

**KARYA ILMIAH**

**PERANCANGAN MESIN ROL UNIVERSAL  
UNTUK BENDA KERJA LOGAM FERROUS**

Oleh

Nama : Ir. Amru Siregar, MT.

Nip : 131 996 163



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MEDAN AREA  
MEDAN  
2007**

**KARYA ILMIAH**

**PERANCANGAN MESIN ROL UNIVERSAL  
UNTUK BENDA KERJA LOGAM FERROUS**

**Oleh**

**Nama : Ir. Amru Siregar,MT.**

**Nip : 131 996 163**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MEDAN AREA  
MEDAN  
2007**



# KARYA ILMIAH

## PERANCANGAN MESIN ROL UNIVERSAL UNTUK BENDA KERJA LOGAM FERROUS

Oleh

Nama : Ir. Amru Siregar, MT.

Nip : 131 996 163

Mengetahui

Dekan Fakultas Teknik UMA



(Drs. Dadan Ramdan, M.Eng.MSc.)

Penulis



(Ir. Amru Siregar, MT.)

Mengetahui

Ketua Lembaga Penelitian UMA



(Ir. Roeswandi)

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT, karena atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan karya ilmiah ini dengan baik. Hasil rancangan ini dimanfaatkan untuk melengkapi persyaratan kenaikan Jabatan fungsional dan pangkat & Golongan sebagai staf pengajar. Adapun judul karya ilmiah ini berjudul “ Perancangan Mesin Rol Universal untuk Benda Kerja Logam Ferous”

Dalam penyusunan tugas rancangan ini penulis menyadari masih banyak kekurangan dan kesalahan yang terjadi, oleh sebab itu penulis dengan senang hati menerima kritik dan saran yang bersifat membangun untuk kesempurnaan tugas rancangan ini.

Pada kesempatan ini tidak lupa pula penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebanyak-banyaknya atas segala bantuan, arahan dan bimbingan yang telah diberikan kepada penulis dalam menyelesaikan tugas rancangan ini, yaitu kepada :

1. Bapak Ir. Roeswandi selaku Ketua Lembaga Penelitian UMA.
2. Bapak Drs. Dadan Ramdan, M.Eng.Sc. selaku Dekan Fak.Teknik UMA
3. Bapak-Bapak seluruh staf pengajar Fakultas Teknik UMA.

Ákhir kata semoga tugas rancangan ini dapat bermanfaat bagi kita semua dan untuk perkembangan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi dimasa yang akan datang

Medan, Agustus 2007

Penulis

Ir.Amru Siregar, MT.

## DAFTAR ISI

|  |           |
|--|-----------|
| HALAMAN JUDUL.....   | i         |
| LEMBARAN PENGESAHAN .....                                  | ii        |
| KATA PENGANTAR .....                                       | iii       |
| DAFTAR ISI .....   | iv        |
| DAFTAR GAMBAR .....  | vi        |
| <b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>                             | <b>1</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>                         | <b>4</b>  |
| 2.1. Klasifikasi Proses Pengerolan .....                   | 4         |
| 2.2. Pengerolan Logam .....                                | 6         |
| 2.3. Pengerolan Panas .....                                | 9         |
| 2.4. Pengerolan Dingin .....                               | 15        |
| 2.5. Pengerolan Batang dan Propil .....                    | 20        |
| 2.6. Gaya-gaya dan hubungan geometri pada Pengerolan ..... | 22        |
| 2.7. Analisa Pengerolan .....                              | 26        |
| <b>BAB III METODE PERANCANGAN .....</b>                    | <b>34</b> |
| 3.1. Geometri Mesin Rol .....                              | 34        |
| 3.2. Komponen-komponen Mesin Rol .....                     | 34        |
| 3.3. Prosedur Perancangan .....                            | 35        |
| <b>BAB IV ANALISA DAN PERHITUNGAN .....</b>                | <b>37</b> |
| 4.1. Parameter-Parameter pada Pengerolan .....             | 37        |
| 4.2. Permasalahan dan cacat pada Produk Rol .....          | 40        |
| 4.3. Torsi dan daya Kuda .....                             | 47        |
| 4.4. Pemilihan Poros Utama .....                           | 50        |
| 4.5. Perancangan Pasak .....                               | 53        |

|                        |    |
|------------------------|----|
| BAB V KESIMPULAN ..... | 61 |
| DAFTAR PUSTAKA .....   | 62 |

## DAFTAR GAMBAR

|  |    |
|--|----|
| 1. Gambar 2.1 Ssusunan rol untuk pengerolan logam .....                                | 7  |
| 2. Gambar 2.2 Skematik pengerolan Strip dengan rol empat tingkat yang<br>kontinu ..... | 8  |
| 3. Gambar 2.3 Susunan rol planet .....   | 8  |
| 4. Gambar 2.4 Gaya-gaya yang bekerja selama pengerolan .....                           | 14 |
| 5. Gambar 2.5 Pengerolan batang Propil dan Struktur .....                              | 21 |
| 6. Gambar 2.6 Distribusi Tekanan Disepanjang Busur .....                               | 24 |
| 7. Gambar 3.1 Susunan untuk Pengerolan Logam .....                                     | 34 |
| 8. Gambar 3.2 Diagram alir perancangan .....   | 35 |
| 9. Gambar 4.1 Kurva Kalibrasi khusus untuk konstanta elastic mesin rol ..              | 40 |
| 10. Gambar 4.2 Akibat pembengkokan rol yang menghasilkan cacat .....                   | 42 |
| 11. Gambar 4.3 Cacat yang diakibatkan oleh penyebaran lateral .....                    | 45 |
| 12. Gambar 4.4 Distribusi tepi .....   | 45 |
| 13. Gambar 4.5 Diagram Skematik Torsi .....  | 49 |
| 14. Gambar 4.6 Jenis-jenis pasak .....   | 53 |
| 15. Gambar 4.7 Jenis-jenis bantalan .....  | 56 |

# 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, konstruksi bangunan maupun bahan-bahan kebutuhan sehari-hari. Dalam memproduksi bahan-bahan tersebut diatas diperlukan berbagai jenis proses pembentukan, mesin produksi maupun peralatan-peralatan pendukung lainnya.

Proses pembentukan komponen-komponen mesin dapat dilakukan dengan beberapa cara misalnya proses pembentukan logam dengan cara pengecoran, proses pembentukan dengan cara permesinan, proses pembentukan logam melalui 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 dalam keadaan dingin (*cold working*), seperti proses pengerolan, proses ekstrusi, proses temper dan sebagainya, banyak digunakan pada proses pembentukan logam ferrous maupun logam-logam lainnya. Oleh karena proses ini memberikan kemungkinan untuk memproduksi produk akhir yang berkualitas tinggi dan mudah dikontrol.



- (1) Perhitungan kekuatan poros
- (2) Analisa kerusakan pada produk pengerolan
- (3) Perhitungan pada bantalan
- (4) Daya yang diperlukan

### **1.3 Tujuan Perancangan**

Dalam karya ilmiah ini, penulis bertujuan untuk mengevaluasi kekuatan komponen-komponen utama dari mesin rol universal yaitu mesin rol yang digunakan untuk berbagai jenis pengerolan logam. Komponen-komponen yang dievaluasi meliputi : pemilihan diameter poros utama, pemilihan bantalan, perhitungan daya pengerolan dan besaran-besaran lainnya.

### **1.4 Manfaat Perancangan**

Hasil karya ilmiah ini akan bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan bagi masyarakat yaitu :

- (1) Hasil karya ilmiah ini akan memberi kontribusi bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi mesin-mesin rol.
- (2) Hasil karya ilmiah ini akan bermanfaat bagi masyarakat, khususnya bagi para teknisi yang bergerak dibidang proses pengerolan logam.
- (3) Hasil karya ilmiah ini akan bermanfaat bagi mahasiswa yang ingin mempelajari lebih mendalam tentang mesin-mesin rol/dalam bidang yang sama.

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Klasifikasi Proses Pengerolan

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 di antara 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  $1\frac{1}{2} \times 1\frac{1}{2} \text{ in}$ . Pada logam-logam bukan besi, istilah bilet adalah sebarang ingot yang

mengalami pengerjaan panas dengan cara pengerolan, penempaan, atau ekstrusi, atau merupakan istilah yang dapat dihubungkan dengan cor-coran yang cocok untuk pengerjaan panas, misal billet ekstrusi.

Batang kasar, billet 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  $\frac{1}{4}$  in, tergantung kepada lebarnya. Lembaran dan strip dikaitkan dengan produk pengerolan yang pada umumnya mempunyai tebal kurang dari  $\frac{1}{4}$  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 di antara 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.

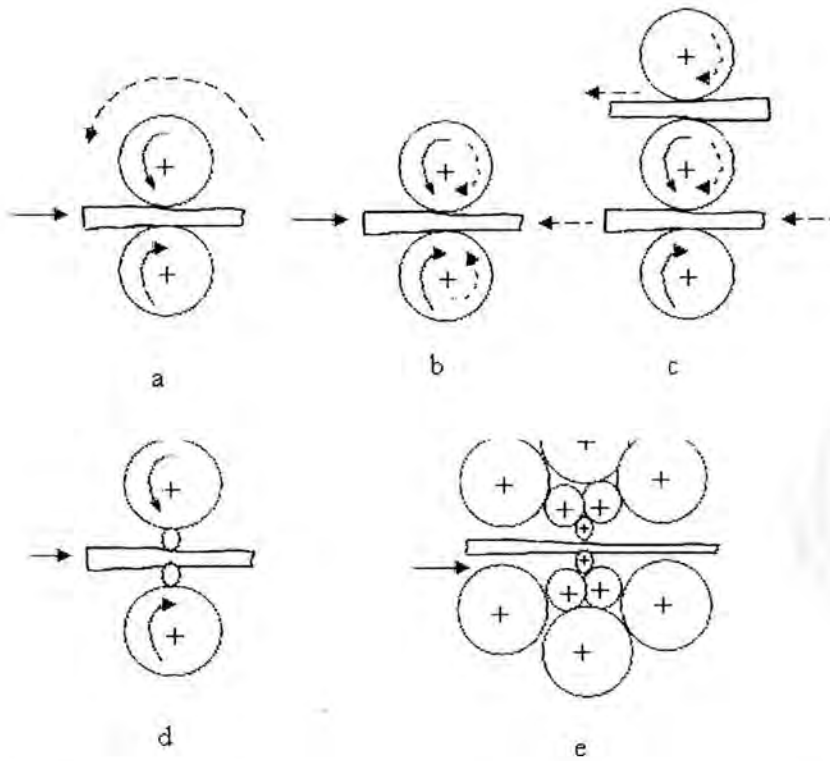
Tujuan utama pengerolan panas atau dingin konvensional, adalah memperkecil tebal logam. Biasanya terjadi sedikit penambahan lebar, karena itu penurunan tebal mengakibatkan penambahan panjang. Pembentukan rol adalah tipe pengerolan dingin khusus, di mana strip dibengkokkan secara progresif menjadi bentuk 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, di mana benda kerja 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 banyak menurunkan pemakaian daya.

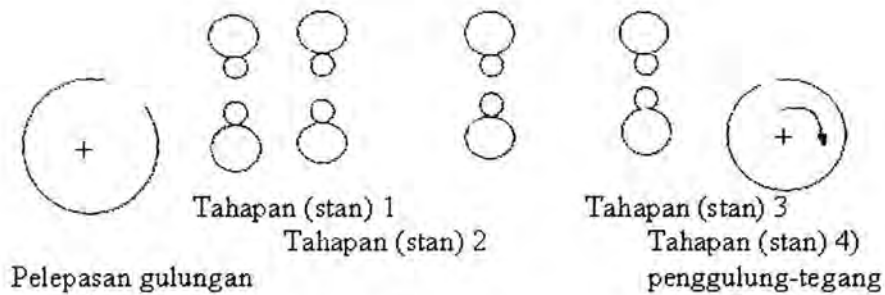


Gambar 2.1 Susunan rol untuk pengerolan logam, (a) searah-dua tingkat, (b) dua tingkat bolak-balik, (c) tiga tingkat, (d) empat tingkat, (e) tandem

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.d). Lembaran yang sangat tipis dapat dirol menjadi lebih tipis lagi pada pengetolan dengan diameter rol yang kecil. Rol tandan, (gambar 2.1.e), di mana setiap pengerolan benda kerja didukung oleh dua rol lainnya adalah tipe yang mampu melakukan hal demikian. Rol *Senzimir* merupakan suatu modifikasi dari rol tandan, yang sangat baik untuk mengerol lembaran-lembaran tipis atau foil dari paduan-paduan yang berkekuatan tinggi.

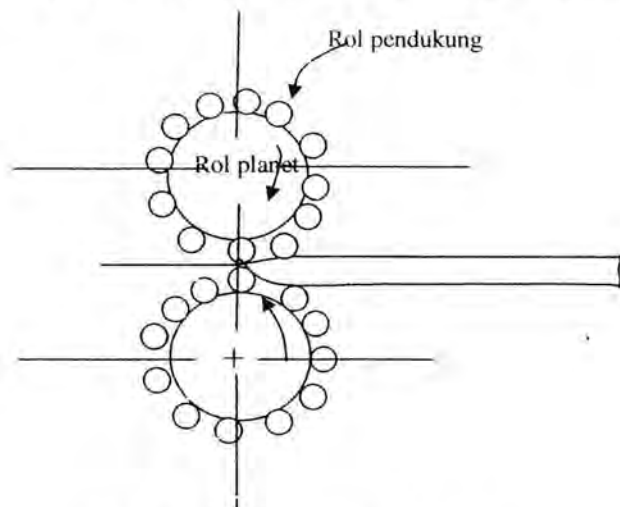
Untuk meningkatkan hasil yang berkualitas tinggi, biasanya disusun rangkaian mesin rol logam secara seri gambar 2.2. Setiap pasang rol dinamakan tahapan (stan).





Gambar 2.2 gambaran 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 yang 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 pasangan rol, di mana perpindahan pasangan rol berlangsung cepat. Proses yang terjadi pada mesin rol planet lebih mirip penempaan dibanding pengerolan. Pada proses ini diperlukan rol pengumpan untuk memasukkan 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 digolong 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 pinggirannya 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 pinggiran pada rol.

Mesin balik primer 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, satu mempunyai dua buah rol berdiameter besar dan yang lain adalah rol vertikal yang mengontrol lebar pada saat tebalnya 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 horisontal lurus dan kemudian seluruh sisinya dipangkas. Tepian rol (*mill egde*) adalah tepian yang lazim dihasilkan oleh proses pengerolan panas antara dua buah rol akhir. Pelat-pelat tepi rol mempunyai dua buah tepian rol

dan dua buah tepian pangkas. Pelat-pelat mesin 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 pengasar 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 panjang 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 aluminium 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 regangan (kecepatan rol).

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

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

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:

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

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 kecepatannya sama. Laju peregangan untuk gesekan lekat adalah:

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

di mana  $h_n$  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 pengerolan pada pengerolan panas untuk paduan-paduan bukan logam dan baja.

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

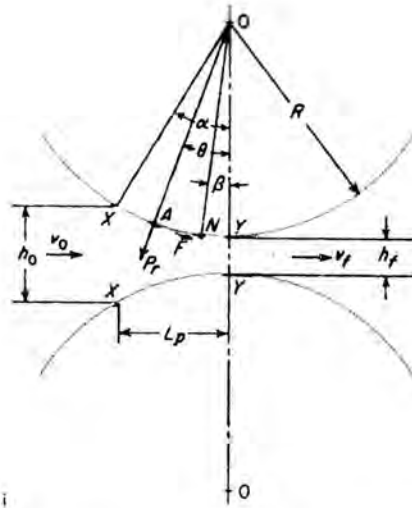
di mana  $k$  adalah tegangan alir rata-rata pada geser murni =  $\sigma_0/\sqrt{3}$  , dan Torsi diberikan oleh persamaan

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

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

pada pengerolan panas:

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



Gambar 2.3 Gaya-gaya yang bekerja selama pengerolan

Penempaan panas:

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

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

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

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

di mana  $Q_p$  adalah suatu fungsi kompleks untuk reduksi tebal dan perbandingan  $R/h_f$ . Nilai-nilai  $Q_p$  dapat diperoleh dari Gambar 2. atau dari Rumus:

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

## 2.4 Pengerolan dingin

Pengerolan dingin dipergunakan untuk menghasilkan lembaran dan strip yang memiliki kualitas permukaan akhir yang lebih baik serta kesalahan dimensional yang lebih kecil dibanding 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-lembaran logam bukan besi rol-dingin dapat diproduksi dari strip rol-panas, atau pada kasus tertentu, misalnya pada paduan-paduan tembaga, lembaran diperoleh dengan cara pengerolan langsung dari logam tuangnya.

Mesin tandem empat-tingkat kecepatan tinggi yang mempunyai 3 hingga 5 stan adalah jenis yang digunakan untuk pengerolan dingin lembaran baja; aluminium dan paduan paduan tembaga. Biasanya jenis mesin ini dirancang untuk menghasilkan tegangan tarik ke dapan dan ke belakang. Mesin kontinyu mempunyai 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 instalasi yang lebih serba guna. Tipe ini sering dipergunakan untuk manghasilkan jenis produk khusus dengan dimensi yang sangat beragam. Akan tetapi, jenis ini tidak dapat bersaing dengan mesin tandem kontinyu yang melibatkan kemampuan tonase yang besar.

Reduksi total yang dicapai dengan pengerolan dingin, biasanya beragam dari 50 hingga 90%. Dalam menentukan besarnya reduksi pada pas atau tiap stan, sedapat mungkin persentasinya 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 untuk menyusun tahapan pengerolan dingin adalah melakukan pengaturan pada setiap tahapan sedemikian hingga menghasilkan beban pengerolan yang konstan.

Penghilangan titik luluh dari lembaran baja yang dilunakkan (dianil) adalah suatu persoalan praktis yang penting, karena adanya perpanjangan titik luluh akan mengakibatkan ketidakhomogenan deformasi (regangan akibat penarikan) selama penarikan dalam atau pembentukan. Biasanya pada baja anil diterapkan cara-cara reduksi dingin rendah, pengerolan temper untuk menghilangkan perpanjangan titik luluh. Pengerolan temper juga menghasilkan perbaikan permukaan dan kerataan. Metode-metode lain yang dapat digunakan untuk mempertinggi 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<sup>7</sup> puncak dan dasar tidak sebaris. Apabila lembaran logam dimasukkan ke dalam pendatar, maka lembaran ini dibengkokkan ke atas dan ke bawah, dan lembaran lurus pada saat keluar dari rol. Pendatar tarik terdiri atas 2 buah rahang yang memegang pinggiran lembaran dan menegangkannya dengan gaya tegangan tarik murni.

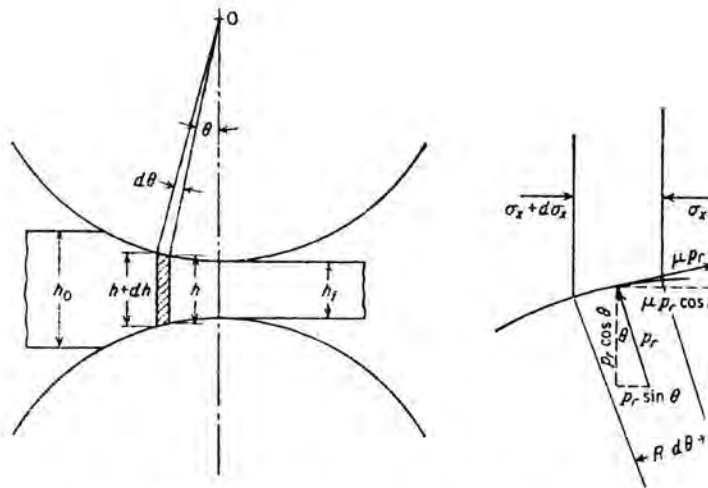
Suatu teori mengenai pengerolan bertujuan untuk menggambarkan gaya-gaya luar, seperti beban pengerolan dan torsi pengerolan, dengan menggunakan besaran-besaran geometri deformasi dan sifat kekuatan bahan yang dirol. Persamaan diferensial untuk keseimbangan elemen bahan yang sedang mengalami deformasi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

- (1) Lengkungan kontak berbentuk lingkaran dan tidak ada deformasi elastik pada rol.
- (2) Koefisien gesekan tetap untuk semua titik pada lengkungan kontak
- (3) Tidak ada penyebaran dalam arah lateral, selungga pengerolan dapat dianggap sebagai persoalan regangan bidang.
- (4) Penampang vertikal tetap datar artinya: deformasi bersifat homogen.
- (5) Kecepatan keliling rol konstan.
- (6) Deformasi elastik lembaran dapat diabaikan terhadap deformasi plastiknya.
- (7) Kriteria luluh energi distorsi, 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 sebarang titik kontak antara strip dan permukaan rol, ditandai oleh sudut  $\theta$ , tegangan-tegangan yang bekerja adalah tekanan radial  $p_r$ , dan tegangan geser tangensial  $\tau = \mu p_r$ . Tegangan-tegangan ini





Gambar 2.4 hubungan geometris elemen yang dideformasi

dapat diuraikan dalam komponen-komponen vertikal dan horisontal (gambar 2.6.b). Selain itu, tegangan  $\sigma_x$  dianggap terdistribusi secara seragam dalam arah vertikal permukaan elemen-elemen tersebut. Tegangan normal pada 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:

$$(\sigma_x + d\sigma_x)(h + dh) + 2\mu p_r R \cos \theta d\theta - \sigma_x h - 2p_r R \sin \theta d\theta = 0$$

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, sementara 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 Karman<sup>r</sup> dan dinamakan sesuai dengan nama beliau yaitu persamaan von Karman.

Gaya yang bekerja pada arah vertikal diimbangi oleh tekanan rol spesifik  $p$ . Keseimbangan gaya pada arah vertikal 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 kriteria luluh energi distorsi untuk regangan bidang,

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

atau  $P - \sigma_x = \sigma_0'$  (Dieter, 1986) (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 Bland dan Ford, sehingga Bland dan Ford dapat mengambil nilai  $\sin \theta \approx \theta$  dan  $\cos \theta \approx 1$ . Jadi Persamaan (2.10) dapat dituliskan sebagai:

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

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

Daerah masukan harga titik netral:

$$p_r = \frac{\sigma_0' h}{h_0} \left( 1 - \frac{\sigma_{xb}}{\sigma_{01}} \right) e^{\mu(H_1 - H)} \quad \text{(Dieter, 1986)} \quad (2.14)$$

Titik netral hingga daerah keluaran:

$$p_r = \frac{\sigma_0' h}{h_0} \left( 1 - \frac{\sigma_{xf}}{\sigma_{02}} \right) e^{\mu H} \quad \text{(Dieter, 1986)} \quad (2.15)$$

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

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 rol spesifik untuk seluruh daerah kontak.

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

di mana  $b$  = lebar lembaran

$\alpha$  = sudut kontak

• Hasil yang terbaik diperoleh dengan cara integrasi grafis meliputi perhitungan titik demi 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

Suatu mesin rol yang dirancang untuk mengerol batang dinamakan mesin rol batang (*bar roll*). Sebagian besar mesin rol pembuat batang dilengkapi dengan bagian untuk memasukkan bilet ke dalam alur dan bagian pembalik untuk membalikkan 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 stan 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 vertikal 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 vertikal 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 permukaan rol  $v$ , sama dengan kecepatan lembaran. Titik ini dinamakan titik netral, atau titik-tanpa pergelinciran (*no-slip point*). Pada gambar 2.3 titik ini dinyatakan sebagai N.

Pada titik A di gambar 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 gaya gesekan berbalik sehingga berfungsi sebagai hambatan terhadap arah gerak lembaran yang meninggalkan rol.

Komponen vertikal  $P_r$  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  $L_p$ .

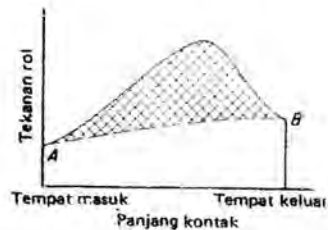
$$L_p = \left[ R(h_o - h_f) - \frac{(h_o - h_f)^2}{4} \right]^{1/2} \approx [R(h_o - h_f)]^{1/2} \quad (\text{Dieter, 1986}) \quad (2.18)$$

Oleh karena itu, besarnya tekanan rol spesifik diberikan oleh

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



Distribusi tekanan rol di sepanjang busur kontak ditunjukkan pada gambar 2.6. Tekanan bertambah besar hingga mencapai harga maksimum pada titik netral



**Gambar 2.6 Distribusi tekanan disepanjang busur**

dan kemudian turun. Kenyataan, bahwa distribusi tekanan tidak berupa puncak yang tajam pada titik netral seperti yang dibutuhkan secara teoretis untuk suatu pengerolan, menunjukkan bahwa titik netral tidak berupa garis pada permukaan rol tetapi berupa luas permukaan. Luas di bawah kurva sebanding dengan beban pengerolan, yang untuk keperluan perhitungan dianggap bekerja pada pusat gravitasi distribusi tekanan. Oleh karena itu, bentuk distribusi tekanan penting, karena letak 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 dan lembaran, sementara daerah di bawah 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 gigit (*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, maka komponen horisontal gaya gesek yang mengarahkan ke celah rol; harus lebih besar atau sama

dengan komponen horisontal gaya normal, yang cenderung untuk menjauhkan benda kerja dari celah rol. Syarat batas untuk memasukkan pelat ke dalam rol, tanpa bantuan gaya luar adalah:

$$\begin{aligned}
 F \cos \alpha &= P_r \sin \alpha \\
 \frac{F}{P_r} &= \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \tan \alpha \\
 F &= \mu P_r
 \end{aligned}$$

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

Benda kerja tidak dapat dimasukkan ke dalam rol, jika garis singgung sudut kontak melebihi koefisien gesekan. Jika  $\mu = 0$ , pengerolan tidak dapat terjadi, tetapi jika nilai  $\mu$  bertambah, slab yang dimasukkan ke dalam rol bertambah besar. Pada pemecahan ingot dengan cara pengerolan panas, di mana 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:

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

di mana  $\Delta h$  = 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 
$$(\Delta h)_{maks} = \mu^2 R \quad (2.21)$$

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  $R'$

$$R' = R \left[ 1 + \frac{CP'}{b(h_o - h_f)} \right] \quad (2.22)$$

di mana  $C = 16(1 - \nu)/\pi E$  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 Pengerolan

Parameter-parameter pengerolan utama adalah diameter rol, hambatan deformasi logam yang tergantung pada struktur metalurgi, suhu, dan 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 di mana timbul peningkatan gesekan. Maka besarnya deformasi rata-rata diberikan oleh

$$\frac{\bar{P}}{\bar{\sigma}'_0} = \frac{1}{Q} (e^Q - 1) \quad (2.24)$$

di mana  $Q = \mu L_p / \bar{h}$  ]

$\bar{h}$  = tebal rata-rata antara masukan dan luaran dari rol

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

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

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

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

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 di mana hambatan deformasi lebih besar dibandingkan tekanan rol yang dapat 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 pengerol 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 selai dibutuhkan untuk menarik logam ke dalam rol. Akan tetapi, gambar 2.6 menunjukkan bahwa bagian terbesar beban pengerolan timbul

akibat gaya gesekan. Kontribusi gesekan 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 lengkungari 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 teknikteknik yang lain. Titik netral adalah lokasi pada lengkungan kontak di mana arah gaya gesek berubah. Dari bidang masukan ke titik netral, gaya gesekan yang terjadi searah dengan rolasi pengerolan, sedangkan di bagian luar dari 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

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

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

di mana  $\mu$  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 dengari kecepatan permukaan rol,  $v_r = R\omega$ . Atau dengan perkataan lain pergelinciran maju (forward slip)  $S_f$  sama dengan nol.

$$S_f = \frac{v_f - v_r}{v_r} \quad (2.27)$$

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

$$S_f = \frac{1}{4} \frac{r}{1-r} \left( 1 - \frac{\alpha}{2\mu} \right)^2 \quad (2.28)$$

di mana  $r = (h_o - h_f)/h_o$  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 baik dapat dihasilkan dengan mengontrol kecepatan rol melepas relatif terhadap kecepatan rol dan tegangan tarik depan diperoleh dengan cara mengontrol penghubung lembaran. Efek tarikan lembaran terhadap pengurangan tekanan rol  $p$  dapat ditunjukkan secara sederhana dari kriteria von Mises untuk regangan bidang.

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \frac{2}{\sqrt{3}} \bar{\sigma}_0$$

$$p - (-\sigma_h) = \frac{2}{\sqrt{3}} \bar{\sigma}_0$$

di mana  $\sigma_h$  adalah tegangan lembaran horisontal dan tegangan-tegangan tekan

dianggap bernilai positif. 
$$p = \frac{2}{\sqrt{3}} \bar{\sigma}_0 - \sigma_h \quad (2.29)$$

Jadi; tekanan rol diperkecil sebanding dengan tegangan tarik pada bidang lembaran. Hal ini akan mengurangi keausan rol dan memperbaiki kerataan dan keseragaman 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  $\bar{\sigma}_0 - \bar{\sigma}_i$ , di mana  $\bar{\sigma}_i$  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 di bawah kurva, walaupun hanya terjadi sedikit pergeseran titik netral. Jika hanya dikenakan tarikan balik, maka titiknetral bergerak ke arah keluaran rol. Bila tegangan keluar cukup tinggi, titik netral dapat berimpit dengan titik bagian keluar rol. Apabila hal ini terjadi, maka rol akan bergerak lebih-cepat dibandingkan logam dan menyebabkan terjadinya pergelinciran 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 untuk operasi mesin tersebut. Dari semua proses-proses pengerjaan logam, pengerolan merupakan proses yang paling cocok untuk dikendalikan secara otomatis, karena proses tersebut pada dasarnya bersifat tetap (steady-state) di mana 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 penggulangan. 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 dan sinar-x atau isotop, pengukuran tebal diperoleh dengan cara memonitor jumlah radiasi yang ditransmisikan melalui lembaran. Prosedur kontrol yang lebih baru mencakup pengontrolan bentuk, di samping 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 tebal awal  $h_0$  akan 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 plastik akan naik gambar 2.13. Beban pengerolan akan naik

dari  $P_1$  menjadi  $P_2$  dan tebal akhir akan bertambah dari  $h_{f2}$  menjadi  $h_{f1}$ . 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.

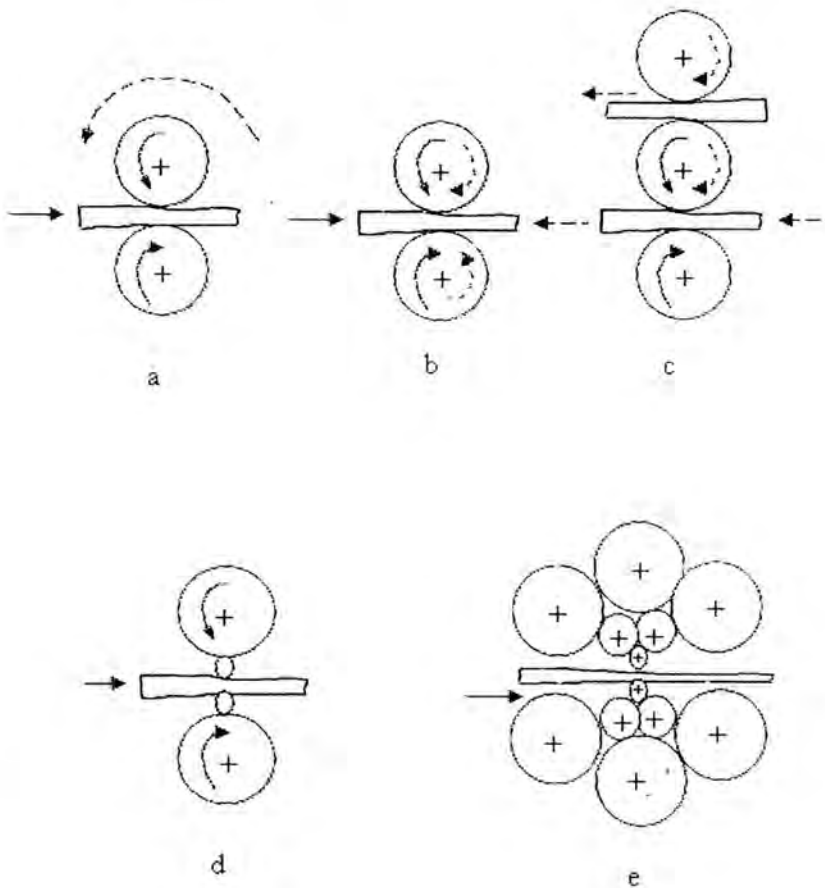
Pada pengerol panas yang kontinyu, tebal strip diukur secara tak langsung dengan cara mengukur beban pengerolan dan menggunakan kurva karakteristik mesin untuk menentukan tebal. Sinyal kesalahan diumpan-balikkan ke ulir mesin rol untuk menentukan posisi baru sehingga kesalahan diperkecil. Suatu pengukur sinar-x, digunakan setelah tahap terakhir untuk memberikan pengukuran mutlak dari tebal lembaran. Pada mesin pengerol dingin kontinyu, 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 GEOMETRI MESIN ROL

Sebagaimana telah dijelaskan pada bagian tujuan perancangan, bahwa jenis mesin rol yang akan dirancang 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, (e) tandem

### 3.2 Komponen-komponen Mesin Rol

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

### 3.3 Prosedur Perancangan

Dalam penyelesaian perancangan ini, penulis membuat suatu prosedur perancangan mengikuti diagram alir dibawah ini :



Gambar 3.2 Diagram Alir Perancangan

- (a) **Pemilihan judul Karya Ilmiah.** Tahapan yang paling awal dari rangkaian perancangan ini adalah pemilihan judul. Adapun judul perancangan ini sesuai dengan yang telah diuraikan pada bagian latar belakang sebelumnya, bahwa



pada perancangan ini penulis ingin memberi kontribusi dalam pengadaan perbaikan unjuk kerja mesin rol yang digunakan pada suatu industri logam. Dalam hal ini mesin rol ini merupakan salah satu jenis mesin produksi yang sangat diperlukan industri logam saat ini.

- (b) **Mesin uji pembanding.** Konstruksi mesin rol yang dirancang dapat diadopsi seperti diperlihatkan pada gambar 3.1.a. yaitu sebuah mesin rol jenis satu tingkat.
- (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 rol tersebut. Analisa ini meliputi pertimbangan bentuk maupun perhitungan dimensi dan selanjutnya pemilihan spesifikasi dari komponen mesin rol tersebut. Pada perancangan ini komponen-komponen yang dianalisa meliputi: perhitungan dan pertimbangan bentuk poros transmisi, 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 rol jenis satu tingkat. Dengan terbentuknya gambar teknik ini, maka selesailah tahapan-tahapan perancangan ini.

## BAB IV

### ANALISA DAN PERHITUNGAN

#### 4.1 Parameter-Parameter pada Pengerolan

##### (a) Beban pengerolan

Parameter-parameter pengerolan utama pada pengerolan antara lain adalah (1) diameter rol, (2) hambatan deformasi logam yang tergantung pada struktur metalurgi, suhu, dan laju regangan, (3) gesekan antara rol dengan benda kerja, (4) tegangan tarik ke depan dan/atau tegangan tarik ke belakang pada bidang lembaran

Untuk lembaran baja yang dirol panas dengan kondisi sebagai berikut : (a) tebal awal 1,5 inchi, (b) diameter rol 36 inchi, (c)  $\mu = 0,3$ , (d) tegangan alir, regangan bidang pada tempat masuk = 20 ksi dan pada tempat keluar celah rol = 30 ksi karena peningkatan kecepatan.

Beban pengerolan dapat dihitung dari perkalian tekanan rol dengan luas daerah kontak antara rol dengan logam. 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. Maka beban pengerolan dapat dihitung dengan persamaan :

$$P = pbL_p = \sigma'_0 b\sqrt{R\Delta h}$$

Dalam hal ini : P = beban pengerolan (kips)

b = lebar pengerolan (inchi)

p = tegangan luluh bahan (ksi)

$L_p$  = panjang proyeksi kontak busur (inchi)

Tegangan luluh untuk kondisi regangan bidang  $\sigma_0^1$  digunakan bila lebar

(b) lembaran tetap. Bila terjadi pelebaran selama pengerolan, maka harus digunakan tegangan luluh uniaksial ( $\sigma_y$ ).

Dari persamaan (2.19), diperoleh persamaan beban pengerolan berupa:

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

dan karena  $L_p \approx \sqrt{R \Delta h}$ , maka :

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

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. 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, maka dalam hal ini diambil  $\mu = 0,3$  dan besaran-besaran lainnya adalah sebagai berikut :

$$\frac{h_0 - h_1}{h_0} \times 100 = 30\% \quad h_1 = 1,50 - 0,45 = 1,05 \text{ in} \quad \Delta h = 0,45 \text{ in}$$

$$\bar{h} = \frac{h_0 + h_1}{2} = \frac{1,50 + 1,05}{2} = 1,275 \text{ in}$$

$$Q = \frac{\mu L_p}{\bar{h}} = \frac{(0,30) \sqrt{18 \times 0,45}}{1,275} = 0,67$$

$$\sigma_0^1 = \frac{20 + 30}{2} = 25 \text{ ksi}$$

$$P = 25 \left[ \frac{1}{0,67} (e^{0,67} - 1) 30 \sqrt{18 \times 0,45} \right] = 25 (121,6) = 3039 \text{ kips}$$

Berdasarkan analogi dengan penekanan regangan bidang:

$$\bar{p} = \sigma_o \left( \frac{a}{2h} + 1 \right) = \sigma_o \left( \frac{L_p}{4h} + 1 \right)$$

$$P = \sigma_o \left( \frac{\sqrt{R\Delta h}}{4h} + 1 \right) b \sqrt{R\Delta h} = 25 \left( \frac{2,846}{4 \times 0,45} + 1 \right) 30 (2,846)$$

$$P = 5509 \text{ kips}$$

Jari-jari rol yang terdeformasi akibat beban:  $R' = R [1 + CP'/[b(h_o - hf)]]$ .

Untuk rol baja,  $C = 3,34 \times 10^{-4} \text{ inci}^2/\text{ton}$ .

Bila  $P' = 1,357 \text{ ton}$ ,

$$R' = 18 \left[ 1 + \frac{3,34 \times 10^{-4} (1357)}{30(0,45)} \right] = 18(1,034) = 18,612 \text{ inci.}$$

$R'$  digunakan untuk menghitung nilai  $P'$  yang baru, maka

$$Q = \frac{0,30 \sqrt{18,612 \times 0,45}}{1,275} = 0,68$$

$$P'' = 25 \left[ \frac{1}{0,68} (e^{0,68} - 1) 30 \sqrt{18,612 \times 0,45} \right]$$

$$= 25(124,3) = 3108 \text{ kips} = 1387 \text{ ton}$$

$$R'' = 18 \left[ 1 + \frac{3,34 \times 10^{-4} (1387)}{30(0,45)} \right] = 18(1,0343) = 18,617 \text{ in}$$

Karena perbedaan antara dua perkiraan  $R'$  tidak besar ( $18,617 - 18,612 = 0,005$  inci), perhitungan tak perlu kita lanjutkan.

**(b) Reduksi.** Reduksi maksimal pada pengerolan dingin setebal 12 inci bila  $\mu = 0,08$  dan diameter rol = 24 inci adalah :

$$\tan \theta_{\text{maks}} = \mu \quad \alpha = \theta_{\text{maks}} = \tan^{-1} (0,08) = 4,6^\circ$$

dari gambar 2.3,  $\sin \alpha = L_p/R = \sqrt{R\Delta h}/R$ ,  $\Delta h = 0,077$  inci.

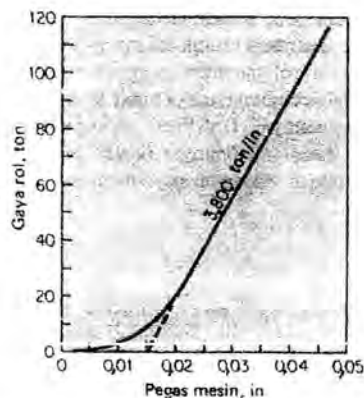
Ternyata bahwa hasil yang sama dapat diperoleh.

$$(\Delta h)_{\text{maks}} = \mu^2 R = (0,08)^2 (12) = 0,077 \text{ in dan untuk pengerolan panas}$$

$$(\Delta h)_{\text{maks}} = (0,5)^2 (12) = 3 \text{ in}$$

## 4.2. Permasalahan dan cacat pada produk Rol

Pada pengerolan dapat terjadi berbagai persoalan yang dapat menimbulkan cacat khusus, tergantung pada interaksi antara benda kerja yang mengalami deformasi secara plastik dan rol serta mesin rol yang berdeformasi secara elastik. Pada kondisi gaya pengerolan yang tinggi; rol akan menjadi datar dan melengkung dan seluruh bagian mesin rol akan mengalami distorsi elastik. Karena adanya pegas mesin (mill spring), maka tebal lembaran yang keluar dari mesin rol lebih besar dibanding celah rol pada saat tidak dipergunakan. Untuk mengerol secara presisi, harus diketahui konstanta elastik mesin rol. Hal ini biasanya diberikan dalam bentuk kurva kalibrasi (gambar 4.1). Konstanta elastik untuk sebagian besar mesin rol beban ulir adalah antara 4.000 hingga 8.000 ton/in, sedang pada mesin dengan pembebanan hidrolis nilai tersebut dapat melebihi 10.000 ton/in.



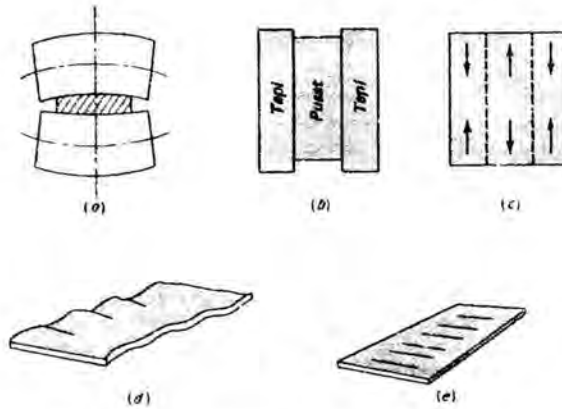
Gambar 4.1 kurna kalibrasi khusus untuk konstanta elastik mesin rol

Perataan elastik pada rol dengan bertambahnya tekanan rol memungkinkan rol berdeformasi secara lebih mudah dibandingkan dengan benda kerja. Jadi untuk suatu bahan dan kondisi pengerolan tertentu, maka akan terdapat tebal minimum, di bawah mana benda kerja tidak dapat dipertipis lagi. Dari penjelasan sebelumnya, dapat dilihat bahwa lembaran-lembaran yang tipis dapat dihasilkan dengan rol-rol berdiameter kecil. Analisis yang lebih lengkap mengenai persoalan di atas menunjukkan bahwa tebal batas kira-kira berbanding lurus dengan koefisien gesekan, jari-jari rol, tegangan alir benda kerja dan berbanding terbalik dengan modulus elastisitas rol. Untuk rol baja, persamaan adalah sebagai di mana satuan yang digunakan adalah pound per inci dan inci. Secara umum, masalah yang berkaitan dengan batas ketebalan akan dialami bila tebal lembaran kurang dari  $\frac{1}{400}$  hingga  $\frac{1}{600}$  dari diameter rol.

Celah rol harus benar-benar sejajar, kalau tidak salah satu sisi lembaran akan mengalami pengurangan tebal lebih besar dibanding yang lain, dan karena volume serta lebar tetap nilainya, maka sisi tersebut akan mengalami perpanjangan melebihi yang lain, sehingga lembaran tersebut akan membengkok. Terdapat 2 aspek yang mempengaruhi bentuk lembaran. Pertama, mengenai tebal seragam pada arah lebar dan panjang. Tebal lembaran dapat diukur secara teliti, dan dapat dikontrol dengan sistem kontrol ukuran otomatis yang moderen. Sitar penting kedua adalah *keadaan datar (kerataan)* lembaran. Sulit untuk menentukan besaran ini secara teliti; khususnya jika lembaran bergerak melalui mesin kontinu pada kecepatan yang tinggi. Proses pengeroian sangat peka terhadap kerataan.



Perbedaan perpanjangan pada lokasi tertentu pada lembaran yang tipis. Gambar 4.2 memperlihatkan bagaimana terbentuknya lembaran berombak (cacat kerataan).



**Gambar 4.2 Akibat-akibat pembengkokan rol yang menghasilkan cacat**

Jika hasil pengerolan melengkung seperti tampak pada gambar 4.2-a, maka pinggiran lembaran akan mengalami perpanjangan yang lebih besar dibanding pada pusat lembaran, maka dikatakan lembaran tersebut mempunyai pinggiran panjang. Jika pinggiran lebih bebas untuk bergerak dibanding pusatnya, maka diperoleh keadaan seperti yang tampak pada gambar 4.2-b. Akan tetapi, lembaran tetap merupakan benda kontinu dan regangan harus diatur untuk menjaga kontinuitas. Akibatnya, bagian pusat lembaran mengalami tegangan tarik dan pinggiran lembaran, mengalami kompresi pada arah pengerolan, gambar 4.2-c. Hasil yang diperoleh biasanya adalah suatu pinggiran yang bergelombang atau pinggiran yang melengkung gambar 4.2-d. Pada keadaan  $\Delta = h/L$  yang lain, distribusi regangan yang dihasilkan oleh pinggiran yang panjang dapat mengakibatkan retakan saling-menutup atau retakan pada pusat lembaran gambar 4.2-e. Penyelesaian nyata mengenai pelengkungan rol adalah dengan membentuk

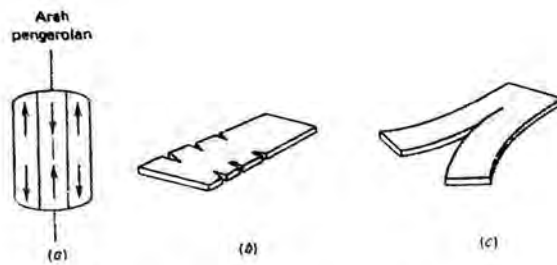
profil rol sejajar dengan sumbunya sedemikian hingga bagian pusat lebih besar dari ujungnya. Jadi jika rol melengkung, maka masih tetap terdapat celah sejajar untuk benda kerja. Pengerol mempunyai bubungan atau gerinda yang sering digunakan. Bubungan juga dapat terjadi akibat ekspansi termal. Prosedur koreksi muncul dari kenyataan bahwa bubungan tepat dari defleksi rol hanya untuk nilai tegangan rol tertentu saja, karena itu tidak efektif bila digunakan untuk keadaan pengerolan yang berbeda. Suatu cara yang lebih baik adalah melengkapi mesin rol dengan suatu dongkrak hidrolik yang memungkinkan distribusi elastik rol mengimbangi defleksi pada saat dilakukan pengerolan. Banyak mesin rol moderen yang dilengkapi dengan alat ini. Jika rol mempunyai bubungan yang terlalu cembung, maka pusat lembaran mengalami perpanjangan lebih besar dibanding pinggirannya. Distribusi regangannya berlawanan dengan gambar 4.2-c dan lembaran dikatakan mempunyai bagian tengah yang longgar dan pinggirannya yang ketat. Lembaran demikian biasanya akan mengandung lengkungan-lengkungan pusat.

Perlu diperhatikan bahwa lembaran-lembaran dengan bentuk cacat yang dihasilkan pada pengerolan panas dan pengerolan dingin, tidak dapat memperbaiki bentuk tadi secara sempurna. Selain itu, persoalan bentuk merupakan masalah utama apabila mengerol sirip-sirip tipis (lebih kecil dari 0,010 inci) karena kesalahan fraksional pada profil celah maldn menonjol dengan menipisnya lembaran dan menghasilkan tegangan-tegangan internal yang besar. Selain itu lembaran yang sangat tipis, kurang tahan terhadap lengkungan. Persoalan-persoalan bentuk yang tidak terlalu berat dapat diperbaiki dengan cara penarikan rentang (stretch leveling) lembaran dengan suatu rol kendali di antara stan, atau dengan melengkungan lembaran pada rol pelurus (roller-leveler). Anjuran untuk menggunakan rol fleksibel pada mesin pengerol untuk

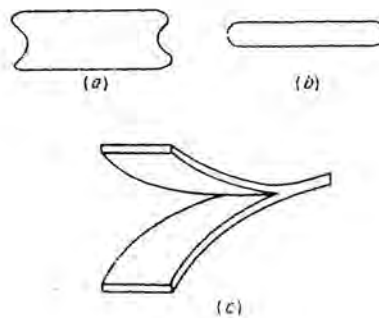
memperbaiki bentuk yang salah, telah dilakukan dan telah diawali pada suatu analisis mekanik mengenai bentuk dan kerataan.

Persoalan-persoalan yang berkaitan dengan bentuk dan kerataan diakibatkan oleh deformasi yang tidak homogen pada arah pengerolan. Bentuk lain dari ketidakhomogenan deformasi dapat mengakibatkan *retakan*. Pada saat benda kerja melalui rol, seluruh elemen pada arah melebar menunjukkan adanya kecenderungan untuk mengalami perpanjangan lateral (tegak lurus pada arah pengerolan). Kecenderungan untuk menyebar ke arah lateral dihambat oleh gaya-gaya gesek transversal. Oleh bukit gesekan, maka gaya gesekan tersebut lebih tinggi pada arah ke-pusat lembaran, sehingga elemen-elemen pada daerah pusat mengalami penyebaran lebih kecil dibanding elemen-elemen dekat tepi. Karena pengurangan tebal pada bagian pusat, maka lembaran mengalami pertambahan panjang, sementara sebagian pengurangan tebal pada pinggiran akan menyebar ke arah lateral, lembaran dapat mengalami sedikit pembulatan pada ujung-ujungnya gambar 4.3-a. Dari hubungan kontinuitas antara pinggiran-pinggiran dan pusatnya, maka pinggiran lembaran mengalami regangan, suatu kondisi yang menimbulkan retakan tepi gambar 4.3-b. Pada beberapa keadaan tertentu, distribusi regangan seperti yang terlihat pada gambar 4.3-a, dapat mengakibatkan pembelahan pusat lembaran gambar 4.3-c.

Retakan tepi dapat juga diakibatkan oleh deformasi yang tidak homogen pada arah tebal. Apabila kondisi pengerolan sedemikian hingga hanya permukaan benda kerja yang terdeformasi (seperti yang terjadi pada reduksi kecil slab yang tebal), penampang lintang lembaran yang terdeformasi seperti pada gambar 4-4-a. Pada waktu melalui celah rol, bahan-bahan bagian tepi tidak mengalami



Gambar 4.3 cacat yang diakibatkan oleh penyebaran lateral



Gambar 4.4 distribusi tepi

tekanan langsung, tetapi dipaksa mengalami perpanjangan oleh bahan yang berdekatan sekitar pusat lembaran. Dengan demikian terjadi tegangan tarik sekunder tinggi yang menimbulkan retak tepi. Tipe retakan demikian terjadi pada awal pengerolan ingot pada pengerolan panas, di mana telah diketahui bahwa deformasi tepi, seperti yang terlihat pada gambar 4.4-a terjadi apabila  $h/L_p > 2$ . Untuk reduksi yang besar, deformasi meluas pada arah tebal lembaran, sehingga pusat lembaran cenderung mengalami perpanjangan lateral yang lebih besar daripada permukaan, membentuk tepi-tepi bentuk tong mirip dengan yang terdapat pada penekanan silinder gambar 4.4-b. Tegangan tarik sekunder<sup>f</sup> yang timbul akibat pembentukan tong merupakan penyebab timbulnya retakan tepi. Dengan tipe deformasi lateral demikian, menyebabkan permukaan berada dalam

keadaan tarik dan pusat pada keadaan tekan. Distribusi tegangan ini juga terdapat dalam arah pengerolan, dan jika ada bagian-bagian yang secara metalurgis lemah di sepanjang garis pusat, patah mungkin akan terjadi di bagian yang lemah tadi gambar 4.4-c. Tipe kepatahan *pembilahan* mungkin jika ada ikalan lembaran akibat salah satu bagian rol lebih tinggi atau lebih rendah dibanding celah rol.

Retakan tepi dapat ditekan pada pengerolan komersial dengan menggunakan rol tepi vertikal yang akan menjaga agar tepi tetap lurus, sehingga mencegah penumpukan tegangan tarik sekunder akibat pembentukan tong tepi. Karena sebagian besar mesin rol di laboratorium tidak mempunyai rol tepi, digunakan suatu metode sederhana, tetapi yang membutuhkan waktu yang cukup banyak untuk mencegah terjadinya retakan yaitu dengart pemesinan sehingga tepi-tepinya tetap tegak lurus setelah setiap tahap. Suatu prosedur yang lebih baik adalah melengkapi mesin rol dengan batang-batang pembatas-tepi. Bahan-bahan dengan ketelitian yang rendah dapat dirol tanpa terjadi retakan yang berlebihan melapisi semua sisi yang dirol dengan bahan yang mempunyai tegangan  $\sigma_L$  serupa dengan benda kerjanya. Bahan pelapis memperkecil tegangan termal, membatasi gerakan pinggiran dan memperbesar tingkat kompresi hidrostatik.

Cacat-cacat lain selain retakan terjadi selama dilakukan tahapan pembuatan ingot atau selama pengerolan. Cacat-cacat dalam, seperti terjadinya celah-celah disebabkan oleh pengelasan rongga yang tak sempurna dan lubang-lubang tiup. Untaian memanjang terdiri dari inklusi bukan logam atau pita-pita perlit di dalam baja yang diakibatkan oleh cara pengecoran dan pembekuan. Pada kasus yang parah, cacat-cacat tersebut di atas mengarah ke laminasi dan dapat mengurangi kekuatan dalam arah tebal secara drastis. Karena produk rol biasanya mempunyai

perbandingan permukaan-terhadap-volume yang tinggi, kondisi permukaan dalam setiap tahapan produksi merupakan hal yang sangat penting. Sebagai usaha untuk menjaga kualitas yang tinggi, permukaan bilet harus dibersihkan dengan menggunakan gerinda, serpih, atau dibakar dengan nyala oksigen untuk menghilangkan cacat-cacat permukaan, misal: kampuh, keriput (seam), dan konengan (scab). Goresangoresan yang disebabkan oleh rol atau pengantar yang sempurna, tidak boleh terjadi pada lembaran-lembaran hasil pengerolan dingin. Kadang-kadang persoalan yang timbul adalah cara menghilangkan pelumas pengerolan atau terjadinya warna yang tidak diinginkan setelah perlakuan panas.

### **Torsi dan Daya Kuda**

Daya diterapkan pada mesin rol melalui torsi dan tegangan tarik strip. Pada prinsipnya daya digunakan untuk 4 hal yaitu (1) energi yang diperlukan untuk deformasi logam (2) energi yang diperlukan untuk mengatasi gaya-gaya gesekan pada bantalan, (3) energi yang hilang pada pinyon dan sistem transmisi daya, dan (4) energi listrik yang hilang pada berbagai motor dan generator. Kerugian energi rol penggulung dan rel pelepas harus pula diperhitungkan.

Beban pengerolan total terdistribusi pada lengkungan kontak sesuai dengan distribusi tekanan bukit gesekan. Namun beban pengerolan total dapat diasumsikan terkonsentrasi pada suatu titik di busur kontak pada jarak  $a$  dari garis pusat rol. Pada perhitungan torsi, persoalan utama terletak pada caranya menentukan lengan momen. Perhatikan perbandingan antara lengan momen  $a$  dan panjang proyeksi busur lengkungan kontak. Untuk pengerolan panas umumnya  $\lambda = 0,5$  dan untuk pengerolan dingin  $\lambda = 0,45$ .



$$\lambda = \frac{a}{L_p} = \frac{a}{[R(h_0 - h_f)]^{1/2}} \quad (4.1)$$

Besarnya torsi sama dengan beban pengerolan total dikalikan dengan lengan momen efektif, dan karena terdapat dua buah rol kerja, maka besarnya torsi diberikan oleh :

$$M_t = 2Pa \quad (4.2)$$

Dalam satu putaran rol atas, resultante beban pengerolan P bergerak sepanjang keliling lingkaran yang sama dengan  $2\pi a$  gambar 17-16). Karena terdapat dua buah rol kerja, maka kerja yang dilakukan adalah

$$\text{Kerja} = 2(2\pi a)P \text{ ft-lb} \quad (4.3)$$

Karena daya kuda (dk) didefinisikan sebagai laju perubahan kerja pada 33.000 fi-lb/menit, maka daya kuda yang dibutuhkan untuk menggerakkan pasangan rol dengan putaran N rpm diberikan oleh.

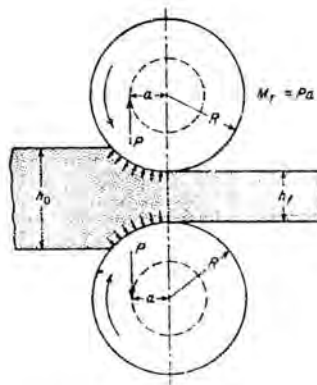
$$dk = \frac{4 \pi a P N}{33.000} \quad (4.4)$$

Pada sistem satuan SI daya dinyatakan dalam kilowatt sehingga rumusnya

menjadi:

$$kW = \frac{4 \pi a P N}{60.000} \quad (4.5)$$

di mana satuart P adalah Newton, a dalam meter dan N adalah putaran per menit (rpm). Persamaan di atas menyatakan daya kuda yang dibutuhkan untuk deformasi logam sewaktu logam mengalir melalui celah rol. Daya kuda yang dibutuhkan untuk mengatasi gesekan pada bantalan dan pinyon, harus ditentukan secara terpisah.



Gambar 4.5 diagram skematik menggambarkan torsi!

Persamaan dasar yang sama untuk daya kuda berlaku juga untuk pengerolan panas. Dengan catatan bahwa untuk menentukan lengan momen efektif pada pengerolan panas tidak dapat digunakan rumus yang berlaku untuk pengerolan dingin. Suatu prosedur untuk menentukan lengan momen pada pengerolan panas yang didasarkan pada penelitian Simsa diuraikan secara terinci oleh Larke. Meskipun perhitungan-perhitungannya sederhana tidak akan diuraikan di sini. Misalkan suatu strip paduan aluminium, lebar 12 inci, dirol panas sehingga tebal awal sebesar 0,80 inci menjadi 0,60 inci. Diameter rol adalah 40 inci dan kecepatan perputarannya 100 rpm. Tegangan alir uniaksial untuk paduan aluminium ditentukan oleh rumus:  $\sigma = 20\varepsilon^{0.2}$  (ksi). Tentukan besar beban rol dan daya kuda yang diperlukan untuk reduksi panas ini.

$$\varepsilon_1 = 1n \left( \frac{0,80}{0,60} \right) = 0,288 \quad r = \frac{0,80 - 0,60}{0,80} = 0,25 \quad R/h_f = \frac{20}{0,60}$$

$$\bar{\sigma}_0 = \frac{k \int_0^{\varepsilon_1} \varepsilon^n d\varepsilon}{\varepsilon_1} = \frac{k\varepsilon^{n+1}}{\varepsilon_1(n+1)} \Big|_0^{\varepsilon_1} = \frac{k\varepsilon_1^{n+1}}{\varepsilon_1(n+1)} = \frac{k\varepsilon_1^n}{n+1}$$

$$= \frac{20(0,288)^{0.2}}{1,2} = 13 \text{ ksi}$$

dari persamaan (2.19) dapat dihitung

$$\text{Beban rol : } P = \frac{2}{\sqrt{3}} (13)(12) [20(0,80 - 0,60)]^{1/2} (1,5) = 540 \text{ kips}$$

Daya kuda :

$$dk = \frac{4\pi aPN}{33.000} \quad a = 0,5\sqrt{R\Delta h} = 0,5\sqrt{20 \times 0,2} = 1 \text{ in}$$

$$a = \frac{1}{12} \text{ ft} = 0,083 \text{ ft}$$

$$dk = \frac{4\pi (0,083)(540.000)(100)}{33.000} = 1706 \text{ dk}$$

#### 4.4. PEMILIHAN POROS UTAMA

Poros merupakan salah satu bagian yang penting dari setiap peralatan mesin. hampir semua poros meneruskan daya bersamaan dengan putaran dari satu komponen mesin ke suatu komponen lainnya.

##### (1) Klasifikasi Poros

Berdasarkan jenis pembebanannya poros dapat dikelompokkan menjadi :

- (a) **Poros Transmisi.** Poros transmisi adalah poros yang berfungsi untuk memindahkan daya dan putaran, dimana poros transmisi ini dikenai beban puntir murni, atau dikenai beban gabungan antara beban puntir murni dan beban lentur. Poros transmisi ini menerima daya dan putaran atau memberi daya dan putaran melalui kopling, roda gigi, puli atau sproket.
- (b) **Spindel.** Spindel yaitu poros transmisi yang relatif pendek, seperti poros utama pada mesin perkakas. Pada jenis poros ini beban utamanya adalah beban puntir. Persyaratan yang dipenuhi poros ini adalah deformasinya kecil dan bentuk serta ukurannya harus teliti.

(c) **Gandar.** Poros ini biasanya dipasang antara roda- roda kereta barang dimana tidak mendapat beban puntir, bahkan kadang-kadang tidak boleh berputar .Gandar ini hanya mendapat beban lentur kecil jika digerakkan oleh penggerak mula dimana akan mengalami beban puntir.

**(2) Diameter Poros Rol**

Poros utama merupakan bagian yang sangat penting dalam suatu mesin, sehingga diperlukan perhitungan yang teliti dan benar. Diameter poros dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$d = \left[ \frac{5,1}{\tau_g} \cdot K_t \cdot C_b \cdot T \right]^{1/3} \dots\dots\dots(\text{Sularso, 1987})$$

dimana:

$K_t$  = faktor koreksi, karena dimungkinkan terjadinya kejutan dan tumbukan

$$= (1,5 \div 3,0) = 3,0 \text{ (diambil)}$$

$C_b$  = faktor koreksi, karena dimungkinkan terjadi pemakaian dengan beban lentur

$$C_b = (1,2 \div 2,3) = 2,3 \text{ (diambil)}$$

$d$  = diameter poros

$T$  = momen torsi

$\tau_g$  = tegangan geser yang diijinkan

Selanjutnya terlebih dahulu kita tentukan daya rencana. Daya rencana dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$P_d = f_c \cdot P \text{ (kW)} \dots\dots\dots(\text{Sularso, 1987.})$$

dimana :

$f_c$  = faktor koreksi untuk daya

$f_c = (0,8 \div 1,2)$  untuk daya maksimum

$f_c = 1,2$  (direncanakan )

sehingga daya rencana adalah :

$$P_d = 1,2 \times 2,0 \text{ Kw} = 2,4 \text{ Kw}$$

Sedangkan momen torsi yang terjadi dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} T &= 9,74 \cdot 10^5 \cdot \frac{Pd}{nl} \\ &= 9,74 \cdot 10^5 \cdot \frac{2,4}{800} \\ &= 2191 \text{ kg. mm} \end{aligned}$$

Bahan poros diambil S45C dengan kekuatan tarik maksimum ( $\sigma_b=58\text{kg/mm}^2$ ) dari tabel JIS G 3123.

$$\tau_g = \frac{\sigma_b}{s_{f1} \cdot s_{f2}} \dots\dots\dots \text{(Sularso, 1987.)}$$

dimana :

$s_{f1}$  = faktor koreksi pengaruh massa dan kelelahan, untuk  
baja paduan  $s_{f1} = 6$

$s_{f2}$  = faktor koreksi untuk pengaruh kekasaran permukaan

$s_{f2} = (1,3 \div 3,0) = 3,0$  (direncanakan )

maka :

$$\tau_g = \frac{58}{6 \times 3,0} \text{ kg / mm}^2 = 3,22 \text{ kg / mm}^2$$

sehingga diameter poros dapat dihitung :

$$d_s = \left[ \frac{5,1}{\tau_g} K_t C_h T \right]^{1/3}$$

$$= \left[ \frac{5,1}{\tau_g} \cdot 3,0 \cdot 2,3 \cdot 2191 \right]^{1/3}$$

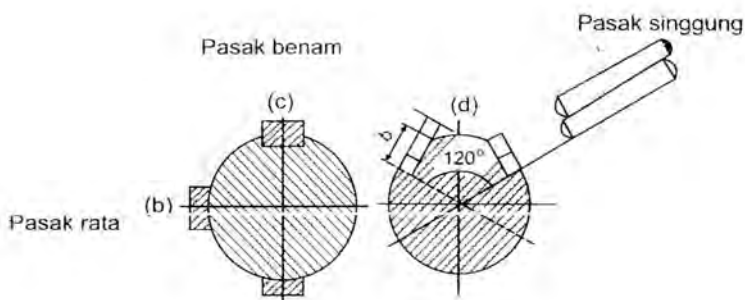
$$= 31,29 \text{ mm} \approx 31,5 \text{ mm (standar poros)}$$

#### 4.5. PERANCANGAN PASAK

Pasak adalah suatu elemen mesin yang digunakan untuk menetapkan bagian-bagian mesin seperti; roda gigi, sproket, puli, kopling, dll, pada poros. Momen diteruskan dari poros ke naaf atau dari naaf ke poros. Pasak pada umumnya dapat digolongkan atas beberapa macam dari letaknya pada poros dapat dibedakan antara pasak pelana, pasak rata dan pasak singgung, yang pada umumnya berbentuk persegi empat. Dalam arah memanjang dapat berbentuk prismatis atau berbentuk tirus.

Jika momen torsi rencana pada poros adalah T (kgmm) dan diameter poros adalah  $d_s$  (mm) maka gaya tangensial F (kg) pada permukaan poros dapat dihitung dengan persamaan:

$$F = \frac{T}{d_s/2} \dots\dots\dots(\text{Sularso,1987}).$$



Gambar 4.2. Beberapa jenis pasak



dimana :

F = gaya tangensial

T = momen torsi = 2191 kgmm

ds = diameter poros = 31,5 mm

$$F = \frac{2191 \text{ kg.mm}}{31,5 \text{ mm} / 2}$$
$$= 139,1 \text{ kg}$$

Sedangkan tegangan geser yang terjadi pada pasak dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\tau_{ka} = \tau_{ka} = \frac{\sigma_b}{s_{f1} \times s_{f2}}$$

dimana :

$\tau_{ka}$  = tegangan geser ijin

$\sigma_b$  = kekuatan tarik bahan pasak

= 52 kg / mm<sup>2</sup> untuk baja S50C

$s_{f1}$  = faktor koreksi akibat kelelahan = 6

$s_{f2}$  = factor koreksi akibat pengaruh kekasaran permukaan

= (1,5 ÷ 3) untuk tumbukan ringan secara tiba – tiba

= 2 (direncanakan )

maka :

$$\tau_{ka} = \frac{52}{6 \times 2} = 4,3 \text{ kg/mm}^2$$

Dari hasil perhitungan diameter poros dapat diambil ukuran penampang pasak dari poros dan pasak. Untuk diameter poros ds = 31,5 mm, maka didapat :

- Ukuran nominal pasak  $b \times h = 10 \times 8$
- tekanan permukaan yang diijinkan =  $8 \text{ kg/mm}^2$
- Panjang pasak yang aktif  $l_k = 25 \text{ mm}$ , direncanakan
- $l_k/d_s = \frac{25}{31.5} = 0,817 : (0,75 < 0,817 < 1,5) \rightarrow \text{baik}$
- Bahan pasak S 50 C

#### 4.6 PERANCANGAN BANTALAN

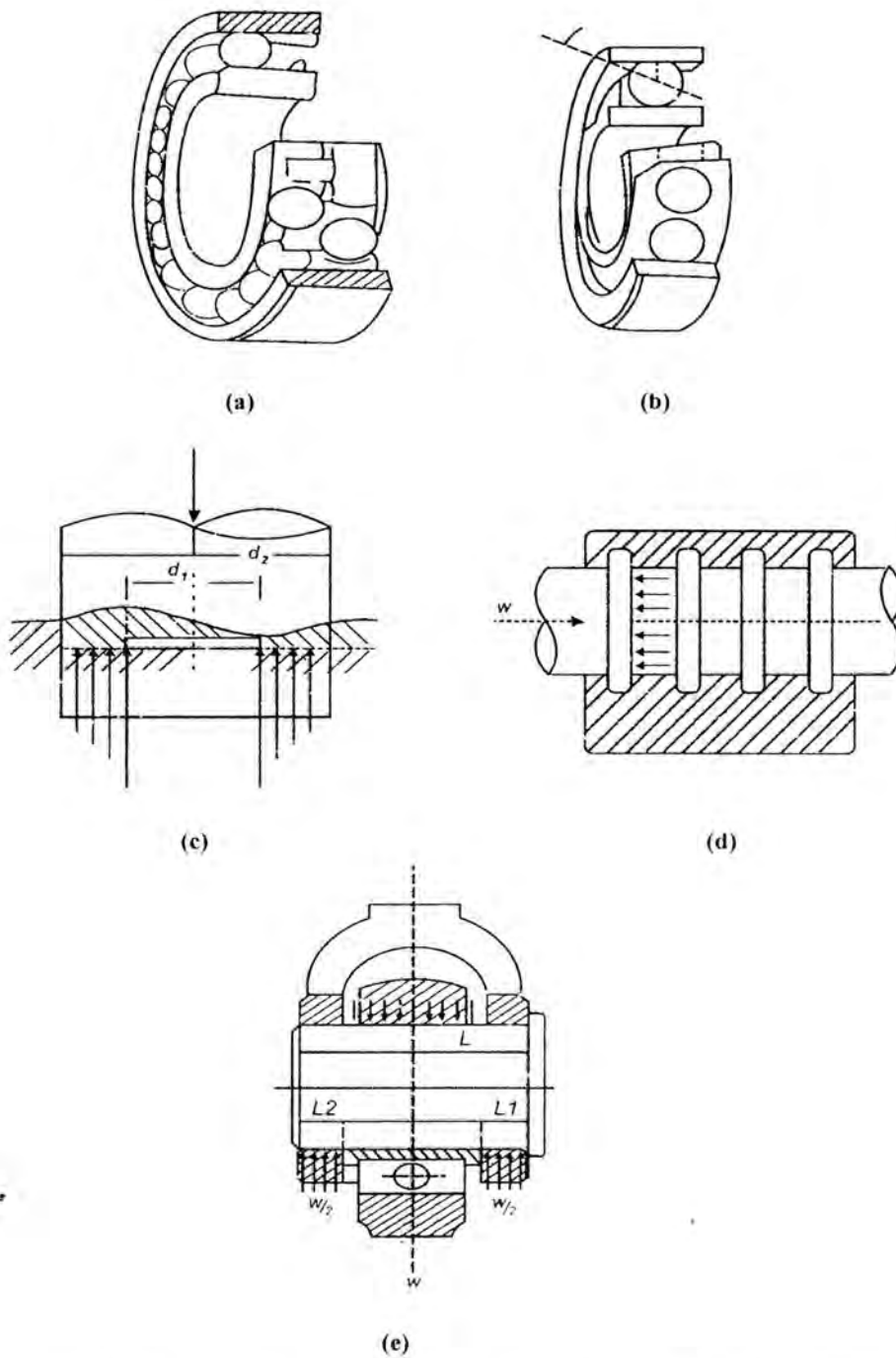
Bantalan adalah elemen mesin yang menumpu poros berbeban sehingga putaran atau gerak bolak-balik dapat langsung secara halus, aman dan umur pemakaian poros lebih lama. Bantalan harus cukup kokoh untuk memungkinkan poros atau elemen mesin lainnya bekerja dengan baik jika bantalan tidak berfungsi dengan baik maka prestasi seluruh sistem akan menurun dan tidak dapat bekerja dengan baik.

##### (1) Klasifikasi Bantalan

Bantalan dapat di klasifikasikan sebagai berikut :

Atas gerak bantalan terhadap poros terdiri dari : (1) bantalan luncur. Pada bantalan ini terjadi gerakan luncur antar poros dengan bantalan karena itu permukaan bantalan diberi perantara dengan lapisan pelumas.(2) Bantalan gelinding. Pada bantalan ini terjadi gerakan gelinding antara bagian yang berputar dengan bagian yang diam melalui elemen gelinding seperti bola, rol atau jarum dan rol bulat.

Atas dasar arah dan beban terhadap poros. (1) Bantalan radial. Pada bantalan ini arah beban yang ditumpu bantalan ini tegak lurus dengan sumbu poros. (2) Bantalan aksial. Arah beban bantalan ini sejajar dengan sumbu poros, (3).Bantalan gelinding khusus. Bantalan ini dapat menumpu beban yang arahnya sejajar dan tegak lurus dengan sumbu poros .



**Gambar 4.4** beberapa jenis bantalan, (a) bantalan gelinding dua baris, (b) bantalan gelinding satu baris, (c) bantalan luncur aksial vertical, (d) bantalan luncur aksial horizontal, dan (e) bantalan luncur radial

## (2) Perhitungan Bantalan

(a) **Bantalan penggantung benda uji.** Dalam menentukan spesifikasi bantalan, ukuran diameter dalam sebuah bantalan telah ditentukan sesuai dengan ukuran spesimen, untuk pembebanan nyata dipakai persamaan :

$$F = x Fr + y Fa \dots\dots\dots(Suliarso)$$

dimana :  $F$  = beban nyata (kg)

$Fr$  = beban radial (kg)

$Fa$  = beban aksial (kg)

$X$  = Faktor radial dalam bantalan

$Y$  = Faktor aksial dari bantalan

Dalam hal ini beban maksimum pada bantalan  $F = 42$  kg, (beban maksimum yang diinginkan), maka beban dinamis pada bantalan dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$C = \frac{fh}{fn} \times F$$

dimana :

$$fh = \sqrt[3]{\frac{L}{500}} \quad L = \text{lama pemakaian bantalan}$$

= 50.000 jam (direncanakan )

$$fh = \sqrt[3]{\frac{50.000}{500}}$$

$$fh = 4,461$$

Dengan memakai tabel umur bantalan permesinan maka :

$$fh = \sqrt[3]{\frac{33,3}{n}}$$

dimana :  $n = \text{putaran poros utama}$   
 $= 800 \text{ rpm}$

Jadi  $f_n$  dapat dihitung :

$$f_n = \sqrt[3]{\frac{33,3}{800}} \text{ atau } f_n = 0,346$$

dengan demikian :

$$C = \frac{4,641}{0,346} \times 42 \text{ kg}$$

$$C = 563,40 \approx 6,35 \text{ kg}$$

Maka dapat diambil dari tabel nomor bantalan sesuai dengan harga  $C = 635 \text{ kg}$ , adalah 6300 zz dipakai 2 sekat. Dengan data data sebagai berikut :

$$d = 17 \text{ mm}$$

$$D = 35 \text{ mm}$$

$$B = 10 \text{ m}$$

$$R = 1,5 \text{ mm}$$

#### (b) Perhitungan bantalan utama

Dari persamaan diatas dapat diambil perhitungan beban yang sebenarnya yang terjadi pada bantalan poros utama :

$$F_o = x F_r + y F_a$$

dimana :

$F_r = \text{ gaya radial yang terjadi}$

$$F_r = \frac{T}{0,5 \times d} (\text{kg})$$

$$d = \text{Diameter poros} = 31,5 \text{ mm}$$

$$Fr = \frac{1609 \text{ kg} / \text{mm}}{0,5 \times 31,5 \text{ mm}}$$

$$Fr = 102 \text{ kg}$$

$Fa$  = Gaya aksial yang terjadi

Dapat dihitung dengan persamaan :

$$Fa = Fr \times \frac{Fa}{Co} (\text{kg})$$

Dimana :  $\frac{Fa}{Co}$  = diambil dari tabel faktor

$$= 0,11 \text{ ( dari tabel )}$$

maka:  $Fa = 120 \text{ kg} \times 0,56$

$$Fa = 57,12 \text{ kg}$$

Maka beban yang sebenarnya yang terjadi pada bantalan (F), dapat dihitung dengan mengambil hasil perhitungan diatas dan faktor x dan y diambil dari tabel beban radial.

$$Fo = 0,6 \times 102 + 0,5 \times 57,12$$

$$Fo = 84,76 \text{ kg}$$

Sehingga dari hasil  $C0 = 1530 \text{ kg}$ , maka diambil Nomor bearing 6206 (berdasarkan hasil  $Co$  dari tabel )

$$d = 30 \text{ mm}$$

$$D = 62 \text{ mm}$$

$$B = 16 \text{ mm}$$

$$R = 1,5 \text{ mm}$$



Dari hasil perhitungan diatas maka dapat dihitung momen lentur dan gaya geser yang terjadi pada poros utama dengan terlebih dahulu mensubsitusikan satuan kilogram (kg) kedalam satuan newton (N).

$$F = \text{Beban maksimal} = 42 \text{ kg}$$

$$= 42 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}$$

$$= 412 \text{ N}$$

$$F_o = \text{Beban nyata yang terjadi pada bantalan / beban radial}$$

$$= 89,76 \text{ kg} = 89,76 \cdot 9,81 \text{ m/s} = 880 \text{ N}$$

$$F_p = \text{Beban pada sabuk pully} = 10,2 \text{ kg}$$

$$= 10,2 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s} = 100 \text{ N}$$

Maka dari hasil yang didapat melalui perhitungan  $F_p = 100 \text{ N}$

## **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 sitem puly.

#### **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 suatu mesin rol 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. Sularso, Suga, K.,1997,"**Dasar Perencanaan Dan Pemilihan Elemen Mesin**", Jakarta, Pradya Paramitha.

