

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Aluminium

Aluminium merupakan salah satu logam *non-ferro* yang banyak dipakai manusia dalam kehidupan sehari-hari dan sekarang pemakaiannya kian diminati untuk berbagai aplikasi, juga dimasa mendatang, sehingga kadang-kadang aluminium disebut juga sebagai logam masa depan atau *the future metal* (Notosuwarso, K.L.H, 2003 : 7). Aluminium murni didapatkan dari hasil ekstraksi bauksit melalui proses elektrolisis. Aluminium dengan lambang unsur Al, memiliki karakteristik : ringan, lunak, mengkilap, berwarna putih keperakan, termasuk dalam golongan IIIA dalam tabel berkala, titik leleh 660 °C, dan titik didih 2467 °C (Daintith, John, 1999 : 22).

Logam aluminium murni dapat ditempa, tahan korosi, penghantar panas dan listrik yang baik, sehingga aluminium banyak digunakan dalam bentuk batang masif, pipa, pelat, pita, kawat (kawat listrik) dan lembaran tipis (untuk pembungkus kondensator dan isolasi panas). Bila dicor cetak digunakan untuk rotor sangkar bajing dari motor AC. (Niemann, G. 1994 : 103). Untuk memperbaiki sifat mekanik dari aluminium murni, dewasa ini aluminium diubah dalam bentuk *alloy* dengan logam lain diantaranya : magnesium, tembaga, mangan, silikon, seng, dan lain-lain.

2.1.1 Aluminium dan Paduannya

Paduan aluminium dapat meningkatkan kekuatan, ketahanan terhadap korosi, penghantar panas dan listrik. Sehingga paduan aluminium relatif lebih banyak digunakan dibanding dengan aluminium murni. Pemakaian paduan aluminium dapat dikelompokkan sebagai berikut :

1. *Decorative* : peralatan rumah tangga, ornamen rumah dan bahan cat.
2. *Electrical* : kabel listrik dan baterai.
3. *Mechanical* : lapisan kulit pesawat, mobil, kapal laut, velg, dan lain-lain.

Berdasarkan standar yang dibuat oleh *Aluminium Association* di Amerika (AA), aluminium dapat diklasifikasikan menjadi 7 jenis sesuai dengan paduan utama dari aluminium tersebut. Secara sederhana pengklasifikasian dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1. Klasifikasi paduan aluminium tempaan

Standar AA	Standar Alcoa terdahulu	Keterangan
1001	1S	Al murni 99,5% atau lebih
1100	2S	Al murni 99,0% atau lebih
2010-2029	10S-29S	Unsur paduan utama Cu
3003-3009	3S-9S	Unsur paduan utama Mn
4030-4039	30S-39S	Unsur paduan utama Si
5050-5086	50S-69S	Unsur paduan utama Mg
6061-6069		Unsur paduan utama Mg ₂ Si
7070-7079	70S-79S	Unsur paduan utama Zn

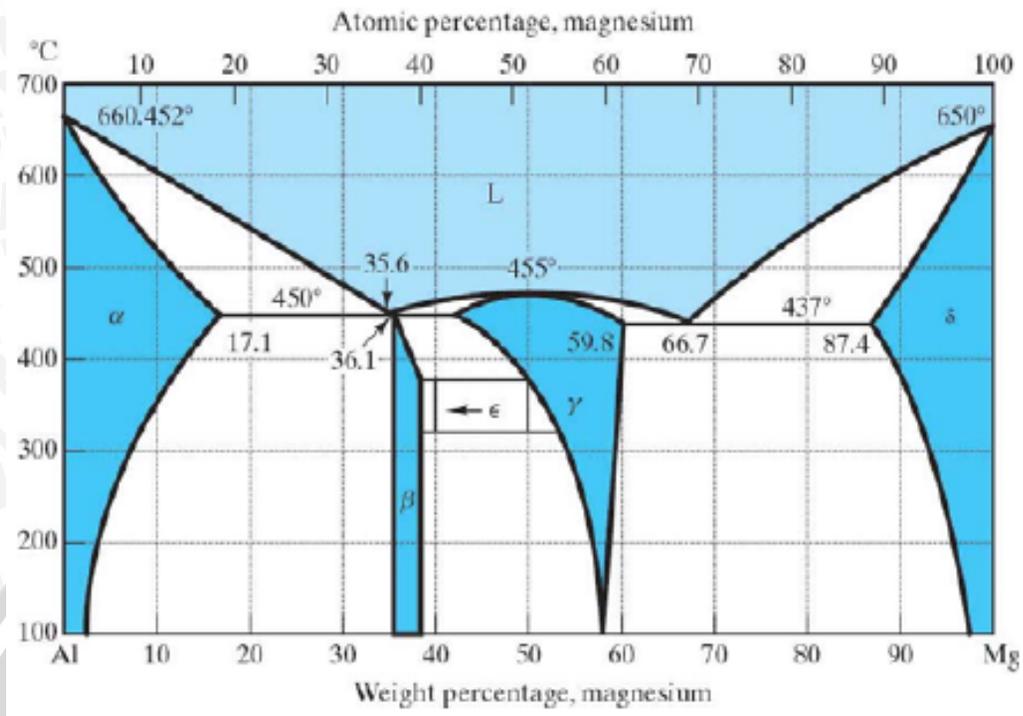
Sumber : Surdia, Tata, 2003 : 135

Standar AA menggunakan penandaan dengan 4 angka dengan penjelasan sebagai berikut:

1. Angka pertama menyatakan sistem paduan, sesuai unsur-unsur paduan yang ditambahkan, yaitu : 1:Al murni, 2:Al-Cu, 3:Al-Mn, 4:Al-Si, 5:Al-Mg, 6:Al-Mg-Si, 7:Al-Zn.
2. Angka kedua menyatakan kemurnian dalam paduan yang dimodifikasi dan Al murni.
3. Angka ketiga dan keempat dimaksudkan untuk angka pada standar Alcoa (*Aluminium Company of America*) terdahulu kecuali S. Contoh : 3S sebagai 3003 dan 63S sebagai 6063. Al dengan kemurnian 99,0% atau di atasnya dengan ketidakmurnian terbatas (2S) dinyatakan sebagai 1100.

2.1.2 Paduan Aluminium dan Magnesium

Paduan Al – Mg lebih sulit dituang, tetapi sangat tahan korosi (juga tahan air laut) dan dengan 5 % Mg sampai dengan 7 % Mg mempunyai daya tahan panas yang baik (misalnya digunakan untuk kop silinder) (Niemann, G. 1994 : 105).



Gambar 2.1. Diagram Phase Al – Mg
(sumber : Bowles, A. L. dan Caceres, C. H. 2003)

Dalam paduan biner Al-Mg satu fasa yang ada dalam keseimbangan dengan larutan padat Al adalah larutan padat yang merupakan senyawa antar logam yaitu Al_3Mg_2 . Sel satuannya merupakan hexagonal susunan rapat (*cph*) tetapi juga ada dilaporkan bahwa sel satuannya merupakan kubus berpusat muka (*fcc*) rumit. Titik eutektiknya adalah 450 °C, 35%Mg dan batas kelarutan padatnya pada temperatur eutektik adalah 17,4% Mg, yang menurun pada temperatur biasa sampai kira-kira 1,9% Mg, jadi kemampuan penuaan dapat diharapkan. Senyawa β mempunyai masa jenis yang rendah dan mudah teroksidasi, oleh karena itu biasanya ditambahkan sedikit flux dari Be, sebagai contoh 0,004%.

Paduan Al-Mg mempunyai ketahanan korosi yang sangat baik, sejak lama disebut *hidronalium* dan dikenal sebagai paduan yang tahan korosi. Cu dan Fe sangat berbahaya bagi ketahanan korosi, terutama Cu sangat memberikan pengaruhnya. Maka perlu perhatian khusus terhadap tercampurnya unsur pengotor.

Paduan dengan 2-3% Mg dapat mudah ditempa, dirol dan diekstruksi, dan paduan 5052 adalah paduan yang biasa dipakai sebagai bahan tempaan. Paduan 5056, adalah paduan yang paling kuat dalam sistim ini, dipakai setelah dikeraskan oleh pengerasan regangan apabila diperlukan kekerasan tinggi. Paduan 5083 yang dianil

adalah paduan antara (4,5% Mg) kuat dan mudah dilas, oleh karena itu sekarang dipakai sebagai bahan untuk tangki LNG (Surdia Tata, 2003 : 138) .

Paduan pada seri ini umumnya *non heat treatable*, walaupun sebenarnya *gaus solvus* pada diagram keseimbangannya menunjukkan adanya penurunan solubility dari magnesium dalam aluminium, karena kebanyakan paduan dalam seri ini hanya mengandung sedikit magnesium (<5 %) dan sedikit silikon. Sebagai *wrought alloy* paduan ini memiliki sifat mampu las dan tahan korosi yang baik, kekuatannya juga cukup. Paduan 5005 (0,8 % Mg) banyak dipakai sebagai batang profil ekstrusi. Paduan 5050 (1,2 % Mg) dipakai sebagai pipa saluran minyak dan gas pada kendaraan. Paduan 5052 (2,5 % Mg) untuk saluran minyak dan bahan bakar pesawat terbang.

Casting alloy 214 (3,8 % Mg) dan 218 (8 % Mg) digunakan untuk alat pengolah makanan/hasil peternakan, fitting industri kimia, brake shoes dan lain-lain. Paduan 240 (10 % Mg) adalah satu-satunya paduan pada seri ini yang *age hardenable*, dengan sifat mekanik yang paling baik di antara semua paduan aluminium. Semua paduan pada seri ini memiliki sifat penuangan yang buruk, karena itu proses penuangannya memerlukan perhatian khusus (Dieter, G.E., Djaprie, S, 1992)

2.2 Proses Pembekuan Logam Cair

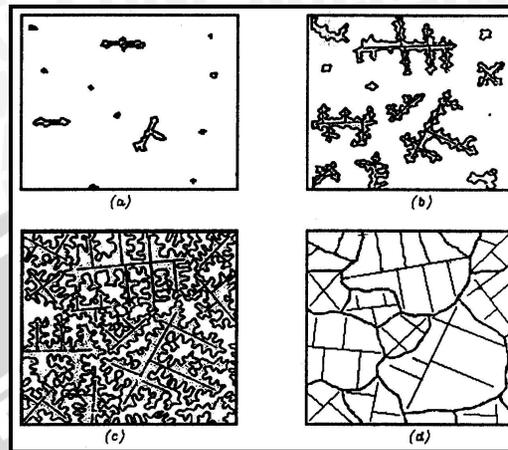
Struktur kristal logam akan rusak pada titik cairnya. Batas butir akan lenyap dan kekuatan mekanis tidak akan berarti lagi. Struktur kristal akan terbentuk lagi jika logam didinginkan. Selama proses pembekuan, energi dilepaskan dalam bentuk panas laten pembekuan dan laju pembekuan tergantung pada jumlah panas yang dapat dilepaskan.

Setelah dituang ke dalam cetakan, logam cair akan mengalami proses pendinginan oleh cetakan. Kecepatan pendinginan besar pengaruhnya terhadap ukuran, bentuk dan keseragaman dari butiran yang membentuk struktur kristal hasil coran, yang mana akan mempengaruhi sifat mekanisnya. Faktor-faktor yang berpengaruh pada proses pendinginan adalah bahan coran, sifat termal dari coran maupun cetakkannya, hubungan geometri antara volume dan luas permukaan dari coran, serta bentuk dari cetakan yang di pakai.

Pembekuan pada logam adalah proses transformasi dari logam cair menjadi padat. Besar dan bentuk struktur yang banyak mempengaruhi sifat-sifat mekanis dikendalikan selama proses pembekuan. Pembekuan berlangsung dalam beberapa tahap seperti yang terlihat pada gambar 2.2, yaitu :

1. Timbulnya inti (gambar 2.2(a))

2. Kristal tumbuh di sekeliling inti, inti baru muncul (gambar 2.2(b))
3. Kristal menyentuh tetangganya menghentikan pertumbuhannya (gambar 2.2(c))
4. Pembekuan lengkap menjadi struktur berkrystal banyak (gambar 2.2(d))

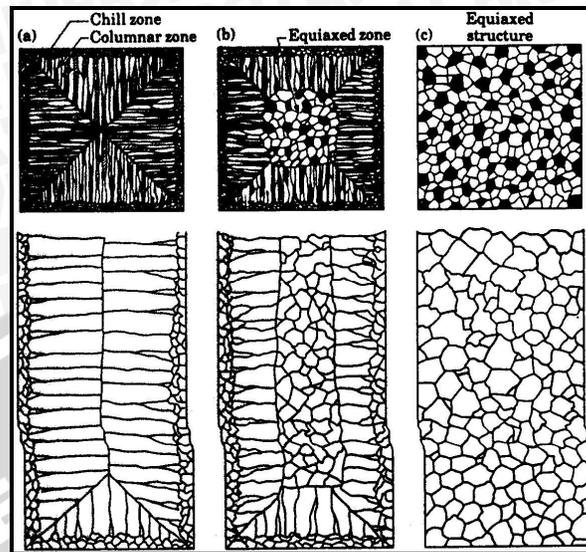


Gambar 2.2 : Ilustrasi skematis dari pembekuan logam
Sumber : Avner, H. Sydney, 1988 : 95

2.2.1 Pertumbuhan Kristal

Setelah inti yang stabil terbentuk, inti-inti tersebut tumbuh menjadi kristal-kristal tersusun secara teratur tetapi orientasinya berbeda-beda. Akhirnya setelah proses pembekuan selesai kristal-kristal ini tumbuh dan bergabung dengan orientasi yang berbeda-beda dan membentuk batas-batas kristal. Kristal ini biasanya disebut butir.

Bila pendinginan berlangsung perlahan-lahan, terbentuklah kelompok atom pada permukaan cairan yang kemudian menjadi inti butiran padat selama proses pembekuan dengan laju pendinginan yang lambat, inti-inti yang telah timbul semakin membesar akibat perpindahan atom dari fasa cair ke fasa padat. Akhirnya semua cairan bertransformasi dan butiran bertambah besar. Batas butir merupakan titik pertemuan pertumbuhan berbagai inti. Bila proses pendinginan berlangsung cepat, jumlah kelompok bertambah dan tiap-tiap kelompok tumbuh dengan cepat hingga akhirnya saling bertemu sebagai hasil akhir diperoleh logam dengan jumlah butir yang lebih banyak atau biasa disebut logam padat berbutir halus. Banyaknya pengintian yang terjadi pada logam selama pendinginan menyebabkan butir-butir terus terbentuk. Jika pengintian yang terjadi relatif sedikit, maka dihasilkan struktur yang kasar dan besar-besar. Sebaliknya dengan banyaknya pengintian yang terjadi struktur butir akan menjadi halus.



Gambar 2.3 : Ilustrasi skematis pembekuan logam pada cetakan bujur sangkar
 (a) logam murni; (b) logam paduan; (c) struktur dengan pendinginan tanpa gradien suhu
 Sumber : Kalpakjian S., 1992 : 243

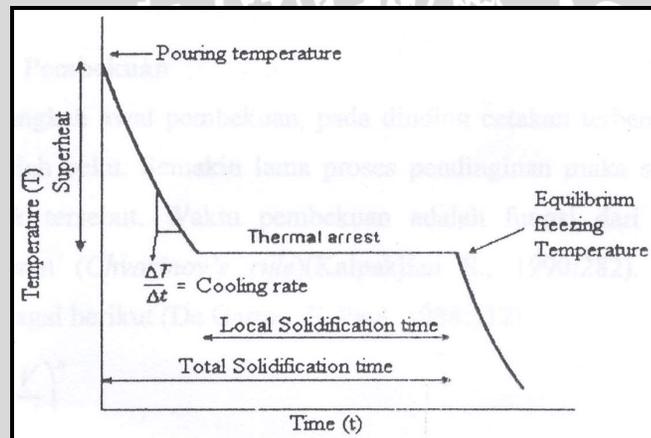
Gambar 2.3 memperlihatkan, pada logam murni, saat logam cair dituangkan ke dalam cetakan, logam yang bersentuhan dengan dinding cetakan cepat sekali mendingin. Laju pendinginan yang tinggi di bagian tersebut menyebabkan nukleasi kristal-kristal lebih aktif dibanding pertumbuhannya masing-masing. Akibatnya di bagian ini terbentuk banyak sekali kristal *equiaxed* berbutir halus dan bersumbu sama. Tetapi dengan bertambah tebalnya daerah kristal yang mendingin, perbedaan temperatur antara cairan dan dinding makin kecil dan laju pendinginan menurun. Sekarang pertumbuhan kristal lebih aktif ketimbang proses nukleasi kristal baru, dan akibatnya, kristal-kristal di antarmuka cairan logam yang telah mendingin mulai tumbuh ke bagian tengah cetakan, sehingga membentuk kristal-kristal *columnar*. Sedangkan pada logam paduan, paduan berfungsi untuk mengurangi temperatur logam yang masih cair sehingga menimbulkan tumbuhnya nukleasi-nukleasi baru sebelum logam melanjutkan pembekuan. Nukleasi-nukleasi baru ini membentuk kristal-kristal *equiaxed* yang menghambat laju pertumbuhan dari kristal-kristal *columnar*.

2.2.2 Kurva Pendinginan

Kurva pendinginan adalah salah satu cara yang paling berguna dalam mempelajari proses pembekuan logam. Gambar 2.4 menunjukkan kurva pendinginan

untuk logam murni, kurva tersebut memperlihatkan beberapa parameter pokok dari proses pembekuan.

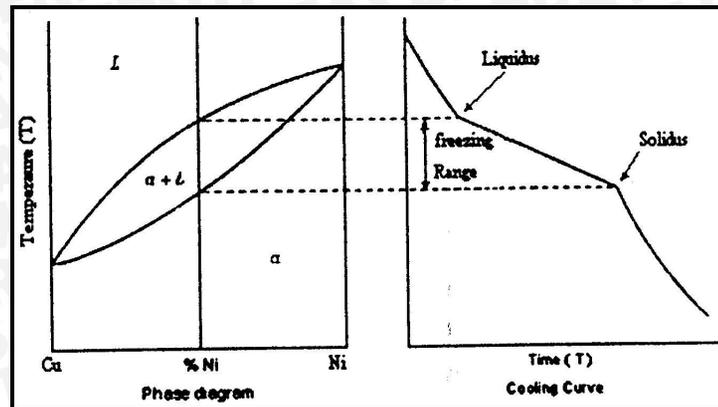
Pouring temperature (temperatur penuangan) adalah temperatur logam cair yang harus dipertahankan ketika mulai memasuki rongga cetakan. *Superheat* (panas lanjut) adalah perbedaan antara temperatur penuangan dengan temperatur pembekuan dari logam. *Cooling rate* (laju pendinginan) adalah kecepatan pendinginan dari logam cair menjadi padatan dan dilukiskan dengan slope dari suatu kurva pendinginan pada sebuah titik tertentu. *Thermal arrest* (temperatur pembekuan) adalah garis mendatar dari material yang mempunyai titik beku tertentu. Ketika material mencapai temperatur ini untuk beberapa saat tidak terjadi penurunan temperatur, panas yang dilepaskan mengakibatkan pembekuan logam cair, disebut panas laten pembekuan. *Total solidification time* (waktu pembekuan total) adalah waktu dari mulainya penuangan hingga berakhirnya pembekuan. Sedangkan waktu dari mulainya pembekuan hingga berakhirnya disebut *local solidification time* (waktu pembekuan lokal).



Gambar 2.4 : Kurva pendinginan logam murni

Sumber : De Garmo, E. Paul, 1988 : 310

Jika logam paduan yang kita gunakan tidak mempunyai temperatur pembekuan yang tertentu, perbedaan antara temperatur cair dan temperatur padat disebut sebagai *freezing range*, daerah pembekuan seperti pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 : Kurva pendinginan untuk logam paduan
Sumber : De Garmo, E. Paul, 1988 : 311

Bentuk spesifikasi dari kurva pendinginan dipengaruhi oleh jenis materialnya, kecepatan proses nukleasi dan jumlah panas yang dapat dikeluarkan melalui cetakan (De Garmo, E. Paul, 1988 : 312).

2.3 Pembentukan Logam

Peran logam yang penting pada teknologi moderen terutama disebabkan kemudahan pembentukannya menjadi bentuk-bentuk yang berguna. Misalnya : tabung, batang dan lembaran-lembaran. Pembuatan bentuk secara umum dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu:

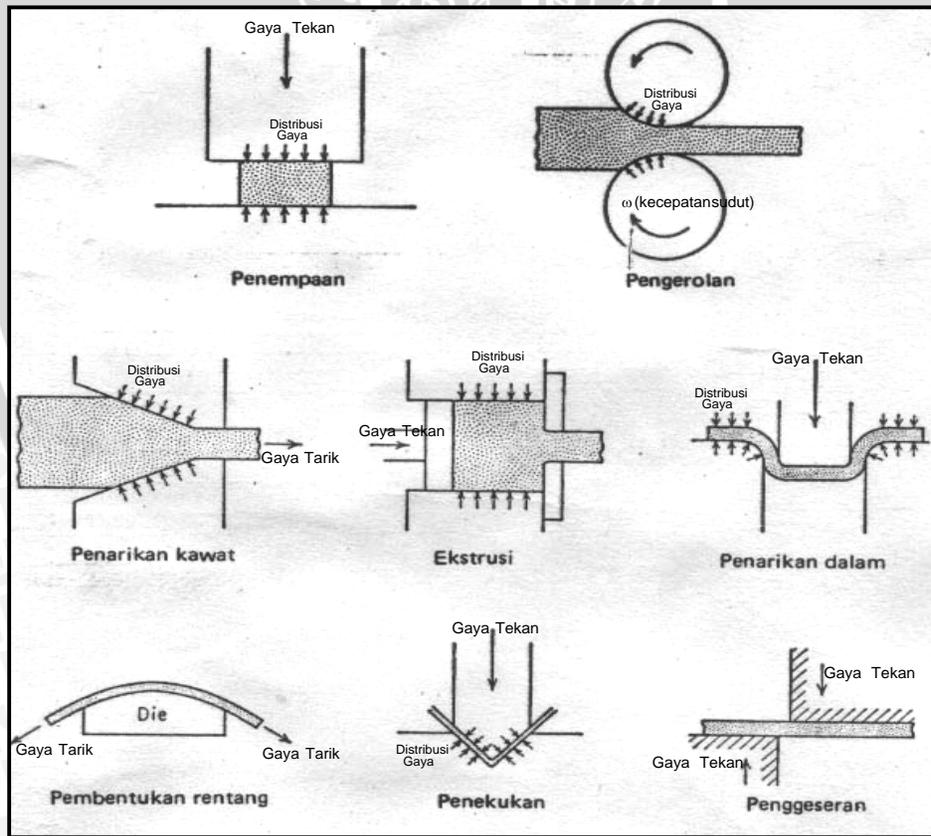
1. Secara proses deformasi plastik, dimana volume dan massa logam tetap dan logam bergerak dari satu tempat ke tempat yang lain.
2. Dengan cara menghilangkan bagian-bagian logam atau proses-poses pemesian, dimana bagian-bagian logam dihilangkan untuk memperoleh bentuk yang diinginkan.

Ratusan proses telah dikembangkan untuk pengerjaan logam yang spesifik. Akan tetapi proses-proses tersebut dapat dikelompokkan menjadi hanya beberapa kategori berdasarkan pada jenis pengenaaan gaya ke benda kerja sesuai dengan bentuk yang diinginkan. Kategori-kategori tersebut adalah :

1. *Proses-proses tipe penekanan langsung*. Pada proses ini , gaya dikenakan pada permukaan benda kerja, dan logam bergerak tegak lurus dengan arah penekanan. Contoh utama pada proses ini adalah proses tempa dan pengerolan.

2. *Proses-proses penekanan tak langsung.* Proses ini meliputi penarikan kawat dan penarikan tabung, ekstrusi dan penarikan dalam cawan. Gaya utama yang dikenakan biasanya adalah gaya tarik, tetapi gaya tekan tak langsung yang timbul akibat reaksi benda kerja dengan cetakan mempunyai nilai yang sangat tinggi.
3. *Proses-proses tipe tarik.* Contoh yang paling jelas mengenai proses pembentukan jenis tarik adalah pembentukan rentang. Dimana lembaran logam menutupi kontur cetakan dibawah pengaruh gaya tarik.
4. *Proses-proses penekukan.* Proses penekukan mencakup pemakaian momen lengkung terhadap lembaran logam.
5. *Proses-proses pengguntingan.* Pengguntingan melibatkan gaya geser (gaya gunting) yang cukup besar untuk memotong logam pada bidang geser.

Gambar 2.6 menunjukkan proses pembentukan logam berdasar jenis pengenaan gaya.



Gambar 2.6 : Jenis operasi pembentukan
(Sumber : G. E. Dieter, 1992:122)

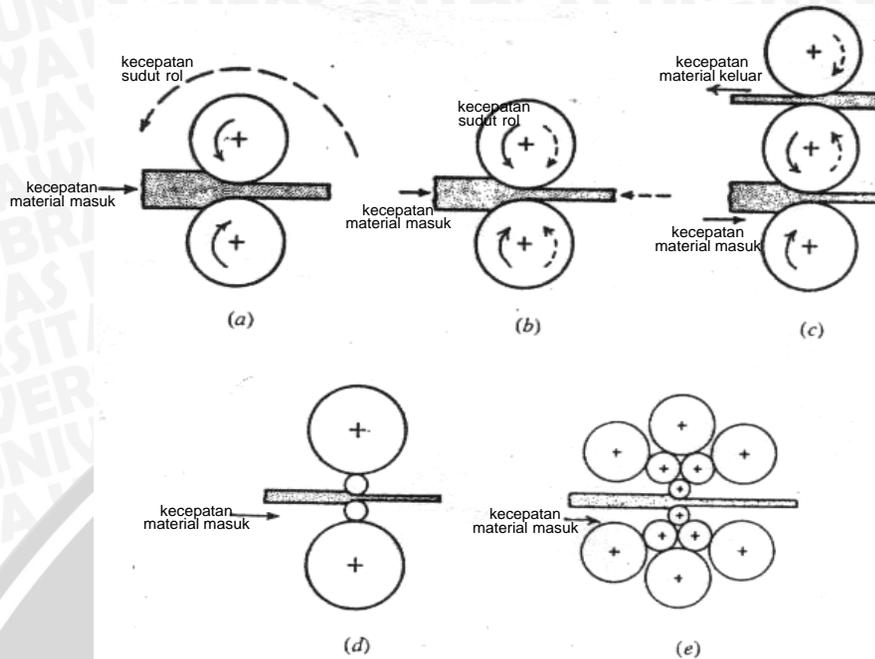
2.3.1 Proses Pengerolan Logam (*Rolling Mill*)

Pengerolan adalah proses pengurangan (reduksi) ketebalan atau luas penampang melintang *workpiece* oleh gaya tekan pasangan rol yang berputar. Dasar pengerolan mengacu pada pengerolan bentuk flat plates. Dalam pengerolan ini terdapat tiga macam kecepatan yaitu; pertama kecepatan material masuk V_0 , kedua kecepatan rol berputar V_r dan ketiga kecepatan material meninggalkan rol V_E . Distribusi kecepatan tersebut material masuk mempunyai kecepatan terkecil, material meninggalkan rol mempunyai kecepatan terbesar sedangkan kecepatan rol diantara kedua kecepatan tersebut. Adanya perbedaan kecepatan tersebut menyebabkan material masuk tertarik oleh rol dan material keluar akan menghambat putaran rol sehingga rol menekan material yang berada diantara rol yang berputar akibatnya material tertekan sampai pada kondisi deformasi plastis. (Choiri, Moch. Dkk, 1998)

Sedangkan menurut G.E. Dieter yang dinamakan pengerolan adalah proses pengubahan bentuk logam dengan melewatkannya diantara rol (Dieter, 1992:198). Pengerjaan ini banyak digunakan pada proses pengerjaan logam karena memberikan kemungkinan untuk memproduksi bentuk akhir yang berkualitas tinggi dan mudah dikontrol.

Suatu pengerolan logam pada dasarnya terdiri atas rol, bantalan dan rumah untuk tempat komponen-komponen tersebut. Gaya yang terlibat dalam pengerolan dengan mudah mencapai beberapa juta pon. Oleh karena itu diperlukan konstruksi yang sangat kokoh dan diperlukan motor yang sangat besar agar memperoleh daya yang diinginkan.

Pengerolan logam pada umumnya dapat digolongkan berdasarkan jumlah dan susunan rol (Gambar 2.7). Tipe pengerolan yang paling sederhana adalah pengerolan logam dua tingkat. Rol yang besarnya sama diputar hanya pada satu arah. Untuk meningkatkan kecepatan, digunakan rol bolak-balik dua tingkat, dimana benda kerja dapat digerakkan maju dan mundur melalui rol-rol yang arah putarannya dapat dibalik.

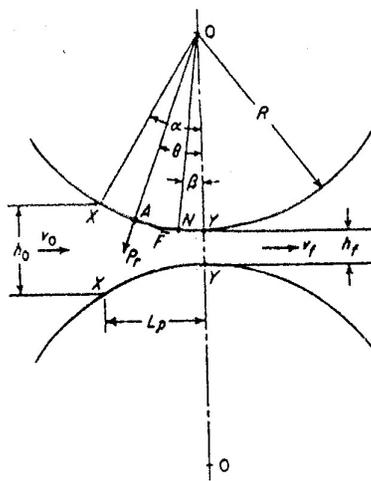


Gambar 2.7 : Susunan roll untuk pengerolan logam
 Sumber : G. E. Dieter , 1992:200

Untuk meningkatkan hasil yang berkualitas tinggi, biasanya disusun rangkaian mesin rol logam secara seri. Yang biasanya disebut dengan pengerolan kontinyu. Karena pada setiap tahap terdapat reduksi yang berbeda-beda pada setiap tahap, maka benda kerja akan bergerak dengan kecepatan yang berbeda-beda pada tiap tahapnya. Cara yang kedua adalah dengan melewati benda kerja beberapa kali dengan arah gerak bolak-balik pada sepasang rol. Cara ini disebut *pengerolan bolak-balik*.

2.3.2 Gaya Pengerolan Pelat

Beban untuk menekan pelat agar diperoleh bentuk silinderyang sesuai dengan yang diinginkan dilakukan dengan bertahap, yaitu ditekuk sedikit demi sedikit sehingga pelat terbentuk sesuai dengan yang diinginkan.



Gambar 2.8 Gaya-gaya pada pengerolan
(Sumber : G. E. Dieter , 1992:205)

Untuk mengetahui gaya pengerolan yang terjadi maka digunakan persamaan :

$$F = \frac{k.L_p.S.t^2}{W} \text{ (kg)} \text{ (Sumber : Cryill Donaldson, George H. eacain, .C Goold, 1973 : 740)} \quad (2 - 1)$$

Dimana : k = Kecepatan roll = 0,67

L_p = Panjang pelat yang diroll (mm)

S = Ultimate Tensile Strength (kg/mm)

t = tebal pelat yang diroll (mm)

W = lebar daerah pengerolan (mm²)

Jika lebar daerah deformasi (L_w) pelat yang terjadi pada saat pengerolan dapat diketahui dengan persamaan :

$$L_w = R_L \cdot \sin \alpha \quad (2 - 2)$$

Dimana : R_L = Radius pengerolan luar (mm) = $R_r + t/2$

Jadi lebar pembengkokan dapat dicari dengan menggunakan persamaan :

$$W = 2 \cdot L_w \text{ (mm)} \quad (2 - 3)$$

2.3.3 Daya Pengerolan Pelat

A. Daya yang dibutuhkan untuk memutar roll dicari dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$N_r = \frac{M_r \cdot n_r}{0,716} \text{ (Hp)} \quad (2 - 4)$$

Dimana : N_r = Daya yang dibutuhkan untuk memutar roll (Hp)

$M_r =$ Momen roll penggerak (Ton/mm)

$n_r =$ putaran roll (rpm)

(Sumber : . Poulkhin, N. Fedosov, Y. Matveyev; hal 45)

Momen yang terjadi pada roll penggerak dapat dicari dengan menggunakan persamaan :

$$M_r = 2. P. A \text{ (Ton/mm)} \quad (2-5)$$

Dimana : $P =$ Beban pengerolan (Ton)

$A =$ Lengan gaya (mm)

(Sumber : . Poulkhin, N. Fedosov, Y. Matveyev; hal 46)

Lengan gaya yang terjadi pada roll penggerak adalah

$$A = \text{Sin} \frac{d_r}{2} \text{ (mm)} \quad (2-6)$$

Dimana : $d_r =$ Diameter roll penggerak (mm)

Kecepatan roll penggerak dapat dicari dengan menggunakan persamaan :

$$n_r = \frac{1000.v}{.d_r} \text{ (rpm)} \quad (2-7)$$

Dimana : $v =$ Kecepatan pengerolan (m/menit)

$d_r =$ Diameter pengerolan (mm)

(Sumber : Ir. Soelarlo MSME, Kiokatsu Suga; hal 102)

B. Daya yang dibutuhkan untuk mengatasi gesekan dicari dengan menggunakan persamaan :

$$N_r = \frac{M_r . n_r}{0,716} \text{ (Hp)} \quad (2-8)$$

(Sumber : . Poulkhin, N. fedosov, Y. Matveyev; hal 48)

C. Momen yang terjadi pada bantalan roll dapat dicari dengan persamaan :

$$M_r = M_1 + M_2 \quad (2-9)$$

Dimana : $M_r =$ Momen yang terjadi pada bantalan (Ton/mm)

$M_1 =$ Momen bantalan penggerak

$M_2 =$ Momen bantalan tekan

Diketahui :

$$M_r = 2. p . f . r_{br} \text{ (Ton/mm)} \quad (2-10)$$

Dimana : $p =$ Beban pengerolan (Ton)

$f =$ Koefisien gesekan (0,04 – 0,08)

$r_{br} =$ Jari-jari bantalan tekan (mm)

(Sumber : . Poulkhin, N. fedosov, Y. Matveyev; hal 48)

D. Total daya yang dibutuhkan oleh motor penggerak untuk proses pengerolan adalah :

$$N_m = \frac{N_r + N_f}{\eta_d} \quad (2 - 11)$$

Dimana : N_m = Daya motor penggerak (Hp)

N_r = Daya yang dibutuhkan untuk memutar roll (Hp)

N_f = Daya yang dibutuhkan untuk mengatasi gesekan (Hp)

η_d = efisiensi pengerolan

(Sumber : . Poulkhin, N. fedosov, Y. Matveyev; hal 45)

Untuk efisiensi pengerolan dapat ditentukan dengan :

$$\eta_d = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \quad (2 - 12)$$

Dimana : η_1 = Efisiensi poros penggerak (0,97 – 0,98) diambil 0,975

η_2 = Efisiensi roda gigi (0,94 – 0,96) diambil 0,95

η_3 = Efisiensi antara roll dengan benda kerja (0,93 – 0,96) diambil 0,945

Sehingga efisiensi pengerolan total adalah :

$$\begin{aligned} \eta_d &= \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \\ &= 0,975 \cdot 0,95 \cdot 0,945 \\ &= 87,5 \% \end{aligned}$$

2.4 Proses Pengerjaan Logam

Menurut HJ. McQueen secara umum logam dapat dibentuk / dikerjakan dalam keadaan panas (*Hot Working*), dingin (*Cold Working*), dan hangat (*Warm Working*). Pengerjaan panas dikerjakan pada suhu diatas 0,6 kali suhu rekristalisasi dari suatu logam ($T > 0,6 T_m$), dan pengerjaan dingin dikerjakan pada suhu dibawah 0,35 kali suhu rekristalisasi ($T < 0,35 T_m$). Sedangkan suhu diantara $0,35 T_m \leq T \leq 0,6 T_m$ termasuk dalam pengerjaan hangat (*warm working*). Untuk logam aluminium *hot working* dapat terjadi jika dikerjakan diatas suhu 300 °C, *cold working* dikerjakan pada suhu dibawah 100 °C, dan *warm working* dikerjakan diantara suhu 100 °C sampai dengan suhu 300 °C (McQueen, H.J, 1998)

2.4.1 Proses Pengerjaan Panas

Proses ini dapat di definisikan sebagai proses pembentukan yang dilakukan pada temperatur tinggi dimana logam yang dibentuk akan berada dalam keadaan plastis dan mudah dibentuk dengan tekanan. Sehingga pembebanan yang dilakukan kecil. Selain itu proses ini mempunyai keuntungan sebagai berikut :

1. Material dapat menerima perubahan bentuk yang besar tanpa mengalami perubahan.
2. Porositas dalam logam dapat dikurangi, batangan logam setelah dicor umumnya mengandung banyak lubang hembus kecil-kecil. Lubang tersebut tertekan dan dapat hilang oleh karena tekanan kerja yang tinggi.
3. Butiran pada bahan akan diperhalus karena proses berlangsung pada daerah rekristalisasi dan pengerjaan panas berlangsung terus sehingga dihasilkan butiran yang halus.
4. Sifat fisis meningkat terutama disebabkan butiran menjadi halus, kekuatan dan ketahanan terhadap *impact* meningkat, dan homogenitas dalam logam meningkat.
5. Jumlah energi yang dibutuhkan untuk mengubah bentuk dalam keadaan plastis jauh lebih rendah bila dibandingkan dengan energi yang dibutuhkan dalam pengerjaan dingin.

selain keuntungan diatas, pada proses ini masih terdapat kekurangannya, antara lain:

1. Pada suhu tinggi terjadi oksidasi dan pembentukan kerak pada permukaan logam, sehingga penyelesaian permukaan tidak bagus.
2. Sulit untuk mempertahankan toleransi yang baik akibat dari pengerakan.
3. Perawatan biaya peralatan cukup tinggi.

2.4.2 Proses Pengerjaan Dingin

Logam pada umumnya mengalami pengerjaan dingin pada suhu ruang, meskipun perlakuan tersebut mengakibatkan kenaikan suhu. Pengerjaan dingin ini akan menyebabkan distorsi pada butir. Pengerjaan dingin dapat meningkatkan kekuatan, memperbaiki kemampuan mesin, meningkatkan ketelitian dimensi dan menghaluskan permukaan logam.

Untuk memahami apa yang terjadi dalam pengerjaan dingin, seseorang harus memiliki pengetahuan tentang struktur logam. Logam berbentuk kristal dan terdiri dari butir – butir yang tidak beraturan dengan besar yang berbeda – beda. Hal ini akan tampak dengan jelas di bawah mikroskop setelah logam dipolis dan dietsa. Setiap butir terdiri dari atom – otom yang tersusun rapi membentuk kisi. Orientasi atom dalam sebuah butir sama akan tetapi berbeda antara butir yang satu dengan yang lainnya. Sewaktu logam mengalami pengerjaan dingin, terjadilah perubahan yang menyolok pada struktur butir. Terjadi perpecahan butir, pergeseran atom – atom dan distorsi kisi.

Bidang geser terjadi pada tempat dimana ikatan atom lemah, dan terjadilah pergeseran atom. Orientasi atom tidak akan berubah akibat terjadinya slip.

Untuk pengerjaan dingin diperlukan tekanan yang lebih besar dibandingkan pengerjaan panas. Logam mengalami deformasi tetap apabila tegangan melebihi batas elastis. Karena tidak mungkin terjadi rekristalisasi selama pengerjaan dingin, tidak terjadi pemulihan dari butir yang mengalami distorsi atau perpecahan. Dengan meningkatnya deformasi butir, tahanan terhadap deformasi meningkat sehingga logam mengalami *pengerasan regangan*. Untuk logam yang tidak dapat diperlakukan panas ini merupakan satu – satunya cara untuk mengubah sifat fisis seperti kekerasan dan kekuatan. Peningkatan tahanan terhadap deformasi ditimbulkan oleh terjadinya dislokasi atom dalam butir, perpecahan atau distorsi kisi; atau kombinasi dari ketiga gejala tersebut.

Jumlah pengerjaan dingin yang dapat dialami logam tertentu pada keuletannya, makin ulet makin besar jumlah pengerjaan dingin yang dapat dialaminya. Logam murni lebih mudah mengalami deformasi daripada paduan, karena penambahan unsur paduan cenderung meningkatkan gejala pengerasan regangan. Akibat pengerjaan dingin, di dalam logam timbul tegangan yang cukup besar, tegangan ini disebut tegangan sisa. Tegangan-tegangan ini tidak dikehendaki, oleh karena itu untuk menghilangkannya, logam harus dipanaskan di bawah daerah suhu rekristalisasi. Tegangan dapat diiadakan tanpa terjadi perubahan yang berarti pada sifat-sifat fisik atau struktur butir.

Secara umum, proses pengerjaan dingin berakibat :

- Terjadinya tegangan dalam logam, tegangan tersebut dapat dihilangkan dengan suatu perlakuan panas.
- Struktur butir mengalami distorsi atau perpecahan.
- Kekerasan dan kekuatan meningkat, hal ini seiring dengan kemunduran dalam keuletan.
- Suhu rekristalisasi pada aluminium meningkat.
- Penyelesaian permukaan lebih baik.
- Dapat diperoleh toleransi dimensi yang lebih ketat.

2.5 Kekerasan Bahan

Kekerasan suatu bahan adalah salah satu sifat mekanis yang penting, karena kekerasan menyatakan kemampuan bahan untuk tahan terhadap goresan, pengikisan (abrasi), lekukan atau penetrasi.

Beberapa pengujian standar digunakan untuk menguji kekerasan bahan, yaitu pengujian *Rockwell*, *Brinell*, *Vickers*, *Meyer* dan *Shore Schleroscope*. Pengujian *Brinell* adalah metode pengujian kekerasan yang paling banyak digunakan. Pengujian ini menggunakan bola baja sebagai indentor yang ditusukkan ke permukaan logam yang di uji dengan gaya tertentu selama waktu tertentu pula. Penusukan ini menimbulkan lekukan dan lekukan tersebut diukur dengan mikroskop daya rendah. Selanjutnya dicari harga rata-rata dari pengukuran diameter pada jejak yang berarah tegak lurus.(gambar 2.9).

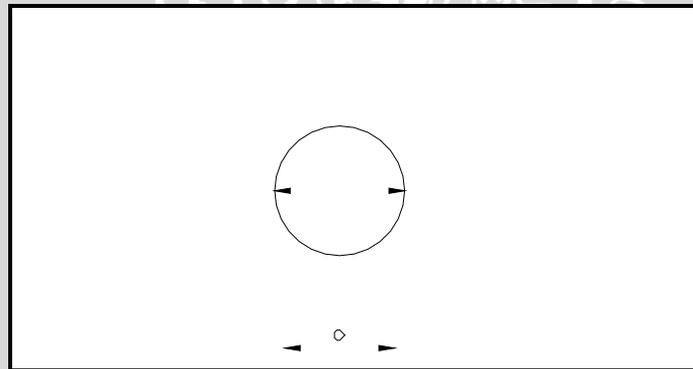
Rumus angka kekerasan *Brinell* (BHN) (G.E Dieter, 1992 : 330) adalah :

$$\text{BHN} = \frac{P}{[\pi \cdot D/2] [D - \sqrt{D^2 - d^2}]} \quad (2 - 13)$$

Dengan : P = beban yang diterapkan, kg

D = diameter bola, mm

d = diameter lekukan, mm



Gambar 2.9 : Parameter-parameter dasar pada pengujian Brinell.
Sumber : .G. E Dieter, 1992 : 330

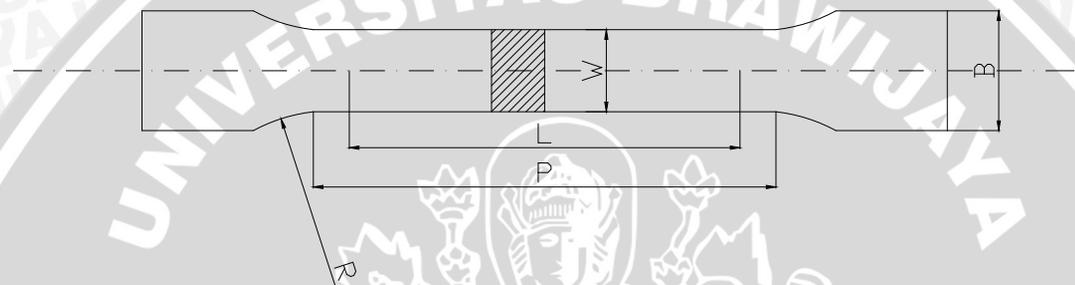
Beban yang digunakan biasanya untuk logam baja, dengan bola baja diameter 10 mm adalah 2000 kg, sedangkan untuk logam non ferro sebesar 500 kg selama kurang lebih 10-15 detik

2.6 Pengujian Tarik (*Tensile Test*)

Pengujian tarik adalah pengujian statis pada logam yang dilakukan dengan cara memberikan gaya tarik yang arahnya tegak lurus penampangnya. Pengujian tarik ini dimaksudkan untuk mengetahui sifat mekanis logam. Pada pengujian tarik ini akan

diperoleh batas mulur, tegangan maksimum, dan tegangan patah dari bahan yang diuji tersebut.

Uji tarik dilakukan terhadap spesimen atau batang uji yang standard. Bahan yang diuji tarik mula-mula dibuat menjadi batang uji dengan bentuk sesuai dengan suatu standard. Salah satu standard tersebut yaitu *JIS (Japanese International Standards)*, ukuran dan bentuk pengujian tarik untuk pelat dari standard *JIS* ditunjukkan pada gambar 2.10 sebagai berikut :

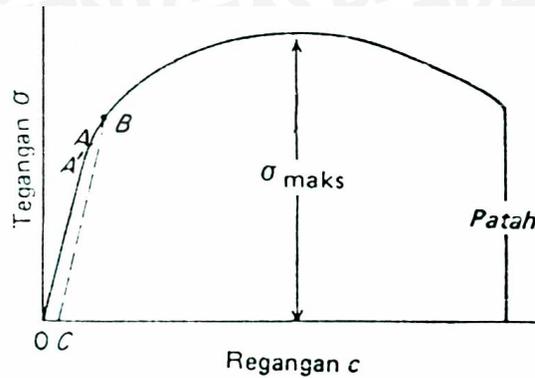


Unit : mm

Division of test piece	Width W	Gauge Length L	Length of parallel portion p	Radius of Shoulder R	Width of gripped Portion B
13 A	20	80	Approx. 120	20 – 30	–
13 B	12,5	60	Approx. 60	20 – 30	20 or more

Gambar 2.10 : Ukuran batang uji menurut JIS
(JIS Hand Book Ferrous Materials and Metallurgy : 7)

Kurva yang diperoleh dari uji tarik ini yaitu kurva tegangan-regangan rekayasa, seperti pada gambar 2.11, bagian linier garis lengkung OA merupakan daerah elastik dimana hukum Hooke berlaku. Titik A adalah batas elastik yang didefinisikan sebagai tegangan terbesar yang dapat ditahan oleh logam tanpa mengalami regangan permanen apabila beban ditiadakan. Dikarenakan sulitnya menentukan titik A maka batas elastik ditentukan dengan batas proporsional yaitu A'. Titik A' terletak pada garis lengkung tegangan-regangan menyimpang dari kelinierannya.



Gambar 2.11 Kurva Tegangan-Regangan
(Djaprie, Sriati, 1990 : 8)

Untuk keperluan rekayasa batas perilaku elastik dinamakan kekuatan luluh (*yield strength*) yaitu titik B, titik luluh ini didapat dari jarak ofset (OC) dengan regangan sebesar 0,002. Alasan metode ofset dilakukan adalah dikarenakan sulitnya menentukan keberadaan titik luluh yang tak jelas pada diagram tegangan-regangan, sehingga dengan metode ofset ini kita dapat menentukan titik luluh dengan menarik garis yang sejajar kurva daerah elastik (dimana hukum Hooke berlaku) sebesar 0,2 % atau 0,1 % dari titik nol (Djaprie, Sriati, 1990 : 280)

Regangan rata-rata yang digunakan untuk kurva tegangan-regangan rekayasa adalah tegangan linier rata-rata yang diperoleh dengan cara membagi perpanjangan panjang ukur (*gauge length*) benda uji (), dengan panjang awal (L_0).

$$e = \frac{\delta}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L - L_0}{L_0} \quad (\text{Djaprie, Sriati, 1990 : 276}) \quad (2 - 14)$$

dengan:

δ = Deformasi (mm)

e = Regangan linier rata-rata ($\text{mm} \cdot \text{mm}^{-1}$)

L = Panjang akhir (mm)

L_0 = Panjang awal (mm)

Pada daerah elastik (OB) tegangan berbanding linier terhadap regangan. Apabila beban melampaui titik luluh (daerah plastik), benda mengalami deformasi plastik bruto. Deformasi pada daerah ini bersifat permanen, meskipun bebannya dihilangkan.

Kekuatan tarik atau kekuatan tarik maksimum (*Ultimate Tensile Strength*) UTS didapat dari beban maksimum dibagi dengan luas penampang mula benda uji, dan dirumuskan :

$$\sigma_u = \frac{P_{maks}}{A_o} \quad (\text{Djaprie, Sriati, 1990 : 279}) \quad (2 - 15)$$

dengan:

Φ_u = Kekuatan tarik maksimum (N.mm⁻²)

P_{maks} = Beban maksimum (N)

A_o = Luas penampang mula benda uji (mm²)

Kekuatan luluh adalah tegangan yang dibutuhkan untuk menghasilkan sejumlah kecil deformasi plastik yang ditetapkan.

2.7 Hipotesis

Berdasarkan teori yang ada dan penelitian sebelumnya dengan kenaikan temperatur dari 100 °C sampai dengan 300 °C maka akan menyebabkan menurunnya tegangan sisa serta memungkinkan dihasilkannya pola struktur butiran yang semakin kasar sebagai akibat deformasi dari proses pengerolan, sehingga dapat dibuat sebuah hipotesis atau dugaan sementara sebagai berikut :

Seiring dengan kenaikan temperatur pemanasan mula 100°C sampai dengan 300°C pada proses pengerolan aluminium seri 5120, maka kekerasan dan kekuatan tarik-nya akan menurun.