt{(R + L + r)^2 - (a/2)^2} \quad (2.34)$$

Sumber : (Liu, Sun, YingZhao, Song, & Wang, 2023)

Keterangan :

H = Jarak kosong *roller* Penekan dan *roller* geser

L = diameter pipa yang di uji

r = Jari – jari *roller* penumpu

a = Jarak kanan kiri *roller* penekan dan *roller* geser

Kemudian setelah di ketahui nilai H kemudian mencari jarak *roller* penekan dan *roller* (b) sebagai acuan penekanan dengan menggunakan rumus :

$$b = H - (R - r_o) \quad (2.35)$$

Sumber : (Liu, Sun, YingZhao, Song, & Wang, 2023)

Keterangan :

b = Jarak vertika *roller* penekan pipa dan *roller* penumpu

R = Jari jari yang di inginkan

r_o = Jari – jari *roller* penekan