

# **RANCANGAN MESIN ROL PEMBENTUK UNTUK BENDA KERJA BAJA LUNAK**

## **TUGAS AKHIR**

**Diajukan Untuk Memenuhi persyaratan  
Ujian Sarjana**

**Oleh :**

**ALBERT M. I. SITOMPUL  
08.813.0070**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MEDAN AREA  
MEDAN**

**2010**

**UNIVERSITAS MEDAN AREA**

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

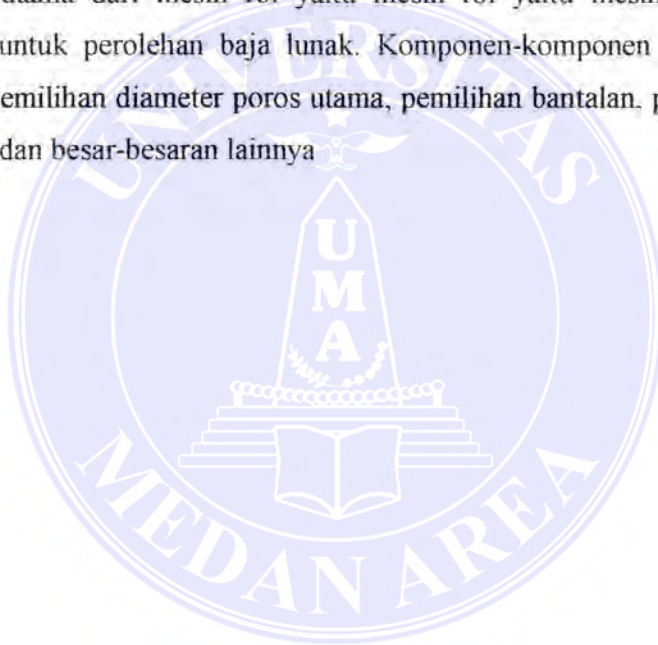
Document Accepted 19/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
  2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
  3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area
- Access From (repository.uma.ac.id)19/9/23

## ABSTRAK

Pengerjaan pengerolan ini banyak digunakan pada proses pengerjaan logam, karena memberikan kemungkinan untuk memproduksi produk akhir yang berkualitas tinggi dan mudah dikontrol. Meskipun demikian kesimpulan lain yang diperoleh ialah parameter-parameter pengerolan harus diperhitungkan dengan cermat. Agar dapat melihat permasalahan-permasalahan yang ada didalam suatu industri pengerolan, sehingga dari permasalahan-permasalahan ini dapat dirancang suatu mesin rol yang lebih baik dari yang sudah ada.

Perancangan ini bertujuan untuk mengevaluasi kekuatan dari komponen-komponen utama dari mesin rol yaitu mesin rol yaitu mesin rol yang akan digunakan untuk perolehan baja lunak. Komponen-komponen yang dievaluasi meliputi : Pemilihan diameter poros utama, pemilihan bantalan, perhitungan daya pengerolan dan besar-besaran lainnya



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>ABSTRAK</b> .....	iii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	iv
<b>DAFTAR ISI</b> .....	v
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Batasan Masalah .....	2
1.3. Tujuan Perancangan .....	3
1.4. Manfaat Perencanaan .....	3
<b>BAB II LANDASAN TEORI</b>	
2.1. Klasifikasi Proses Pengerolan .....	4
2.2. Pengerolan Logam .....	6
2.3. Pengerolan Panas .....	10
2.4. Pengerolan Dingin .....	15
2.5. Pengerolan Batang dan Propil .....	21
2.6. Gaya-gaya dan hubungan geometri pada Pengerolan .....	22
2.7. Analisa Pengerolan .....	26
<b>BAB III METODE PERANCANGAN</b>	
3.1. Bahan Benda Kerja .....	35
3.2. Geometri Mesin Rol .....	36
3.3. Komponen-Komponen Mesin Rol .....	36
3.4. Prosedur Perancangan .....	37
<b>BAB IV ANALISA DAN PERHITUNGAN</b>	
4.1. Parameter-Parameter pada Pengerolan .....	39
4.2. Permasalahan dan cacat pada Produk Rol .....	41
4.3. Torsi dan Daya Kuda .....	48

4.4. Pemilihan Poros Utama .....	53
4.5. Perancangan Pasak .....	57
4.6. Perancangan Bantalan .....	59
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1. Kesimpulan .....	65
5.2. Saran .....	65
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Perkembangan teknologi industri khususnya teknologi dalam bidang produksi, telah banyak kita rasakan dalam kehidupan sehari-hari. Salah satunya adalah teknologi untuk memproduksi bahan-bahan yang menyokong pengembangan konstruksi mesin, bangunan maupun bahan-bahan kebutuhan sehari-hari. Proses produksi bahan-bahan tersebut di atas memerlukan bermacam-macam mesin produksi dan peralatan-peralatan pendukung proses produksi tersebut.

Proses pembentukan komponen-komponen mesin produksi dilakukan dengan beberapa cara, misalnya proses pembentukan logam dengan pengecoran, proses pembentukan logam dengan permesinan, proses pembentukan logam dengan cara pengubahan bentuk pada pengerjaan panas maupun pengerjaan dingin, proses ekstrusi pada bahan plastik dan sebagainya.

Proses pembentukan melalui pengubahan bentuk pada keadaan panas (*hot working*) maupun pengerjaan pada keadaan dingin (*cold working*), seperti proses pengerolan, proses ekstrusi, proses tempa (*forging*), dan sebagainya banyak digunakan pada proses pembentukan logam-logam ferrous maupun logam-logam non-ferrous lainnya. Oleh karena proses ini memberikan kemungkinan untuk menghasilkan produk akhir yang berkualitas tinggi dan mudah dikontrol. Proses pengerolan, selain menghasilkan produk yang mempunyai presisi yang tinggi, juga dapat meningkatkan sifat-sifat mekanis dari komponen-komponen mesin yang

dihasilkan. Dalam proses pengerolan, mesin rol akan merubah bentuk benda kerja menjadi bentuk yang diinginkan, misalnya bentuk awal benda kerja adalah persegi, diubah bentuknya lembaran-lembaran tipis, Dalam proses pembentukan selain menimbulkan tegangan-tegangan pada komponen-komponen mesin rol tersebut, juga diperlukan energy yang relatif besar.

Dalam penggunaan mesin rol ini selalu muncul permasalahan-permasalahan, misalnya terjadi pembengkokan pada poros rolnya, sehingga menimbulkan gangguan pada proses pengoperasiannya, seperti misalnya akan dihasilkan produk-produk yang cacat. Selain itu juga selalu terjadi kerusakan-kerusakan pada komponen-komponen lainnya, seperti pada bantalan, dan pada system transmisi daya lainnya.

Dalam tugas rancangan ini, penulis akan mengevaluasi ulang mesin rol yang digunakan pada proses pembentukan bahan-bahan baja lunak dari bentuk awal bahan baku adalah empat persegi dirol menjadi bentuk lembaran-lembaran tipis. Dalam perancangan ini akan dievaluasi kembali kekuatan tarik dari komponen-komponen utama dari mesin rol, sehingga diharapkan dapat meningkatkan kekuatan dan efisiensi dari mesin rol tersebut.

## 1.2. BATASAN MASALAH

Dalam perancangan ini akan dievaluasi kekuatan dari komponen-komponen utama mesin rol tersebut antara lain :

- (1) Perhitungan kekuatan poros.
- (2) Analisa kerusakan pada produk pengerolan.

(3) Perhitungan pada bantalan

(4) Daya yang diperlukan.

### **1.3. Tujuan Perancangan**

Perancangan ini bertujuan untuk mengevaluasi kekuatan dari komponen-komponen utama dari mesin rol yaitu mesin rol yang akan digunakan untuk pengerolan baja lunak. Komponen-komponen yang akan dievaluasi meliputi anrta lain : pemilihan diameter poros utama, pemilihan bantalan, perhitungan daya pengerolan dan besaran-besaran lainnya.

### **1.4. Manfaat Perancangan**

Perancangan ini diharapkan dapat bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan & teknologi dan bagi masyarakat yaitu :

- (1) Tugas akhir ini dapat memberikan kontribusi perkembangan Teknologi pembentukan baja-baja lunak.
- (2) Tugas akhir ini akan bermanfaat bagi masyarakat, khususnya bagi para teknisi yang bergerak dibidang proses pengerolan baja lunak.
- (3) Tugas akhir ini akan bermanfaat bagi masyarakat yang ingin mempelajari lebih mendalam tentang mesin-mesin rol dan dalam bidang lainnya yang ada khubungannya dengan mesin rol.

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Proses Pembentukan Logam

Proses perubahan bentuk logam secara plastik dengan melewatkannya di antara rol-rol disebut dengan *pengerolan*. Pengerjaan ini banyak digunakan pada proses pengerjaan logam, karena memberikan kemungkinan untuk memproduksi produk akhir yang berkualitas tinggi dan mudah dikontrol. Pada perubahan bentuk logam diantara rol-rol, benda kerja dikenai tegangan kompresi yang tinggi yang berasal dari gerakan jepit rol dan tegangan geser dan gesekan permukaan sebagai akibat gesekan antara rol dan benda kerja. Gaya gesek juga mempunyai pengaruh terhadap penarikan logam di antara rol.

Pembentukan awal ingot menjadi balok-balok kasar dan bilet, biasanya dilakukan dengan pengerolan panas. Kemudian dilanjutkan dengan pengerolan panas menjadi pelat, lembaran, batang, balok, pipa, rel, atau bentuk-bentuk struktur. Pengerolan dingin logam telah mencapai kedudukan yang penting dalam industri. Pengerolan dingin menghasilkan lembaran, strip, dan lembaran tipis dengan penyelesaian permukaan yang baik dan bertambahnya kekuatan mekanis. Pada saat yang bersamaan juga dilakukan pengendalian dimensi produk yang ketat.

Batang kasar (*bloom*) adalah produk pertama pengerjaan ingot. Biasanya lebar batang kasar sama dengan tebalnya, dan luas penampang irisannya lebih besar dari  $36 \text{ in}^2$  pengecilan selanjutnya, melalui proses pengerolan panas menghasilkan *bilet*. Luas penampang lintang minimum untuk bilet adalah  $1\frac{1}{2} \times$



1½ in. Pada logam-logam bukan besi, istilah bilet adalah sebarang ingot yang mengalami pengerjaan panas dengan cara pengerolan, penempatan, atau ekstrusi, atau merupakan istilah yang dapat dihubungkan dengan cor-coran yang cocok untuk pengerjaan panas, misal bilet ekstrusi.

Batang kasar, bilet dan slab dikenal sebagai *produk setengah jadi*, karena biasanya masih harus dibentuk pada proses berikutnya. Perbedaan antara *pelat* dan *lembaran* ditentukan oleh tebal produknya. Pada umumnya pelat mempunyai tebal lebih besar dari ¼ in, tergantung kepada lebarnya. Lembaran dan strip dikaitkan dengan produk pengerolan yang pada umumnya mempunyai tebal kurang dari ¼ in. Biasanya, strip dikaitkan dengan produk pengerolan yang lebarnya lebih besar dari 24 in, sementara lembaran lebih lebar.

Pada *pengerolan serbuk*, serbuk-serbuk logam diletakkan diantara rol dan dimampatkan hingga membentuk strip bakalan (*green strip*), yang kemudian disinter dan dikenai siklus proses pengerjaan panas dan / atau pengerjaan dingin dan pelunakan (*anil*). Keuntungan utama pengerolan serbuk adalah peniadakan tahap pengolahan ingot panas awal, yang memerlukan investasi perkakas yang banyak. Keuntungan lain adalah menekan kontaminasi pada pengerolan panas, dan produksi lembaran dengan ukuran butiran yang sangat halus atau dengan orientasi tertentu yang minimum.

Tujuan utama pengerolan panas atau dingin konvensional, adalah memperkecil tebal logam. Biasanya terjadi sedikit pertambahan lebar, karena itu penurunan tebal mengakibatkan pertambahan panjang. Pembentukan rol adalah tipe pengerolan dingin khusus, dimana strip dibengkokkan secara progresif menjadi

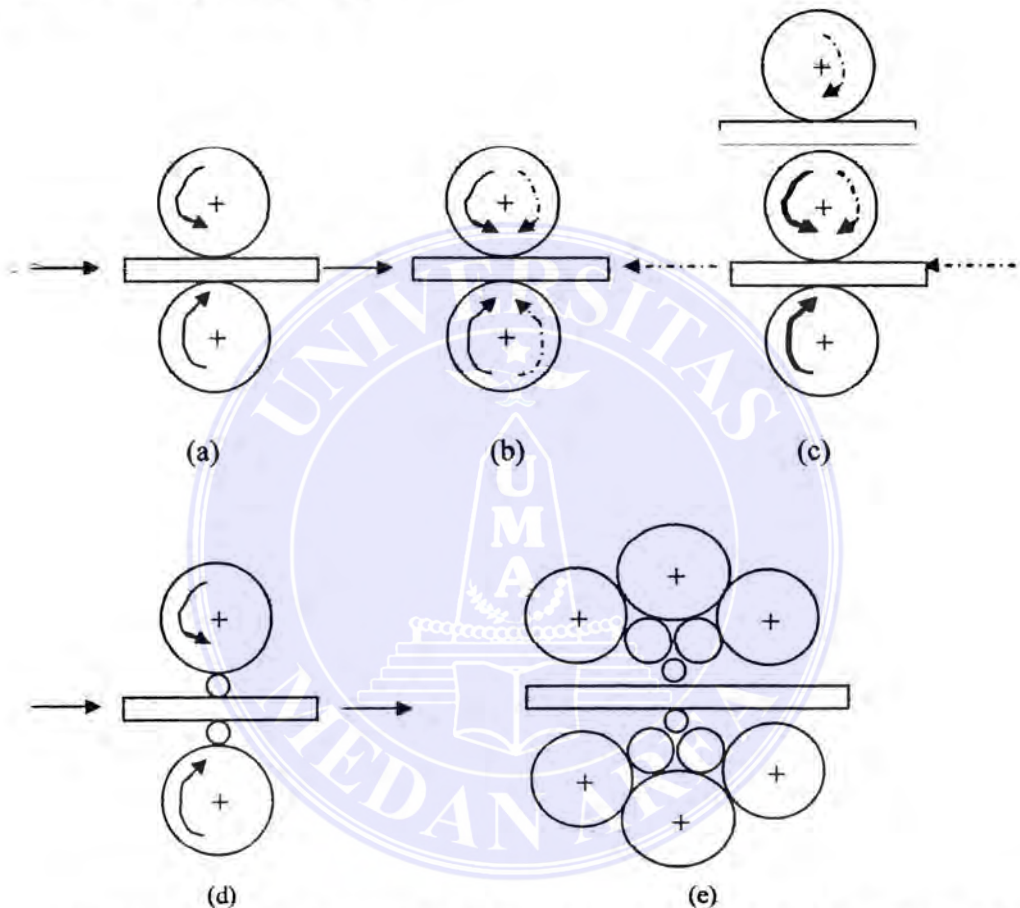
bentuk yang rumit dengan melewatkannya melalui serangkaian rol yang dikendalikan. Tebal logam selama proses tidak banyak berubah. Pembentukan rol sangat cocok untuk menghasilkan produk yang panjang, seperti profil-profil yang bentuknya tak teratur dan yang teratur.

## 2.2 Pengerolan Logam

Suatu pengerolan logam pada dasarnya terdiri atas: rol, bantalan, dan rumah untuk tempat komponen-komponen tersebut, serta pengendali untuk mengatur catu daya untuk rol dan untuk mengendalikan kecepatannya. Gaya yang terlibat pada pengerolan dapat dengan mudah mencapai beberapa juta pound. Oleh karena itu diperlukan konstruksi yang sangat kokoh, dan diperlukan motor yang sangat besar untuk memperoleh daya yang diinginkan. Apabila kebutuhan ini dikalikan beberapa kali untuk membangun susunan pengerol logam kontinu, maka dengan mudah dapat dilihat bahwa instalasi pengerol logam yang moderen memerlukan biaya investasi yang mahal, tenaga ahli yang terlatih untuk rancangan teknik dan konstruksi.

Pengerolan logam pada umumnya dapat digolongkan berdasarkan jumlah dan susunan rol (gambar 2.1). Tipe pengerol logam yang paling sederhana dan paling banyak digunakan adalah pengerol logam dua-tingkat (gambar 2.1 a). Rol dengan ukuran yang sama diputar hanya pada satu arah. Hasil yang diperoleh dimasukkan kembali ke rol (belakang) untuk proses pengerolan berikutnya. Untuk meningkatkan kecepatan, digunakan rol bolak-balik dua-tingkat, dimana benda dapat digerakkan maju dan mundur melalui rol-rol yang arah putarannya dapat

dibalik (gambar 2.1 b). Cara lain adalah menggunakan rol tiga-tingkat (gambar 2.1 c), terdiri atas rol atas dan rol bawah sebagai sumber gerak dan rol tengah yang bergerak akibat gesekan. Pemakaian diameter rol yang kecil sangat menurunkan pemakaian daya.



Gambar 2.1 susunan rol pengerolan logam, (a) searah-dua tingkat, (b) dua tingkat bolak-balik, (c) tiga tingkat, (d) empat tingkat, (e) tandem

Akan tetapi karena rol berdiameter kecil mempunyai kekuatan dan kekakuan yang lebih rendah dibanding rol besar, maka rol berdiameter kecil harus ditopang oleh rol berdiameter besar. Tipe pengerol logam yang paling sederhana adalah rol empat tingkat (gambar 2.1 b). Lembaran yang sangat tipis dapat dirol

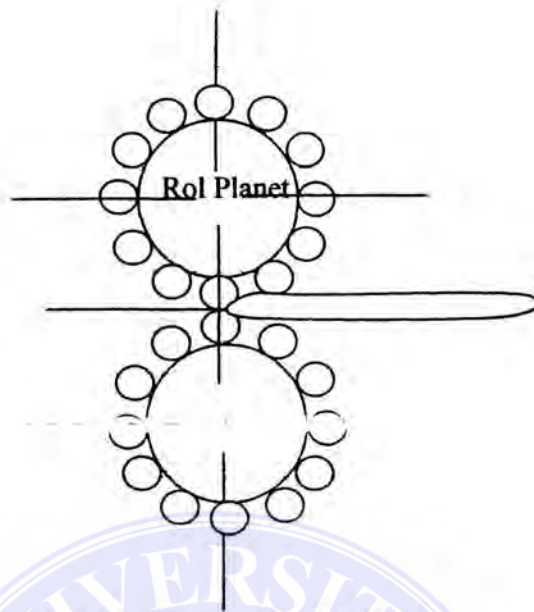
menjadi lebih tipis lagi pada pengerolan dengan diameter rol yang kecil. Rol tandan, (gambar 2.1 e), dimana setiap pengerolan benda kerja didukung oleh dua rol lainnya adalah tipe yang mampu melakukan hal demikian. Rol *sendzimir* merupakan suatu modifikasi dan rol tandan, yang sangat baik untuk mengerol lembaran-lembaran tipis atau foil dari paduan-paduan yang bekekuatan tinggi.

Untuk meningkatkan hasil yang berkualitas tinggi, biasanya disusun rangkaian mesin rol logam secara seri (gambar 2.2). Setiap pasang rol dinamakan tahapan (stan).



**Gambar 2.2 Skematik pengerolan strip, dengan rol empat tingkat yang kontinu**

Karena pada setiap tahap terdapat reduksi yang berbeda-beda, maka lembaran akan bergerak dengan kecepatan yang berbeda-beda pada setiap tahapnya. Kecepatan pada setiap pasang rol saling disesuaikan sedemikian hingga kecepatan masukan pada tiap tahap sama dengan kecepatan luaran pada tahap sebelumnya. Pelepas gulungan dan penggulung produk akhir tidak hanya berfungsi sebagai pengumpan ke pengerol dan pengumpul hasil pengerolan, tetapi juga dapat digunakan sebagai pemegang balik dan pemegang depan strip. Hal ini akan memperbesar gaya horizontal.



**Gambar 2.3 susunan rol pada planet**

Suatu rancangan mesin rol yang lain adalah mesin rol planet (*planetary mill*) (gambar 2.3). Mesin ini terdiri atas pasangan rol pendukung besar dikelilingi oleh sejumlah rol planet kecil. Karakteristik utama mesin rol planet adalah pengecilan panas pelat, langsung menjadi strip melalui satu tahapan pengerolan. Setiap rol planet melakukan reduksi terhadap pelat yang hampir tetap besarnya pada saat pelat meninggalkan jejak melingkar antara pelat dan rol pendukung. Jika suatu pasangan rol lepas kontakannya dengan benda kerja, maka pada pasangan lain terjadi kontak dan terjadi pengulangan proses reduksi. Reduksi keseluruhan adalah jumlah dari seluruh reduksi yang dilakukan oleh tiap pasang rol, dimana perpindahan pasangan rol berlangsung cepat. Proses yang terjadi pada mesin rol planet lebih mirip penempatan dibanding pengerolan. Pada proses ini diperlukan rol pengumpan untuk me

Masukan pelat ke dalam mesin rol dan untuk memperbaiki kondisi permukaan hasil akhir, kadang-kadang dibutuhkan rol penghalus (*planishing*)

roll). Ada beberapa rancangan yang lain untuk pengerolan dingin. Mesin rol pendulum (pendulum mill) menggunakan 2 buah rol kerja berdiameter kecil yang bergerak bolak-balik terhadap busur kontak untuk inereduksi dingin pelat menjadi lembaran tipis. Proses pengerolan perentangan-pelengkungan-kontak, menggunakan mesin empat-tingkat dengan rol pelengkung berdiameter kecil.

### 2.3 Pengerolan Panas

Proses pengerjaan panas pertama untuk sebagian besar produk baja dilakukan pada mesin rol kasar primer (*primary roughing mill*) atau mesin rol ini kadang-kadang dinamakan mesin rol bloom atau mesin slab. Mesin-mesin ini biasanya berupa mesin bolak-balik dua-tingkat yang mempunyai rol berdiameter antara 24 hingga 54 inci. Mesin-mesin tersebut digolongkan berdasarkan ukuran rol, misalnya mesin slab 45 inci. Proses yang terjadi adalah mengubah ingot cor menjadi bentuk bloom atau slab untuk tahap pengerjaan berikutnya, hingga pada akhirnya diperoleh bentuk batang, pelat atau lembaran. Perubahan awal, seringkali hanya melibatkan reduksi yang kecil. Mula-mula ingot dirol penggirannya untuk menghilangkan kerak, kemudian direduksi dengan rol, setelah ingot dibalik  $90^0$  sehingga letaknya datar. Pada pengerolan panas ingot terdapat ragam kelebaran yang cukup banyak. Untuk menjaga ukuran lebar yang diinginkan dan bentuk pinggirannya, ingot dibalik  $90^0$  pada tahapan antara dan dilewatkan melalui alur pembentuk pinggirannya pada rol.

Mesin balik primee mempunyai laju produksi yang relatif rendah, karena benda kerja dapat bergerak bolak-balik ke depan dan ke belakang sebanyak 10

hingga 20 kali. Apabila tujuan utamanya adalah laju produksi yang tinggi, maka tahapan pembentukan pinggiran dapat digantikan oleh mesin rol universal. Bagian utama tipe mesin ini terdiri dari dua buah mesin rol vertikal yang mengontrol lebar pada saat rebalnya direduksi. Produksi slab dari ingot cor dengan cara pengerolan panas dapat diganti dengan pemakaian pengecoran kontinu untuk menghasilkan slab langsung dari baja cair. Metode lain untuk menghasilkan slab adalah dengan menggunakan pengecoran tekanan-dasar.

Pelat-pelat diproduksi dengan cara pengerolan panas, baik dengan pemanasan kembali slab maupun langsung dari ingot. Pelat terpotong diproduksi dengan cara pengerolan antara rol horizontal lurus dan kemudian seluruh sisinya dipangkas. Tepian rol (*mill edge*) adalah tepian yang lazim dihasilkan oleh proses pengerolan panas antara dua buah rol akhir. Pelat-pelat tepi pol mempunyai dua buah tepian rol dan dua buah tepian pangkas. Pelat-pelat rol-universal adalah pelat yang dirol pada mesin universal dan dipangkas hanya pada ujung-ujungnya saja.

Perbedaan umum antara strip dan lembaran (*sheet*) adalah bahwa lebar lembaran lebih kecil dari 24 inci. Akan tetapi, tanpa memperhatikan berapa lebarnya, maka peralatan untuk menghasilkan produk-produk dikenal sebagai mesin strip-panas kontinu (*continuous hot-strip mill*). Pada peralatan-peralatan proses strip panas yang baru pada awalnya slab pemanasan ulang melalui pemecah kerak (*scalebreaker*), kemudian masuk ke rangkaian rol kasar yang terdiri dari 4 buah mesin empat-tingkat, dilanjutkan dengan rangkaian penyelesaian akhir yang terdiri dari 6 buah mesin empat-tingkat. jika lembaran yang akan diproduksi lebih lebar dibanding lebar slab, maka tahap pertama pada

rangkaian pengasas adalah mesin pemerluas, dimana lebar slab biasanya dilengkapi rol pembentuk-tepi vertikal untuk mengontrol lebar kupasan. Semburan jet bertekanan tinggi, dipergunakan untuk menghilangkan kerak. Tahapan penyelesaian akhir terdiri atas pemotong geser untuk memperoleh hasil yang diinginkan atau penggulung untuk menghasilkan produk yang panjang. Pada pengerolan panas baja, slab mula-mula dipanasi pada suhu 2000 hingga 2400<sup>0</sup> F. Suhu pada tahap akhir bervariasi antara 1300 hingga 1600<sup>0</sup> F, tetapi harus lebih tinggi dari suhu kritis atas untuk menghasilkan butiran-butiran ferit sesumbu (equiaxed) yang seragam.

Karena industri-industri logam bukan besi melibatkan produk-produk yang beraneka ragam, maka peralatan yang digunakan untuk pengerolan panas bahan-bahan tersebut biasanya kurang bersifat khusus dibanding peralatan yang digunakan untuk baja. Ukuran ingot yang lebih kecil serta tegangan-tegangan alir yang lebih rendah yang dijumpai pada sebagian besar paduan-paduan bukan besi, memungkinkan pemakaian mesin rol yang lebih kecil. Mesin bertingkat dua atau tiga adalah tipe yang lazim digunakan untuk sebagian pengerolan panas paduan-paduan bukan besi, walaupun untuk paduan alimunium digunakan mesin bertingkat empat.

Pengerolan panas perhitungannya lebih sulit dibandingkan dengan pengerolan dingin, karena akibat deformasi yang tidak homogen dan kondisi gesekan yang tidak terdefinisi secara baik. Seperti pada proses-proses pengerjaan panas yang lain, tegangan alir untuk pengerolan panas merupakan fungsi dari suhu dan laju perubahan tegangan (kecepatan rol).



Laju perubahan tegangan untuk pengerolan panas dengan gesekan lekat dinyatakan sebagai:

$$\dot{\epsilon} = \frac{v}{h} = \frac{2v_r \sin \theta}{h} = \frac{2v_r \sin \theta}{h_f + D(1 - \cos \theta)} \quad \text{(Dieter, 1986) (2.1)}$$

Perhitungan persamaan ini memperlihatkan bahwa laju perubahan regangan maksimum terjadi di dekat daerah masuk rol. Untuk reduksi yang sama, lembaran yang tipis akan mengalami laju perubahan regangan yang jauh lebih besar dibanding lembaran yang tebal. Laju perubahan regangan rata-rata pada pengerolan dengan gesekan lekat dinyatakan sebagai:

$$\dot{\epsilon} = v_r \left( \frac{1}{R\Delta h} \right) \ln \frac{h_0}{h_f} \quad \text{(Dieter, 1986) (2.2)}$$

dimana :  $v_r = 2 \pi Rn$  dan  $n =$  putaran per detik.

Pada saat terjadi gesekan lekat, kecepatan permukaan logam tidak sama dengan kecepatan permukaan rol . hanya pada titik netral kecepatan permukaanya sama. Laju peregangan gesekan lekat adalah :

$$\dot{\epsilon} = \frac{2v_r h_n \cos \beta \tan \theta}{[h_f + D(1 - \cos \theta)]^2} \quad \text{(Dieter, 1986) (2.3)}$$

Dimana  $h_n$  adalah tebal logam pada celah di titik netral dan  $\beta$  dan  $\theta$  diperoleh dari gambar 2.3

Ford dan Alexander menggunakan analisis medan garis lurus untuk mengembangkan persamaan-persamaan beban dan torsi pengelola pangeloran pada pengerolan pantas untuk paduan-paduan bukan logam dan baja.

$$p = kbl_p \left( \frac{\pi}{2} + \frac{L_p}{h_0 + h_f} \right) \quad \text{(Dieter, 1986) (2.4)}$$

Dimana  $k$  adalah tegangan alir rata-rata pada geser murni =  $\sigma_0 / \sqrt{3}$ . dan Torsi diberikan oleh persamaan.

$$M_T = kbl^2_p \left( 1,60 + 0,91 \frac{L_p}{h_0 + h_f} \right) \quad \text{(Dieret,1986)} \quad (2.5)$$

Deton dan Crane menyatakan bahwa jika persamaan (2.4)ditulis secara sederhana, maka persamaan tersebut mirip dengan persamaan gava untuk menempa slab di antara pelat kasar sempurna.

Pada pengeloran panas :

$$P = kbl_p \left[ 1,31 \right] + 0,53 \frac{L_p}{(h_0 h_f)^{1/2}} \quad \text{(Dieret,1986)} \quad (2.6)$$

Penempaan panas :

$$P = kbw \left[ 1,5 + 0,5 \frac{b}{h} \right] \quad \text{(Dieret,1986)} \quad (2.7)$$

Dimana :  $(h_0 h_f)^{1/2}$  adalah tebal rata-rata strip.

Seringkali digunakan analisis beban rol untuk mengelora panas yang disusun oleh Sims. Dengan menggunakan persamaan Orowan yang dipersingkat dan menyederhanakan matematis serupa dengan Baland dan Ford, Sims telah mengembangkan persamaan :

$$P = \sigma_0 b \left[ R(h_0 - h_f)^{1/2} \right] Q_p \quad \text{(Dieret,1986)} \quad (2.8)$$

Dimana  $Q_p$  adalah suatu fungsi kompleks untuk reduksi tebal dan perbandingan

$R/h_f$ . Nilai-nilai  $Q_p$  dapat diperoleh dari Gambar 2. atau dari Rumus :

$$Q_p = \sqrt{\frac{h_0}{4\Delta h} \left[ \pi \tan^{-1} \sqrt{\frac{\Delta h}{h_f}} - \sqrt{\frac{R}{h_f} \ln \frac{h^2}{h_0 h_f}} \right]} - \frac{\pi}{4} \quad \text{(Dieret,1986)} \quad (2.9)$$

## 2.4 Pengelora dingin

Pengelora dingin dipergunakan untuk menghasilkan lembaran dan strip yang memiliki kualitas permukaan akhir yang lebih baik serta kesalahan dimensional yang lebih kecil dibandingkan hasil proses pengerolan panas. Selain itu, pengerasan regang yang diperoleh dari reduksi dingin dapat digunakan untuk menaikkan kekuatan. Sebagian besar logam-logam bukan besi lebih banyak menggunakan. Proses akhir pengerjaan dingin dibanding pengerjaan panas untuk baja. Bahan, baku untuk pengerolan dingin lembaran baja adalah propil hasil pengerolan panas yang dibersihkan dengan asam hasil mesin strip-panas kontinyu. Lembaran-lembaranlogam bukan besi rol-dingin dapat diproduksi dari strip rol-pamas, atau pada kasus tertentu, misalnya pada paduan-paduan tembaga, lembaran diperoleh dengan cara pengerolan langsung dari logam tuangannya.

Mesin tandem empat-tingkat kecepatan tinggi yang mempunyai 3 hingga 5 stan adalah jenis yang digunakan untuk pengerolan dingin lembaran baja; aluminium dan paduan peduan tembaga. Biasanya jenis mesin ini dirancang untuk menghasilkan tegangan tarik ke depan dan ke belakang. Mesin kontinyu memepunyai kapasitas yang tinggi dan biaya tenaga produksi yang rendah. Sebagai contoh, kecepatan pengeluaran mesin kontinyu 5 stan dapat mencapai 6.000 ft/menit/ akan tetapi peralatan tersebut memerlukan modal yang besar dan kurang serba guna. Mesin pembalik stan tinggal 4 tingkat dengan penegang di

bagian depan dan belakang adalah menghasilkan jenis produk khusus dengan dimensi yang sangat beragam. Akan tetapi, jenis ini tidak dapat bersaing dengan mesin tandem kontinyu melibatkan kemampuan tonase yang besar.

Reduksi total yang dicapai dengan pengerolan dingin, biasanya beragam dari 50 % hingga 90 %. Dalam menentukan besarnya pada pas atau tiap stan, sedapat mungkin persentasi reduksinya diseragamkan, sehingga tidak terdapat stan tertentu yang mereduksi jauh lebih besar dibanding yang lain. Pada umumnya reduksi terkecil terdapat pada tahap akhir agar diperoleh pengerolan yang lebih baik terhadap ukuran, keretakan dan kondisi akhir permukaan. Salah satu prosedur yang rasional yang konstan.

Penghilangan titik luluh dari lembaran baja yang dilunakkan (dianil) adalah suatu persoalan praktis yang penting, kerana adanya perpanjangan titik luluh akan mengakibatkan ketidakhomogenan deforsmasi (regangan akibat penarikan) selama penarikan dalam atau pembentukan. Biasanya pada baja anil diterapkan cara-cara reduksi dingin rendah, pengerolan terper untuk menghilangkan perpanjangan titik luluh. Pengerolan terper juga menghasilkan perbaikan permukaan dan kerataan. Metode-metode lain yang dapat digunakan untuk memepertinggi kerataan lembaran yang dirol adalah pendataran rol, dan pendataran penarikan. Suatu mesin pendatar rol terdiri dari 2 pasang rol berdiameter kecil yang disusun sedemikian hingga barisan puncak dan dasar tidak sebaris. Apabila lembaran logam dimasukkan ke dalam pendara, maka lembaran ini dibengkokkan ke atas dan kebawah, dan lembaran lurus pada saat keluar dari rol.

Pendatar tarik terdiri atas 2 buah rahang yang memegang pinggiran lembaran dan menegangkakan dengan gaya tegangan tarik murni.

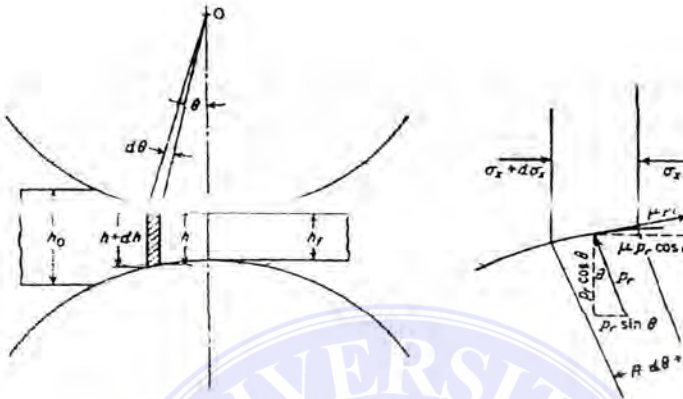
Suatu teori mengenai pengerolan bertujuan untuk menggambarkan gaya-gaya, seperti beban pengerolan dan torsi pengerolan, dengan menggunakan besaran-besaran geometri deformasi dan sifat kekuatan bahan yang dirol. Persamaan diferensial untuk keseimbangan elemen bahan yang sedang mengalami deformasi di antara rol-rol adalah hal yang biasa diterapkan pada teori pengerolan. Penurunan-penurunan selanjutnya didasarkan pada asumsi -asumsi berikut :

- (1) Lenkungan kontak berbentuk lingkaran dan titik ada deformasi elastik pada rol.
- (2) Koefisien gesekan tetap untuk semua titik pada lenkungan kontak
- (3) Tidak ada penyebaran dalam arah lateral, selungga pengerolan dapat dianggap sebagai persoalan regangan bidang.
- (4) Penampang vartiket tetap datar artinya : deformasi bersifat homogen.
- (5) Kecepatan keliling rol konstan
- (6) Deformasi elastik lembaran dapat diabaikan terhadap deformasi plastiknya
- (7) Kreteria luluh energi distori, untuk regangan bidang mensyaratkan bahwa :

$$\sigma_1 \sigma_3 = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_0 = \sigma_0$$

Tegangan-tegangan yang bekerja pada elemen strip pada celah rol ditunjukkan pada gambar 2.4. pada seberang titik kontak antara strip dan permukaan rol, ditantai oleh sudut  $\theta$ , tegangan-tegangan yang bekerja adalah

tekanan radial  $P_r$ , dan tegangan geseran tangensial  $\tau = \mu p_r$ . Tegangan –tegangan ini.



Gambar 2.4 hubungan geometris elemen yang difermasi

Dapat diuraikan dalm komponen-komponen vertikal dan horosontal (gambar 2.6 b). Selain itu, tegangan  $\sigma_x$  dianggap terdistribusi secara seragam dalam arah vertikal permukaan elemen-elemen twersbu. Tegangan formal pda salah satu permukaan elemen adalah  $p_r R d\theta$ , dan komponen horisontal dari gaya tersebut adalah  $p_r R \sin \theta d\theta$ . Gaya gesekan tangensial adalah  $\mu p_r R d\theta$  dan komponen horisontalnya adalah  $\mu p_r R \cos \theta d\theta$ . Dengan menjumlahkan gaya-gaya horisontal pada elemen, diperoleh :

$$(\sigma_x + d\sigma_x)(h + dh) + 2\mu p_r R \cos d\theta - \sigma_x h - 2p_r R \sin \theta d\theta = \theta$$

Yang dapat disederhanakan menjadi :

$$\frac{d(\sigma_x h)}{d\theta} = 2p_r R(\sin \theta \pm \mu \cos \theta) \quad \text{(Dieter, 1986)} \quad (2.10)$$

Tanda positif digunakan pada daerah antara bidang keluar dan titik netral, aementara tanda negatif diterapkan pada daerah antara bidang masuk dan titik netral. Tanda negatif dan positif pada persamaan (2.10), terjadi karena arah Gaya gesekan berubah pada titik netral. Persamaan ini pertama kali diturunkan oleh von arman dan dinamakan sesuai dengan nama beliau yaitu persamaan von Karman.

Gaya yang bekerja padaarah vartikel diimbangi oleh tekanan rol spesifik p. Keseimbangan gaya pada arah vartikal akan menghasilkan hubungan antara tekanan normal dan tekanan radial.

$$P = p_r (1 \mp \mu \tan \theta) \quad \text{(Dieter, 1986)} \quad (2.11)$$

Hubungan antara tekanan normal dan tegangan kompresi  $\sigma_x$ , dinyatakan dengan menggunakan kriterian luluh energi distorsi untuk regangan bidang,

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_0 = \sigma_0$$

Atau  $P - \sigma_x = \sigma_0 \quad \text{(Dieter, 1986)} \quad (2.12)$

Di mana P adalah gaya terbesar di antara tegangan utama kompresi.

Pemecahan persoalan pada pengerolan dingin terdiri atas integrasi persamaan (2.10) dengan bantuan persamaan (2.11) dan (2.12). penyelesaian matematikanya agak rumit, dan harus dibuat berbagai pendekatan untuk memperoleh penyelesaian.

Beberapa penyederhanaan untuk masalah ini telah diajukan oleh Baland dan Ford, sehingbga Bland dan Ford dapat mengambil nilai  $-\sin \theta \approx \theta$  dan  $\cos \theta \approx 1$ . Jadi persamaan (2.10) dapat dituliskan sebagai :

$$\frac{d(\sigma_x h)}{d\theta} = 2p_r R'(\theta \pm \mu) \quad \text{(Dieter, 1986)} \quad (2.13)$$

Diasumsikan pula bahwa  $p_r \approx p$ . Sehingga persamaan (2.12) dapat dituliskan sebagai  $\alpha_x = p_r = \sigma_0$ . Dengan memasukkan besaran ini dalam persamaan (2.13) dan dengan mengintegrasikan, akan diperoleh persamaan tekanan radial yang relatif sederhana.

Daerah masukan harga titik netral :

$$p_r = \frac{\theta_0 h}{h_0} \left( 1 \frac{\sigma_{xb}}{\sigma_{01}} \right) e^{\mu(H_1 - H)} \quad \text{(Dieter, 1986)} \quad (2.14)$$

Tingkat netral hingga daerah keluaran :

$$p_r = \frac{\theta_0 h}{h_0} \left( 1 \frac{\sigma_{xb}}{\sigma_{01}} \right) e^{\mu H} \quad \text{(Dieter, 1986)} \quad (2.15)$$

Dimana 
$$H = 2 \left( \frac{R'}{h_f} \right)^{1/2} \tan^{-1} \left[ \left( \frac{R'}{h_f} \right)^{1/2} \theta \right]$$

Dan  $\sigma_{xb}$  = tarikan balik

$\sigma_{xf}$  = tarikan depan

Persamaan (2.14) dan (2.15) dapat digunakan untuk menghitung distribusi tekanan pada daerah kontak rol. Beban pengerolan atau gaya total P adalah integral dari tekanan spesifik untuk daerah kontak.

$$P = R' b \int_0^{\alpha} p d\theta \quad \text{(Dieter, 1986)} \quad (2.16)$$

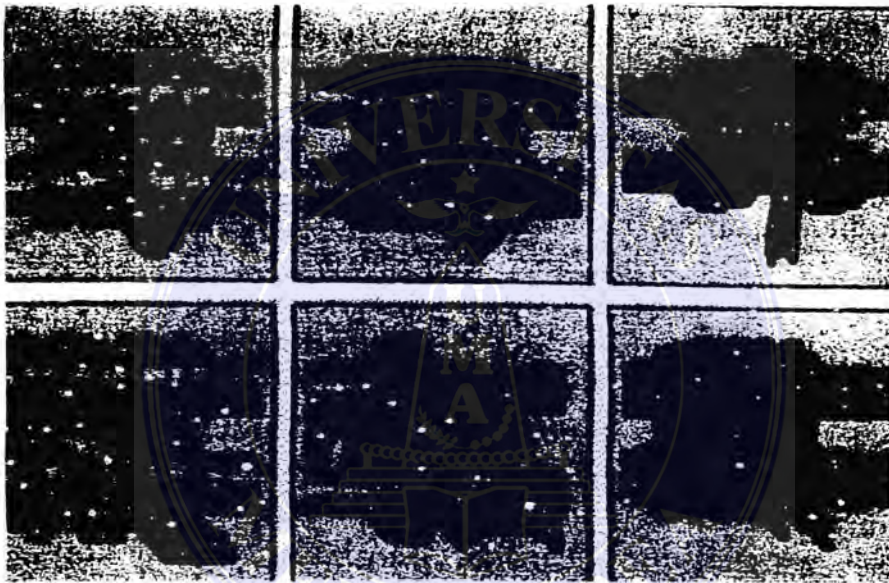
dimana : b = lembaran,  $\alpha$  = sudut kontak



Hasil yang terbaik diperoleh dengan cara integrasi grafis meliputi perhitungan titik dengan menggunakan persamaan (2.14) dan (2.15).

## 2.5 Pengerolan Batang dan Propil

Batang dengan penampang berbentuk lingkaran dan profil struktural, misal balok I, saluran, rel kereta api, diproduksi dalam jumlah yang besar dengan cara



**Gambar 2.5 pengerolan batang profil dan struktur**

Pengerolan panas dalam rol yang diberi alur (gambar 2.5). Sebetulnya, penggilasan panas ingot menjadi bentuk-bentuk blomm termasuk kelompok ini karena adanya rol alur untuk mengontrol perubahan bentuk selama proses pembentukan blomm (blooming).

Pengerolan batang dan profil berbeda dengan pengerolan lembaran dan strip, karena di sini penguguran luas penampang lintang terjadi dalam 2 arah.

Akan tetapi. Logam seringkali dikompresi pada satu saja tahapnya. Pada tahapan berikutnya logam diputar  $90^{\circ}$ . karena pada pengerolan panas penyebaran logam jauh lebih besar dibanding pengerolan dingin, maka persoalan perancangan pas yang cukup penting adalah memberikan ruangan yang cukup bagi penyebaran tersebut. Suatu metode khusus untuk mereduksi bilet persegi menjadi batang adalah melewatkannya melalui alur berbentuk oval dan persegi. Rancangan untuk pengerolan bentuk-bentuk profil jauh lebih rumit dan memerlukan pengalaman kerja. Karena untuk logam yang berada; banyaknya penyebaran logam juga berbeda, maka biasanya tidak mungkin melakukan pengerolan dengan perbedaan karakteristik yang cukup banyak, pada mesin rol yang sama.

Suatu mesin rol yang dirancang untuk mengerol batang dinamakan mesin rol batang (*bar rool*). Sebagian besar mesin rol pembuat batang dilengkapi dengan bagian untuk memasukkan bilet ke dalam alur dan bagian pembalik untuk mambalikkan arah batang dan mengumpulkannya kembali ke tahapan rol berikutnya. Mesin jenis demikian biasanya terdiri atas 2 atau 3 tingkat. Suatu instalasi yang umum biasanya terdiri atas stan kasar, stan untaian dan satan penyelesaian. Merupakan hal lumrah untuk menyusun pengerolan batang dalam suatu rangkaian, yakni beberapa mesin pengerol disusun berdekatan dan rol pada suatu stan digerakkan bersamaan dengan stan berikutnya.

## 2.6 Gaya-gaya dan Hubungan Geometri pada Pengerolan

Gambar 2.3 memperlihatkan sejumlah hubungan antara geometri pengerolan dan gaya-gaya yang terlibat pada deformasi rol logam. Suatu lembaran

logam dengan tebal  $h_0$  masuk sela rol pada bidang masukan XX dengan kecepatan  $v_0$ . Lembaran tersebut melewati celah rol dan meninggalkan ujung YY dengan tebal  $h_f$ . Sebagai pendekatan pertama, anggaplah tidak terjadi penambahan lebar, jadi penekanan logam dalam arah vartikel diubah menjadi perpanjangan pada arah pengerolan. Karena volume melalui titik tertentu logam tiap satuan waktu harus sama, maka didapat persamaan :

$$bh_0v_0 = bhfv_f \quad (\text{Dieter, 1986}) \quad (2.17)$$

Dimana  $b$  = lebar lembaran

$V$  = kecepatan pada sebarang ketebalan  $h$  antara  $h_0$  dan  $h_f$

Agar elemen vartikel lembaran tidak mengalami pembahasan, persamaan (2.17) mensyaratkan bahwa kecepatan keluar  $v_f$  harus lebih besar dibandingkan kecepatan masuk  $v_0$ . Oleh karena itu kecepatan lembaran harus terus-menerus dinaikkan sejak dimasukkan. Hanya pada satu titik di sepanjang permukaan kontak antara rol dan lembaran, kecepatan lembaran. Titik netral, atau titik tanpa pergelinciran (*nono-slip point*). Titik ini dinyatakan sebagai N.

Pada titik A digambar 2.3 pada logam bekerja 2 buah gaya. Gaya ini merupakan gaya radial  $P_r$ , dan gaya gesek tangensial  $F$ . Antara bidang masuk dan titik netral, lembaran bergerak lebih lambat dibanding permukaan rol dan terjadi gaya gesekan pada arah yang ditunjukkan pada gambar 2.3, sehingga logam tertarik di antara rol. Pada daerah sebelah kanan titik N, gerak lembaran lebih cepat daripada permukaan rol. Kemudian arah gesekan berbalik sehingga berfungsi sebagai hambatan terhadap arah gerak lembaryang meninggalkan rol.

Komponen vartikel  $P_r$  dinamakan beban pengerolan  $P$ . Beban pengerolan adalah gaya rol untuk menekan logam. Karena gaya ini juga sama dengan gaya reaksi dari logam yang mendorong rol, maka gaya ini juga dinamakan gaya pemisah (*separating force*). Tekanan rol spesifik  $p$  adalah beban pengerolan dibagi luas permukaan kontak. Luas permukaan kontak antara logam dan rol sama dengan perkalian antara lebar lembaran  $b$  dan panjang proyeksi busur kontak  $L_p$ .

$$L_p = \left[ R(h_0 - h_f) - \frac{(h_0 - h_f)^2}{4} \right]^{1/2} \approx [R(h_0 - h_f)]^{1/2} \quad \text{(Dieter, 1986)} \quad (2.18)$$

Oleh karena itu, besarnya tekanan rol spesifik diberikan oleh

$$p = \frac{P}{bL_p} \quad \text{(Dieter, 1986)} \quad (2.19)$$



Gambar 2.6. Distribusi tekanan disepanjang busur

Distribusi tekanan rol di sepanjang busur kontak ditunjukkan pada gambar 2.6. tekanan bertambah besar hingga mencapai harga maksimum pada titik netral dan kemudian turun. Kenyataan, bahwa distribusi tekanan tidak berupa puncak yang tajam pada titik netral seperti yang dibuktikan secara teoritis untuk suatu pengerolan, menunjukkan bahwa titik netral tidak berupa garis pada permukaan

rol tetapi berupa luas permukaan. Luas dibawah kurva sebanding dengan beban pengerolan, yang untuk keperluan perhitungan dianggap bekerja pada pusat gravitasi distribusi tekanan. Oleh karena itu, bentuk distribusi tekanan penting, karena leak beban pengerolan resultan yang berkaitan dengan pusat pengerolan, menentukan torsi dan daya yang dibutuhkan untuk menghasilkan reduksi. Daerah yang diarsir pada gambar 2.6 menyatakan gaya yang dibutuhkan untuk mengatasi gaya gesekan antara rol dengan lembaran, sementara daerah dibawah garis putus-putus AB menyatakan gaya yang dibutuhkan untuk mengubah bentuk logam pada kompresi bidang homogen.

Sudut  $\alpha$  antara bidang masuk dan garis pusat pengerolan dinamakan sudut kontak, atau sudut gigi (*angle of bite*). Perhatikan kembali gambar 2.3, komponen horisontal gaya normal adalah  $P \sin \alpha$ , dan komponen horisontal gaya gesekan adalah  $F \cos \alpha$ . Agar benda kerja masuk lubang antar rol; harus lebih besar atau sama dengan komponen horisontal gaya normal, yang cenderung untuk menjauhkan benda kerja dari celah rol. Syarat batas untuk memasukan pelat ke dalam rol, tanpa bantuan gaya luar adalah:

$$F \cos \alpha = P_r \sin \alpha$$

$$\frac{F}{P} = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \tan \alpha$$

$$F = \mu P_r$$

Jadi  $\mu = \tan \alpha$  (2.20)

Benda kerja dapat dimasukan ke dalam rol, jia garis singgung sudut kontak melebihi koefisien gesekan. Jika  $\mu = 0$ , pengerolan tidak dapat terjadi, tetapi jika nila p bertambah, slab yang dimasukan ke dalam rol bertambah besar besar. Pada

pemecahan ingot dengan cara pengerolan panas, dimana dibutuhkan reduksi yang besar dalam waktu yang singkat, maka rol dilengkapi alur-alur pemotong yang sejajar arah pengerolan untuk memperbesar nilai efektif  $\mu$ .

Untuk kondisi gesekan yang sama, rol berdiameter besar akan memungkinkan masuknya slab yang lebih tebal. Hal ini terjadi, karena meskipun sudut antara pusat rol dengan bidang masuk akan sama dalam kedua kasus ( $\tan \alpha$ ) tetapi panjang busur kontak (persamaan 2.17) akan berbeda cukup besar. Perhatikan kembali gambar 2.3, kita dapat menuliskan persamaan 2.17 sebagai:

$$L_p \approx \sqrt{R\Delta h}$$

Dimana  $\Delta h$  = tarikan yang terjadi selama pengerolan

$$\tan \alpha = \frac{L_p}{R - \Delta h / 2} \approx \frac{\sqrt{R\Delta h}}{R - \Delta h / 2} \approx \sqrt{\frac{\Delta h}{R}}$$

Dari persamaan,  $\mu \geq \tan \alpha = \sqrt{\Delta h / R}$

Atau  $(\Delta)_{maks} = \mu^2 R$  (2.21)

Gaya besar yang timbul dalam pengerolan ditransmisikan ke benda kerja melalui rol. Pada keadaan demikian ini terdapat 2 tipe utama distorsi elastik. Pertama, rol-rol cenderung untuk melengkung memanjang disebabkan oleh benda kerja yang cenderung untuk memisahkannya, sementara ujung-ujung rol tidak beringsut. Jenis yang kedua adalah terjadi perubahan permukaan rol yang bersentuhan dengan benda kerja, rol menjadi datar sehingga jari-jari lengkungan bertambah dari R menjadi R'. Sesuai dengan analisis Hitchcock, maka jari-jari lengkungan bertambah besar dari R menjadi R'

$$R' = R \left[ 1 + \frac{CP'}{b(h_0 - h_f)} \right]$$

dimana  $C = 16(1-\nu)/\pi E$  dihitung untuk bahan rol ( $C = 3,34 \times 10^{-4} \text{ in}^2 / \text{ton}$  untuk rol baja) dan  $P'$  adalah beban rol yang didasarkan pada jari-jari rol yang telah terdeformasi.

## 2.7 Analisa Pengrolan

Parameter-parameter pengerolan utama adalah diameter rol, hambatan deformasi logam yang tergantung pada struktur metalurgi, suhu, dari laju regangan, gesekan antara rol dengan benda kerja, dan adanya tegangan tarik ke depan dan/atau tegangan tarik ke belakang pada bidang lembaran.

Beban rol dapat dihitung dari perkalian tekanan rol dengan luas daerah kontak antara rol dengan logam, lihat persamaan (2.19). bila gesekan diabaikan, maka tekanan sama dengan tegangan luluh bahan sedang luas daerah kontak adalah luas proyeksi busur kontak dikalikan lebar logam pada sela rol. Dari persamaan (2.19) didapatkan:

$$P = pbL_p = \sigma_0 b \sqrt{R\Delta h} \quad (2.23)$$

Tegangan luluh untuk kondisi regangan bidang,  $\sigma_0$ , digunakan bila lebar (b) lembaran tetap. Bila terjadi pelebaran selama pengerolan, maka harus digunakan tegangan luluh uniaksial.

Untuk kondisi regangan bidang yang lazim, pengaruh gesekan terhadap pengerolan dapat dilihat pada analisis terdahulu (Bagian 16-3) untuk slab yang mengalami penekanan regangan bidang. Sebagai pendekatan pertama, pengerolan

adalah penekanan dengan kondisi regangan bidang dimana timbul peningkatan gesekan. Maka besarnya deformasi rata-rata diberikan oleh

$$\frac{\bar{P}}{\bar{\sigma}} = \frac{1}{Q} (e^Q - 1) \tag{2.24}$$

Dimana  $Q = \mu L_p / h$

$h$  = tebal rata-rata antara masuknya dan keluar dari rol

Dari persamaan (17-3), diperoleh persamaan beban pengerolan berupa:

$$P = \bar{p} b l_p$$

Dan karena  $L_p \approx \sqrt{R\Delta h}$ ,

$$P = \frac{2}{\sqrt{3}} \bar{\sigma}_0 \left[ \frac{1}{Q} (e^Q - 1) b \sqrt{R\Delta h} \right] \tag{2.25}$$

Faktor  $2/\sqrt{3}$  muncul karena pengerolan rata terjadi dalam kondisi regangan bidang sedemikian, sehingga tegangan alir harus sama dengan tegangan air pada regangan bidang.

Persamaan (2.25) memperlihatkan bahwa beban pengerolan bertambah besar apabila diameter bertambah besar, dengan laju pertambahan lebih besar dari  $D^{1/2}$ , tergantung pada kontribusi bukit gesekan. Beban pengerolan juga bertambah besar apabila lembaran yang akan dirol makin tipis (disebabkan oleh komponen  $e^Q$ ). Akhirnya dicapai suatu keadaan dimana hambatan deformasi lebih besar dibandingkan tekanan rol yang diterapkan, sehingga tidak dapat diperoleh lagi reduksi tebal benda kerja. Hal ini terjadi apabila rol yang bersentuhan dengan benda kerja dan benda kerjanya sendiri telah mengalami deformasi elastik yang



cukup besar. Diameter rol mempunyai pengaruh yang penting dalam menentukan ukuran minimum lembaran yang dapat dirol dengan mesin pengerolan tertentu. Beban rol dan panjang lengkungan kontak akan turun dengan mengecilnya diameter rol. Oleh karena itu, dengan diameter rol yang kecil, yang disangga rol pendukung yang tepat untuk melawan terjadinya lengkungan, dimungkinkan. Untuk menghasilkan reduksi yang lebih besar sebelum terjadi perataan rol sehingga tak mungkin lagi terjadi reduksi benda kerja.

Tegangan alir rata-rata untuk proses pengerolan dapat ditentukan secara langsung dari uji tekan regangan bidang. Untuk pengerolan dingin, maka tidak begitu dipengaruhi oleh laju regangan atau kecepatan pengerolan. Akan tetapi, seperti telah dikemukakan sebelumnya, pada pengerolan panas, perubahan laju regangan dapat mengakibatkan perubahan yang cukup berarti pada tegangan alir logam.

Gesekan antara rol dan permukaan logam sangat penting dalam pengerolan. Gaya-gaya gesekan selain dibutuhkan untuk menarik logam ke dalam rol. Akan tetapi, gambar 2.6 menunjukkan bahwa bagian terbesar beban pengerolan timbul akibat gaya gesekan. Kontribusi gerakan terletak pada komponen  $e^Q$  pada persamaan (2.24). gesekan yang besar menghasilkan beban pengerolan yang tinggi, lembah gesekan yang curam dan kecenderungan besar untuk mengalami retakan tepi. Gesekan bervariasi dari titik ke titik sepanjang lengkungan kontak rol. Akan tetapi, karena sangat sulit untuk mengukur variasi dalam  $\mu$ , maka semua teori mengenai pengerolan menggunakan anggapan bahwa koefisien gesekan tetap. Untuk pengerolan dingin dengan pelumas,  $\mu$  bervariasi

dari 0,05 hingga 0,10; tetapi untuk pengerolan panas; maka biasanya nilai koefisien geseknya 0,2 ke atas hingga kondisi lekat.

Sudut gigit dapat digunakan untuk menentukan  $\mu$  dengan menggunakan persamaan (2.20). Akan tetapi, metode ini tidak cukup teliti dan kemudian dikembangkan teknik-teknik yang lain. Titik netral adalah lokasi pada lengkungan kontak dimana arah gaya gesek berubah. Dari bidang masukan ke titik netral, gaya gesekan yang terjadi searah dengan rolasi pengerolan, sedangkan di bagian luar dari bagian titik netral, arahnya berlawanan. Jika pada lembaran, secara perlahan-lahan dikenakan tarikan balik, maka titik netral bergerak menuju bidang (bagian) keluar. Beban pengerolan total  $P$  dan torsi  $M_T$  (tiap satuan lebar  $b$ ) diberikan oleh

$$\frac{P}{b} = \int_0^{L_p} p dx \quad \frac{M_T}{b} = \int_0^{L_p} (\mu \cdot p dx) R = \mu \cdot R \frac{P}{b}$$

Jadi,  $\mu = \frac{M_T}{PR}$  (2.26)

Dimana  $\pi$  diperoleh dengan cara mengukur torsi dan beban pengerolan pada kecepatan pengerolan dan reduksi konstan dengan tarikan balik yang tepat. Tarikan balik yang tepat untuk meletakkan titik netral ke bagian luar dapat dicapai apabila kecepatan keluar lembaran  $v_f$  sama dengan kecepatan permukaan rol,  $v_r = R\omega$ . Atau dengan perkataan lain pengelinciran maju (forward slip)  $S_f$  sama dengan nol.

$$S_f = \frac{v_f - v_r}{v_r} \tag{2.27}$$

Pengukuran pengelinciran maju untuk berbagai nilai tarikan balik dapat digunakan untuk menentukan nilai pendekatan  $p$ , melalui persamaan-persamaan

$$S_f = \frac{1}{4} \frac{r}{1-r} \left(1 - \frac{\alpha}{2\mu}\right)^2$$

Dimana  $r = (h_0 - h_f) / h_0$  adalah reduksi dan  $\alpha$  adalah sudut gigit.

Tebal lembaran minimum yang dapat dirol pada mesin rol tertentu dikaitkan langsung dengan koefisien gesekan. Karena koefisien gesek pengerolan dingin jauh lebih kecil dibanding pengerolan panas, maka pada pengerolan dingin dapat dihasilkan lembaran yang lebih tipis. Tebal lembaran yang dihasilkan pada pengerolan dingin dapat diperkecil dengan meningkatkan kecepatan pengerolan. Hal ini merupakan bukti bahwa dengan memperbesar kecepatan pengerolan, maka koefisien gesek akan turun.

Adanya tegangan tarik pada bidang lembaran dapat memperkecil beban pengerolan. Tegangan tarik bahkan dapat dihasilkan dengan mengontrol kecepatan rol pelepas relatif terhadap kecepatan rol dan tegangan tarik depan diperoleh dengan cara mengontrol penghubung lembaran. Efek terikan lembaran terhadap pengurangan tekanan rol  $p$  dapat ditunjukkan secara sederhana dari kriteria von Mises untuk regangan bidang.

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_0$$

$$p - (-\sigma_h) = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_0$$

Dimana  $\sigma_h$  adalah tegangan lembaran horisontal dan tegangan-tegangan tekan

dianggap bernilai positif.  $p = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_h$  (2.29)

Jadi, tekanan rol diperkecil sebanding dengan tegangan tarik pada bidang lembaran. Hal ini akan mengurangi keausan rol dan memperbaiki kerataan dan

k eseragaman tebal pada arah melebar dari lembaran hasil rol. Suatu kajian mengenai efek tarikan lembaran mengungkapkan bahwa tegangan balik mengurangi beban rol dua kali lebih efektif dibanding tarikan ke depan. Bila ada tegangan maka beban rol dapat ditentukan dari persamaan (2.9) dengan mengganti  $\bar{\sigma}_0$  dengan  $\bar{\sigma}_0 - \bar{\sigma}_1$ , dimana  $\bar{\sigma}_1$  adalah nilai rata-rata dari tegangan ke depan dan ke belakang.

Telah dikembangkan suatu teori pengerolan yang memungkinkan melakukan perhitungan efek tarikan strip terhadap distribusi tekanan rol, seperti yang ditunjukkan secara skematis pada gambar 2.7, penambahan tarikan ke depan dan ke belakang akan memperkecil luas daerah dibawah kurva, walaupun hanya terjadi sedikit pergeseran titik netral. Jika hanya dikenakan tarikan balik, maka titik netral bergerak ke arah keluaran rol. Bila tegangan keluar cukup tinggi, titik netral dapat berimpit dengan titik bagian keluar rol. Apabila ini terjadi, maka rol akan bergerak lebih cepat dibandingkan logam dan menyebabkan terjadinya pengelinciran permukaan. Sementara, jika hanya tarikan depan yang digunakan, maka titik netral akan bergerak ke arah bagian masuk rol.

Laju produksi yang tinggi serta proses yang cepat dari mesin-mesin pengerolan panas kontinu dan mesin pengerolan dingin, menambah pentingnya kontrol otomatis, pengerolan merupakan proses yang paling cocok untuk dikendalikan secara otomatis, karena proses tersebut pada dasarnya bersifat tetap (steady-state) dimana geometri peralatan (celah rol) dengan mudah diubah selama berlangsungnya proses. Sekarang ini penerapan kontrol otomatis pada pengerolan, sebagian besar berkaitan dengan pengontrolan ketebalan lembaran

selama penggulungan. Untuk itu diperlukan suatu sensor untuk mengamati tebal lembaran secara terus-menerus. Dua buah instrumen yang paling sering digunakan adalah mikrometer yang dapat bergerak cepat dengan sinar-x atau isotop, pengukuran tebal diperoleh dengan cara memonitor jumlah radiasi yang ditransmisikan melalui lembaran. Prosedur kontrol yang lebih baru mencakup pengontrolan bentuk, disamping tebal lembaran.

Persoalan pengendalian ukuran dapat difahami bila diperhatikan kurva-kurva karakteristik mesin pengerolan (gambar 2.12). untuk kondisi pengerolan tertentu, beban pengerolan bervariasi terhadap tebal-akhir lembaran sesuai dengan *kurva plastik*. Hal ini sesuai dengan penyelesaian persamaan (2.28). *kurva elastik* untuk pegas mesin tampak pada gambar. Hal ini menunjukkan bahwa lembaran dengan dengan tebal awal  $h_0$  akali mempunyai tebal akhir  $h_f$  dan beban pada mesin rol adalah  $P$ . Pengaruh perubahan variabel pengerolan dapat digambarkan secara jelas dengan diagram tipe demikian. Jika pelumas tidak berfungsi, sehingga  $\mu$  bertambah besar atau tegangan alir meningkat akibat suhu yang turun. Kurva akan naik gambar 2.13. Beban pengrolan akan naik dari  $P_1$  menjadi  $P_2$  dan tebal akhir akan bertambah dari  $h_{f1}$  menjadi  $h_{f2}$ . gambar 2.13 memperlihatkan bahwa untuk menjaga agar tebal  $h_{f1}$  konstan, maka celah rol harus diperkecil. Dengan menggerakkan kurva elastik ke kiri, maka beban pengerolan akan membesar menjadi  $P_3$ . Jika, sebagai contoh, terdapat kenaikan tebal lembaran, maka kurva plastik akan bergerak ke arah kanan, relatif, terhadap kurva elastik. Jika terdapat kenaikan tegangan tarik dalam strip, kurva plastik akan bergerak ke kiri.

Pada pengerolan panas yang kontinu, tebal strip diukur secara tak langsung dengan cara mengukur beban pengerolan dan menggunakan kurva karakteristik mesin untuk menentukan tebal. Sinyal kesalahan diumpan-balikkan ke ulir mesin rol untuk menentukan posisi baru sehingga kesalahan diperkecil. Suatu pengukur sinar-x, digunakan setelah tahap berakhir untuk memberikan pengukuran mutlak dari tebal lembaran. Pada mesin pengerol dingin kontinu, tebal hasil pengerolan diukur dengan alat pengukur sinar-x. Kesalahan yang terjadi pada tahap pertama diumpan balikkan untuk mengatur lebar celah, kontrol ketebalan pada tahapan berikutnya biasanya diperoleh dengan cara mengontrol tegangan tarik. Melalui pengontrolan kecepatan relatif dari rol pada tahapan-tahapan yang berurutan atau kecepatan penggulung. Kontrol melalui pengendalian tegangan tarik strip lebih tanggap dibandingkan dengan kontrol melalui perubahan penyetelan rol.

## BAB III

### METODE PERANCANGAN

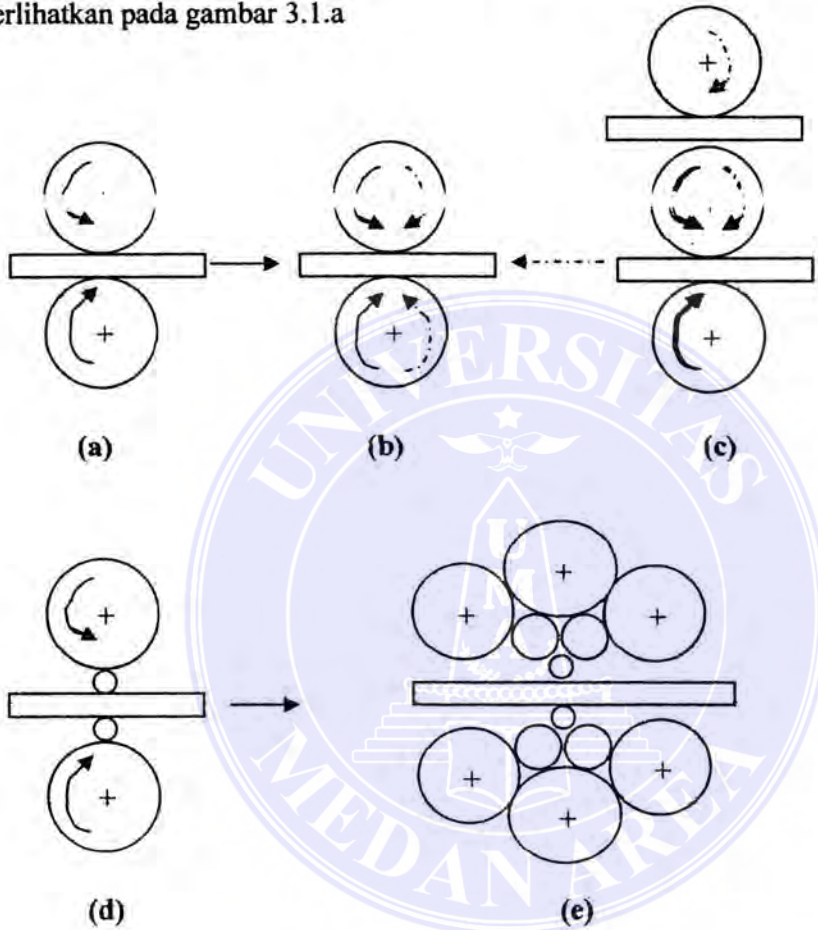
#### 3.1. Bahan Benda Kerja

Baja merupakan paduan besi dengan karbon serta sejumlah kecil campuan bahan lainnya. Kandungan karbon biasanya kurang dari 1,0 wt %. Berdasarkan kandungan karbon, baja dibagi atas tiga jenis baja karbon yaitu baja karbon rendah, baja karbon sedang dan baja karbon tinggi. Baja karbon rendah mengandung karbon sampai dengan 0,25 % berat. Berdasarkan kandungan karbon ini, baja ini bersifat lunak dan tidak responsif terhadap perlakuan panas yang bertujuan untuk membentuk martensit. Secara umum baja ini mempunyai struktur mikro berupa ferit + pearlite. Sifat lunak dan lemah tetapi keuletan dan tangguhan sangat tinggi, mudah di mesin, dirol dan dilas. Diantara semua baja karbon, baja ini paling murah di produksi, dan digunakan sebagai komponen bodi mobil, baja, struktur pipa gedung, jembatan, dan kaleng.

Jika dibandingkan dengan baja karbon sedang yang mengandung karbon kira-kira 0,2-0,60 %, yang mempunyai sifat dapat diberikan perlakuan panas yaitu austenitizing, quenching, dan tempering untuk menaikkan sifat mekaniknya. Baja karbon sedang sering digunakan dalam bentuk struktur martensite. Penambahan chrom, nikel dan molibdenum meningkatkan kemampuan untuk perlakuan panas. Baja yang telah mengalami perlakuan panas lebih kuat dari pada baja karbon rendah namun keuletan dan ketangguhannya menurun. Kegunaan baja karbon sedang seperti ; roda kereta api, rel, roda gigi, crank shaft, dan komponen mesin yang membutuhkan kekuatan tinggi.

### 3.2. Geometri Mesin Rol

Sebagaimana telah dijelaskan pada bagian tujuan perancangan, bahwa jenis mesin rol yang akan dirancaang adalah jenis mesin rol satu tingkat, seperti diperlihatkan pada gambar 3.1.a



Gambar 3.1. Susunan rol untuk pengerolan logam, (a) searah satu tingkat, (b) satu tingkat bolak-balik, (c) tiga tingkat, (d) empat tingkat, dan (e) tandem

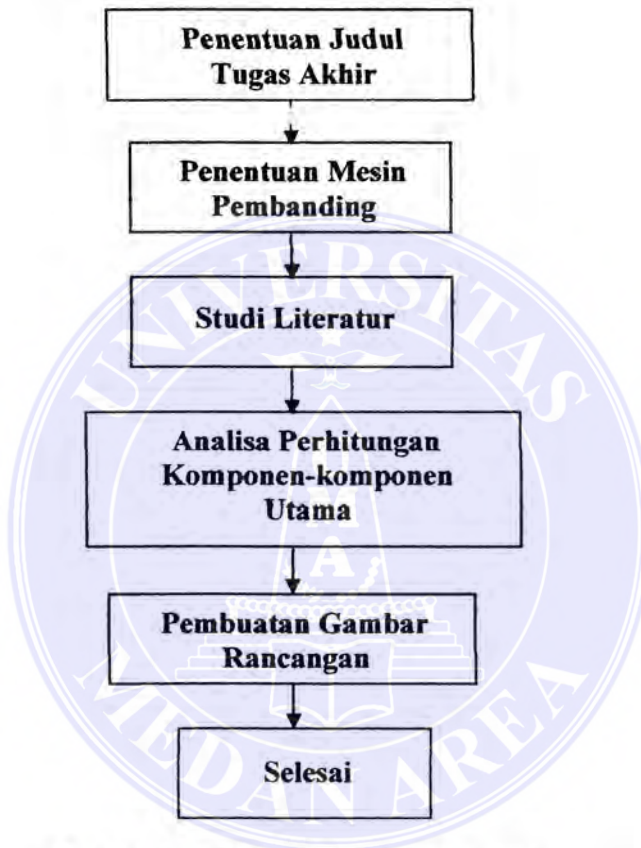
### 3.3. Komponen-Komponen Mesin Rol

Pada mesin rol terdapat beberapa komponen yang merupakan beberapa peralatan atau komponen penting dan mendukung proses pada mesin rol, yaitu rol penekan, poros pendukung, system transmisi daya dan system power supply.



### 3.4. Prosedur Perancangan

Dalam penyelesaian perancangan ini, penulis membuat suatu prosedur perancangan mengikuti diagram alir di bawah ini



Gambar 3.1. Diagram Alir Perancangan

(a) **Pemilihan judul Tugas Akhir.** Tahapan yang paling awal dari rangkaian perancang ini adalah pemilihan judul. Adapun judul perancangan ini sesuai dengan telah diuraikan pada bagian belakang sebelumnya, bahwa pada perancangan ini penulis ingin memberi kontribusi dalam mesin pengepresan dalam pengolahan daun gambir menjadi getah gambir. Mesin pengepresan

gambar ini merupakan salah satu jenis mesin pengepresan yang digunakan oleh masyarakat petani gambir saat ini.

- (b) **Mesin uji pembanding.** Kontruksi mesin pengepresan gambir yang dirancang dapat diadopsi seperti diperhatikan pada gambar 3.1 yaitu sebuah mesin pengepresan dalam bentuk Screw press.
- (c) **Studi Literatur.** Untuk mendukung perancangan ini, diperlukan beberapa teori yang berhubungan dengan proses pembentukan logam. Teori-teori tersebut diperoleh dari beberapa referensi yang diperoleh melalui tinjauan pustaka.
- (d) **Analisa Perhitungan.** Pada tahapan ini, akan dianalisa tentang geometri dari komponen-komponen utama dari mesin press gambir tersebut. Analisa ini meliputi pertimbangan bentuk maupun perhitungan dimensi dan selanjutnya pemilihan spesifikasi dari komponen mesin press tersebut. Pada perancangan ini komponen-komponen yang dianalisa meliputi: perhitungan dan pertimbangan bentuk poros tansmisi, perhitungan pasak, perhitungan dan pemilihan bantalan, perhitungan dan pemilihan puli & belt, pemilihan elektromotor. Kemudian dari hasil perhitungan diperbandingkan untuk menentukan spesifikasi komponen yang digunakan.
- (e) **Gambar Teknik.** Pada tahapan akhir dari perancangan ini adalah membuat gambar teknik dari sebuah mesin press jenis double action. Dengan terbentuknya gambar teknik ini, maka selesaikanlah tahapan-tahapan perancangan ini.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

Dari hasil perhitungan komponen-komponen utama mesin rol, maka dibuat suatu kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Parameter-parameter pengerolan harus diperhitungkan dengan cermat. Parameter-parameter terdiri dari: (a) diameter rol, (b) hambatan deformasi material, (c) gesekan antara rol dengan benda kerja, dan (d) tegangan tarik pada bahan yang dirol.
- 2) Cacat coran dapat dihilangkan melalui perhitungan-perhitungan parameter-parameter yang tepat.
- 3) Daya yang diperlukan akan dipengaruhi oleh temperatur pengerjaan dan faktor gesekan permukaan.
- 4) Komponen-komponen utama terdiri dari: (a) Motor penggerak, (b) Rol-rol penekan, (c) sistem transmisi, (d) bantalan, dan sistem pully.

#### **5.2. Saran**

Sebelum melakukan rancangan ulang suatu mesin rol sebaiknya terlebih dahulu dilakukan peninjauan langsung mesin-mesin rol yang telah dipergunakan oleh industri-industri manufaktur. Dengan demikian kita dapat melihat permasalahan-permasalahan ada di dalam suatu industri pengerolan, Sehingga dari permasalahan-permasalahan ini dapat dirancang

UNIVERSITAS MEDAN yang lebih baik dari yang sudah ada.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Khuni, R.S., Gupta, J.K., 1980, "**Machine Design**" New Delhi Euresia
2. Shigley, J.E., Mitchell, L.D., 1994, "**Perencanaan Teknik Mesin**" Edisi ke-4, jilid 2, Jakarta, Erlangga.
3. Sriati Djaprie, 1992, "**Metalurgi Mekanik**" Edisi ke-3, jilid 2, Jakarta, Erlangga.
4. Solarso, Suga, K.,1997,"**Dasar Perencanaan Dan Pemilihan Elemen Mesin**", Jakarta, Pradya Paramita.
5. DeGarmo, E.,P., 1979, Material and Proceces In Manufacturing,
6. Daryus, A., 2008, Proses Produksi, Fakultas Tekni, Universitas Dharma Persada.Jakarta.