

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian yang dilakukan Cholis (2013), mengenai pengaruh penambahan unsur magnesium (Mg) terhadap kekerasan dan struktur mikro pada pengecoran aluminium dengan variasi persentase campuran magnesium. Hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa *raw material* mempunyai tingkat kekerasan yang paling rendah bila dibandingkan dengan hasil pengecoran aluminium dengan penambahan unsur magnesium (Mg) sebesar 0.2%, 0.4% dan 0.6%. Hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa *raw material* mempunyai nilai kekerasan sebesar 37,1 kgf/mm², hasil pengecoran aluminium dengan penambahan unsur magnesium (Mg) sebesar 0.2% mempunyai nilai kekerasan sebesar 40,97 kgf/mm², hasil pengecoran aluminium dengan penambahan unsur magnesium (Mg) sebesar 0.4% mempunyai nilai kekerasan sebesar 42,46 kgf/mm² dan hasil pengecoran aluminium dengan penambahan unsur magnesium (Mg) sebesar 0.6% mempunyai nilai kekerasan yang paling tinggi dibandingkan dengan hasil pengecoran aluminium dengan penambahan unsur magnesium (Mg) sebesar 0.2% , 0.4% dan *raw material* yaitu 43,43 kgf/mm².

Penelitian yang dilakukan oleh Vido (2015), memvariasikan campuran magnesium dari 0.747 %, 0.769 %, 0.773 %, 0.814 %, dan 1.520 % untuk memperoleh kemampubentukan dan cacat yang lebih sedikit. Dari penujian yang telah dilakukan didapatkan hasil bahwa kemampubentukan terbaik diperoleh pada kandungan magnesium 0.769 % dimana pada persentase tersebut memiliki rata-rata terbesar. Sedangkan kandungan magnesium sangat berpengaruh pada cacat yang terjadi akibat proses pengerolan panas. Hal ini dapat dilihat pada kandungan magnesium 0.841 % mengalami cacat paling banyak setelah proses pengerolan. Yang artinya semakin besar kandungan magnesium maka cacat yang terjadi akan semakin banyak.

2.2 Aluminium

Aluminium murni didapatkan dari hasil ekstraksi bauksit melalui proses elektrolisis. Aluminium dengan lambang unsur Al, memiliki karakteristik ringan, lunak, mengkilap, berwarna putih keperakan dan termasuk dalam golongan IIIA dalam tabel berkala, titik leleh 660°C, dan titik didih 2467°C (Dainith, 1999 : 22).

Secara umum sifat teknik dari bahan aluminium sangat ditentukan oleh konsentrasi bahan dan perlakuan yang diberikan terhadap bahan tersebut. Untuk memperbaiki sifat mekanik dari aluminium murni, saat ini aluminium dapat diubah dalam bentuk *alloy* dengan logam lain diantaranya: magnesium, tembaga, mangan, silikon, seng, dan lain-lain.

2.2.1 Aluminium dan Paduannya

Paduan aluminium dapat meningkatkan kekuatan, ketahanan terhadap korosi, penghantar panas dan listrik. Sehingga paduan aluminium relatif lebih banyak digunakan dibandingkan 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 Alcon Terdahulu	Keterangan
1001	1S	Al murni 90% atau lebih
1100	2S	Al murni 99,9% 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	70S-79S	Unsur paduan utama Mg ₂ Si
7070-7079		Unsur paduan utama Zn

Sumber : Surdia, 2003 : 135

Dengan menggunakan penandaan 4 angka, maka standar AA dapat diuraikan 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. Kemurnian dalam paduan yang telah dicampur unsur lain dan Aluminium murni dapat diketahui dari angka kedua.
3. Angka ketiga dan keempat dimaksudkan untuk angka pada standar Alcoa (*Aluminium Company of America*) terdahulu kecuali S. Contoh :3S ssebagai 3003 dan 63S sebagai 6063. Al dengan kemurnian 99,0 % atau di atasnya dengan ketidakmurnian terbatas (2S) dinyatakan sebagai 1100.

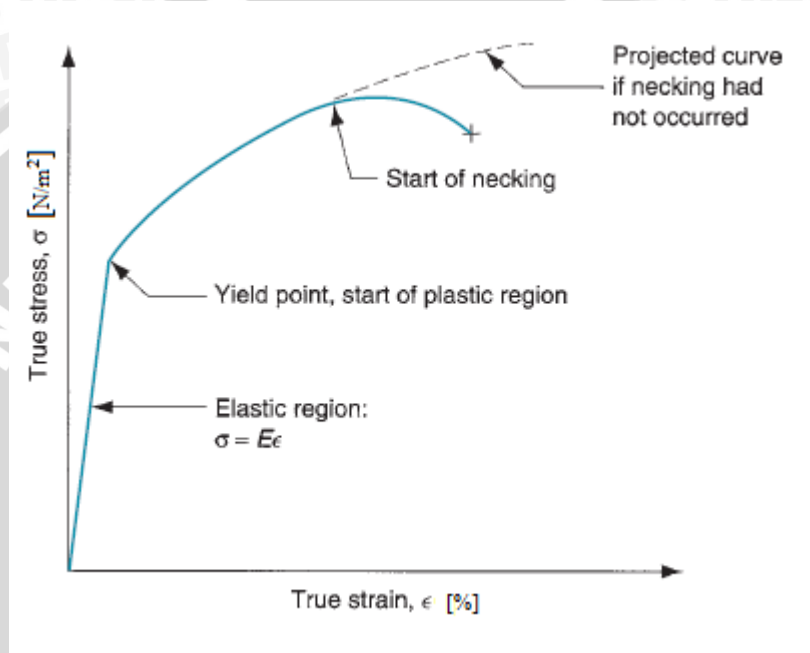
2.2.2 Hubungan Antara Diagram Tegangan-Regangan Dengan Kemampubentukan, Keuletan, dan Deformasi Energi Atau Ketahanan Pada Alumunium

Kemampubentukan alumunium merupakan suatu sifat dari aluminium yang dapat berubah bentuk dan wujud. Dalam proses kemampubentukan pengerolan alumunium, hal tersebut merupakan kemampuan material untuk mengalami deformasi plastis sampai pada dimensi yang diinginkan tanpa mengalami cacat. Deformasi plastis artinya perubahan dimensi dan tidak bisa kembali ke dimensi awalnya, suatu alumunium yang diberi gaya akan terdeformasi. Jika masih di batas-batas elastisitas suatu bahan akan kembali kebentuk semulanya, tapi jika gaya tersebut menyebabkan deformasi sampai titik luluh disinilah dimulainya deformasi plastis. Pengaruhnya pada struktur kristalnya yaitu pada tinjauan mikro, deformasi plastis menyebabkan lepasnya ikatan atom suatu bahan dengan atom tetanganya, dan membentuk ikatan atom lain, tapi ada juga atom yang tergeser terus menerus sehingga menyebabkan dislokasi, jika bergeser terus sampai ke ujung kristal dan terjadi slip. Perbedaan antara *formability*, *malleability*, dan *ductility* adalah :

- a) *Formability* (kemampubentukan) merupakan sifat yang dimiliki oleh bahan yang menunjukkan kemampuan untuk dibentuk dengan proses pembentukan. Proses pembentukan adalah proses untuk berubah bentuk dengan memanfaatkan deformasi plastis yang diaplikasikan pada logam tanpa menghasilkan geram.

- b) *Malleability* (kelunakan) merupakan sifat bahan yang mengalami deformasi plastis terhadap beban tekan yang bekerja sebelum benar-benar patah.
- c) *Ductibility* (keuletan) merupakan sifat bahan mampu deformasi terhadap beban tarik sebelum suatu bahan putus. Bahan disebut *ductile* bila regangan plastis yang terjadi sebelum putus lebih dari 5%, bila kurang dari itu disebut getas (*brittle*)

Untuk lebih jelasnya mengenai hubungan tegangan dan regangan pada aluminium dapat dilihat pada gambar 2.1 :



Gambar 2.1 : Diagram Tegangan-Regangan

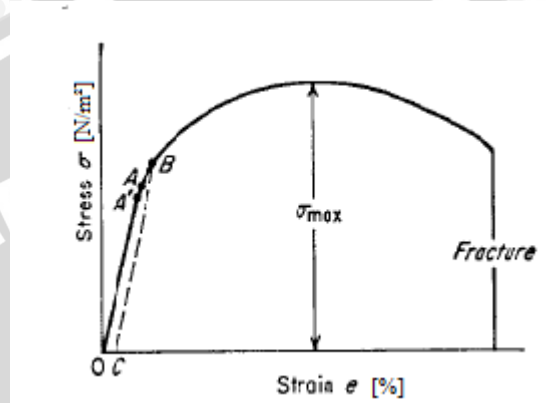
Sumber : Groover, 2010 : 45

Pada daerah elastis material mengalami perubahan bentuk, tetapi jika tegangan dihilangkan material akan kembali ke bentuk awal. *Yield point* merupakan daerah plastis dimana jika tegangan dihilangkan dalam daerah deformasi plastis, material tidak akan kembali ke bentuk awal tetapi mengalami deformasi permanen. *Necking* merupakan titik tekuk dimana jika tegangan diteruskan maka material akan patah. Tetapi jika material memiliki *ductibility* yang baik, maka material tersebut tidak akan patah yang ditunjukkan pada garis putus-putus.

Dengan adanya deformasi maka bentuk kristal akan berubah dari *equiaxed* menjadi memanjang dan jika beban dilepaskan atom ini tidak kembali ke bentuk awal. Untuk pengaruhnya terhadap sifat mekanik yaitu, deformasi plastis menyebabkan distorsi yang menyebabkan logam makin tegang, hal ini menyebabkan kekuatan logam makin besar, logam makin keras dan kuat, tapi keuletan nya semakin kecil, peristiwa ini

dinamakan penguatan regang (*strain hardening*). Agar mendapatkan material aluminium yang baik dan sesuai dengan kriteria kemampubentukan, maka untuk mencapai hal tersebut kita perlu memproduksi aluminium yang sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Dari proses produksi kita bisa mengetahui jenis-jenis cacat dan cara mengurangi cacat yang terjadi pada aluminium.

Untuk mengetahui hubungan antara diagram tegangan-regangan dengan keuletan maka dapat dilihat gambar 2.2 dibawah ini :



Gambar 2.2 : Tipikal Kurva Diagram Tegangan-Regangan
Sumber : Dieter, 1992 : 8

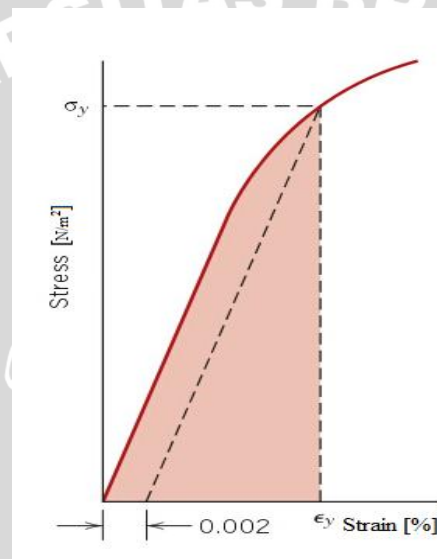
Gambar 2.2 menunjukkan diagram tegangan-regangan untuk metal seperti aluminium dan tembaga. Pada bagian linear awal dari kurva OA adalah daerah elastis dimana hukum Hooke berlaku. Titik A adalah batas elastis, yang mana material akan kembali ke bentuk semula apabila beban dihilangkan. Penentuan batas elastis cukup merepotkan dan tidak perlu rutin dilakukan sebab tergantung dari sensitivitas instrumen pengukurnya. Untuk alasan ini sering diganti dengan batas proposional yaitu titik A'. Batas proposional adalah tegangan dimana kurva tegangan-regangan menyimpang dari linearitas. Kemiringan kurva tegangan regangan di wilayah ini adalah modulus elastisitas.

Untuk tujuan teknik batas elastis yang digunakan digambarkan oleh kekuatan luluh (*yield strength*), titik B. Kekuatan luluh didefinisikan sebagai tegangan yang akan menghasilkan sejumlah kecil deformasi permanen, regangan permanen ini adalah OC. Deformasi plastis dimulai ketika melebihi batas elastis. Ketika deformasi plastis dari spesimen meningkat, material akan menjadi lebih kuat (*strain hardening*). Akhirnya beban mencapai nilai maksimum. Beban maksimum dibagi oleh area dari spesimen adalah *ultimate tensile strength*. Untuk duktilitas logam ukuran spesimen mulai menurun dengan cepat di luar beban maksimum, sehingga beban yang dibutuhkan untuk

melanjutkan deformasi menurun sampai spesimen mengalami patah (*fracture*), hal ini juga mengalami penurunan dari beban maksimum untuk patah.

Ketahanan adalah kapasitas dari material untuk menyerap energi ketika deformasi elastis dan kemudian setelah energi dilepaskan untuk energi ini kembali. Properti yang terkait adalah modulus ketahanan (*modulus of resilience*), yang merupakan energi regangan per satuan volume diperlukan untuk menekan material dari pelepasan beban naik ke titik *yield*. Secara komputasi, modulus ketahanan dikenai *uniaxial*.

Untuk melihat hubungan antara diagram tegangan-regangan dengan energi deformasi bisa dilihat daerah yang diarsir di gambar 2.3 dibawah ini :

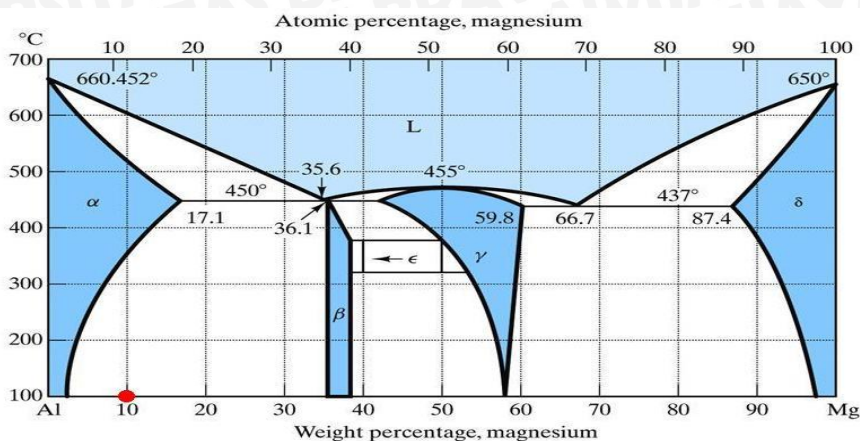


Gambar 2.3 : Skema Dari Energi Deformasi
Sumber : Callister, 2007 : 150

2.2.3 Paduan Aluminium dan Magnesium

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

Untuk lebih jelasnya dibawah ini adalah gambar diagram *phase* Al-Mg pada gambar 2.4:



Gambar 2.4 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 massa 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, di roll dan diekstruksi, dan paduan 5052 adalah paduan yang biasa dipakai sebagai bahan tempaan. Paduan 5056 adalah paduan yang paling kuat dalam sistem ini, dipakai setelah dikeraskan oleh pergeseran regangan apabila diperlukan kekerasan tinggi. Paduan 5083 adalah paduan antara (4,5% Mg) kuat dan mudah dilas, oleh karena itu sekarang dipakai sebagai bahan untuk tangki LNG (Surdia, 2003 : 138).

Paduan pada seri ini umumnya *non heat treatable*, walaupun sebenarnya *gaussolvus* 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 mudah dilas dan kuat terhadap korosi yang baik, kekuatannya juga cukup. Paduan 5005 (0,8 % Mg) banyak dipakai sebagai batang profil ekstrusi. Paduan 5050 (1,2 % Mg) digunakan dalam industri otomotif sebagai saluran gas dan minyak. 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 pengolahan 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, 1992).

2.3 Pembentukan Logam

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

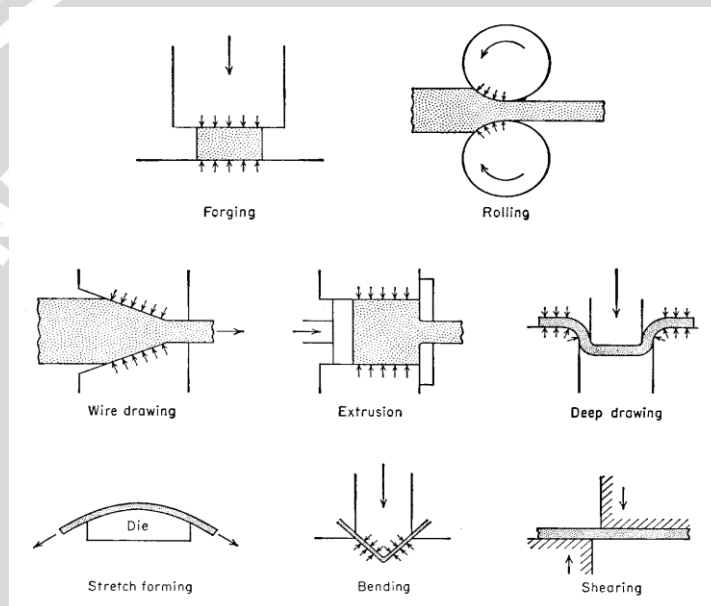
1. Secara proses deformasi plastis, dimana volume dan massa tidak berubah dan mengalami pergerakan satu tempat ke tempat yang lain.
2. Dengan cara menghilangkan bagian-bagian logam atau proses-proses pemesinan, dimana bagian-bagian logam dihilangkan untuk memperoleh bentuk yang diinginkan.

Ratusan proses telah dikembangkan untuk pengerjaan logam yang spesifik. Akan tetapi proses-proses tersebut dapat dikelompokkan menjadi hanya beberapa kategori berdasarkan pada jenis peneakan gaya 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 2.5 : Jenis Operasi Pembentukan
Sumber : G. E. Dieter, 1992 : 504

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*. Menurut Dieter yang dinamakan pengerolan adalah proses perubahan bentuk logam dengan melewatkannya diantara roll (Dieter, 1992 : 198). Pengerjaan ini banyak digunakan pada proses pengerjaan logam karena memberikan kemungkinan untuk memproduksi bentuk akhir yang beerkualitas tinggi dan mudah dikontrol.

Suatu pengerolan pada dasarnya terdiri atas roll, 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.

Gaya pada pengerolan dapat direduksi dengan cara-cara berikut ini :

- Mengurangi gesekan antara roll dan benda kerja
- Menggunakan diameter roll yang lebih kecil untuk mengurangi bidang kontak.
- Dengan reduksi yang lebih kecil *per pass* untuk mengurangi bidang kontak.
- Melakukan pengerolan pada temperatur tinggi untuk menurunkan kekuatan material.

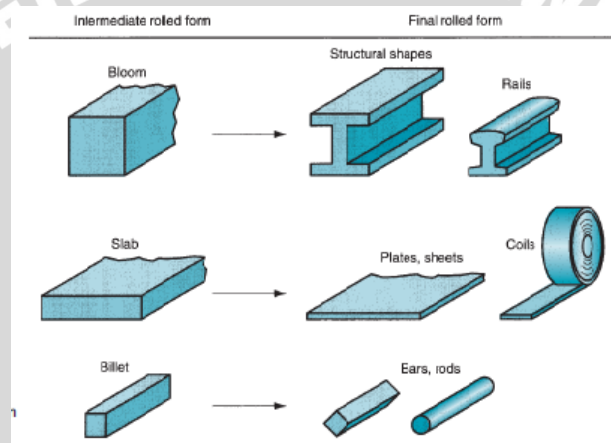
Dalam pengerolan ini terdapat tiga macam kecepatan yaitu: pertama kecepatan material masuk V_0 , kedua kecepatan *roll* berputar V_r , dan ketiga kecepatan material meninggalkan *roll* V_E . Distribusi kecepatan tersebut material masuk mempunyai kecepatan terkecil, material meninggalkan *roll* mempunyai kecepatan terbesar sedangkan kecepatan *roll* diantara kedua kecepatan tersebut. Adanya perbedaan kecepatan tersebut menyebabkan material masuk tertarik oleh *roll* dan material keluar akan menghambat putaran *roll* sehingga *roll* menekan material yang berbeda diantara *roll* yang berputar akibatnya material tertekan sampai pada kondisi deformasi plastis (Kalpakjian, 2009 : 318).

Produk pertama dari proses pengerolan panas ialah *bloom*, *slab*, *billet* (gambar 2.6). Sebuah *bloom* biasanya memiliki penampang persegi, setidaknya sisinya memiliki ukuran 150 mm. *Slab* biasanya adalah persegi panjang di bagian melintangnya. *Bloom* diproses lebih lanjut dengan bentuk seperti beam dan rel kereta api. *Slab* diproses menjadi bentuk pelat dan lembaran. *Billet* biasanya persegi dan kemudian diroll ke dalam berbagai bentuk, seperti batang dan bulat menggunakan mesin *roll*. Dalam pengerolan panas *bloom*, *slab*, dan *billet* permukaan material biasanya dikondisikan untuk operasi selanjutnya sebelum dilakukan pengerolan. Pengondisian sering dilakukan dengan cara *scarfing* untuk menghilangkan kerak.

Pelat umumnya memiliki ketebalan lebih dari 6 mm dan digunakan untuk struktur aplikasi, seperti lambung kapal, boiler, jembatan, mesin, dan kapal nuklir. Pelat setebal 300 mm untuk struktur berukuran besar, 150 mm untuk wadah reaktor, dan 100 sampai 125 mm untuk *frame* mesin dan kapal perang.

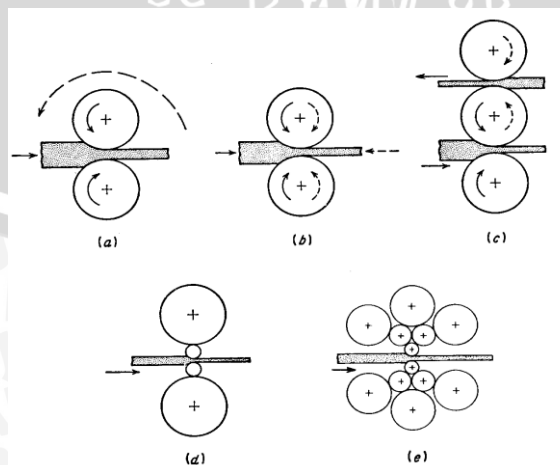
Sheet atau lembaran umumnya memiliki tebal kurang dari 6 mm dan biasanya digunakan untuk manufaktur dengan bentuk gulungan seberat 30.000 kg atau lembaran

datar dan diolah lebih lanjut menjadi berbagai produk. *Sheet* biasanya digunakan untuk mobil dan badan pesawat, wadah makanan dan minuman, peralatan dapur dan peralatan kantor. Sekering pesawat komersial dan badan trailer biasanya terbuat dari aluminium-alloy dengan tebal minimum 1 mm. Misalnya, ketebalan kulit dari pesawat Boeing 747 adalah 1.8 mm dan Lockheed L1011 1.9 mm. *Sheet* yang digunakan untuk mobil dan bagian-bagian lainnya biasanya tebal sekitar 0,7 mm. Kaleng minuman dibuat dari *sheet* dengan tebal 0,28 mm. Setelah diproses menjadi kaleng, lembaran logam diproses menjadi silinder dengan ketebalan dinding 0,1 mm. Aluminium foil (Biasanya digunakan untuk membungkus permen dan permen karet) memiliki ketebalan 0,008 mm, meskipun tipis dibawah 0.003 mm juga dapat diproduksi dengan berbagai jenis logam.







Gambar 2.6 : Beberapa Produk Hasil Pengerolan
Sumber : Groover, 2010 : 397

Pengerolan logam pada umumnya dapat digolongkan berdasarkan jumlah dan susunan roll (Gambar 2.7).



Gambar 2.7 : Susunan Roll Untuk Pengerolan Logam
Sumber : Dieter, 1992 : 588

Keterangan :

-  = Roll
-  = Arah Putaran roll
-  = Benda Kerja (Slab)
-  = Arah Gerakan Benda Kerja (Slab)

Berikut merupakan penjelasan jenis-jenis *roll* diatas :

a) Mesin *roll* dua tingkat

Mesin *roll* ini mempunyai diameter sekitar 0,6 sd 1,4 m. *Roll* ini dapat bekerja secara bolak-balik (*reversing*) atau searah (*nonreversing*). *Roll* yang searah selalu berputar pada arah yang sama dan benda kerja selalu dimasukkan dari sisi yang sama. Lembaran logam bergerak antara *roll* kemudian dihentikan

Keuntungan :

- Luas penampang dapat tereduksi sesuai dengan ukuran yang diinginkan.
- Dapat diatur kemampuannya sesuai dengan ukuran batangan dan laju reduksi.

Kekurangan :

- Ukuran panjang batangan terbatas
- Pada setiap pembalikan siklus pembalikan gaya kelembaman harus diatasi.

b) Mesin *roll* bolak-balik dua tingkat

Benda kerja dapat digerakkan maju mundur melalui *roll-roll* yang arah putarannya dapat dibalik.

Keuntungan :

- Mempunyai kecepatan yang lebih baik daripada *roll* dua tingkat.

Kekurangan :

- Ketika akan melakukan pengerolan ke arah berlawanan, maka mesin harus dimatikan terlebih dahulu.

c) Mesin *roll* tiga tingkat

Roll ini mengurangi kekurangan yang ada dari mesin yang sebelumnya.

Keuntungan :

- Tidak diperlukan arah pembalikan arah putar *roll*, sehingga tidak ada gaya kelembaman yang harus diatasi.
- Biaya lebih murah dan mempunyai keluasaan lebih tinggi dibandingkan dengan mesin *roll* bolak-balik

Kekurangan :

- Diperlukan alat bantu ketika menaruh material.
- Terdapat sedikit kesulitan dalam mengatasi kecepatan *roll*.

d) Mesin empat tingkat

Roll ini menggunakan dua *roll* dengan diameter lebih kecil yang bersentuhan langsung dengan benda kerja dan dua *roll* pendukung untuk menahan *roll* yang berdiameter lebih kecil.

Keuntungan :

- Gaya yang lebih kecil dan energi yang lebih sedikit.

Kekurangan :

- Penampang lebih kecil mengurangi kekakuan, dan *roll* cenderung melengkung sehingga perlu ditopang dengan *roll* diameter besar.

e) Mesin *roll* kluster.

Merupakan pengerol logam tipis menjadi tipis lagi.

Keuntungan :

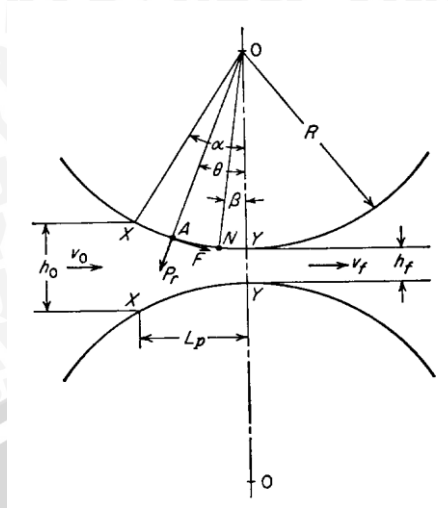
- Memudahkan dalam memperoleh bentuk logam yang tipis sesuai keinginan.

Kekurangan :

- Kecepatan mesin rendah dan proses pengerjaan lama dibandingkan mesin jenis lain.

2.3.2 Gaya Pengerolan Pelat

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



Gambar 2.8 Gaya-gaya Pada Pengerolan
Sumber : Dieter, 1992 : 594

Untuk mengetahui gaya pengerolan yang terjadi maka digunakan persamaan:

$$P = \frac{2}{3} \bar{\sigma}_0 \left[\frac{1}{Q} (e^Q - 1) b \sqrt{R \Delta h} \right] \quad (\text{Sumber : Dieter, 597}) \quad (2-1)$$

Dimana: P = Gaya Penekanan (N)

$\bar{\sigma}_0$ = Tegangan *yield* rata-rata (MPa)

Q = Rasio pengurangan tebal

b = Lebar pelat setelah di roll (mm)

R = Jari-jari *roll* (mm)

Δh = Selisih tebal (mm)

$$\text{Dengan } Q = \frac{\mu L_p}{\bar{h}} \quad (\text{Sumber : Dieter, 597}) \quad (2-2)$$

Dimana : $\mu = \tan \alpha$

L_p = Panjang kontak spesimen dengan *roll* (mm)

\bar{h} = Tebal rata-rata sebelum dan sesudah pengerolan (mm)

$$\text{Dengan } L_p = [R (h_0 - h_f)]^{1/2} \quad (\text{Sumber : Dieter, 594}) \quad (2-3)$$

Dimana : R = Jari-jari *roll* (mm)

h_0 = Tebal sebelum pengerolan (mm)

h_f = Tebal sesudah pengerolan (mm)

Sedangkan untuk presentasi reduksinya

$$R = 100\% \left(\frac{h_0 - h_f}{h_0} \right) \quad (\text{Sumber : Dieter, 598}) \quad (2-4)$$

Dimana : R = Reduksi (%)

h_0 = Tebal sebelum pengerolan (mm)

h_f = Tebal sesudah pengerolan (mm)

2.4 Proses Pengerjaan Logam

Menurut 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 *melting* dari suatu logam ($T > 0,6 \times T_m$), dan pengerjaan dingin dikerjakan pada suhu dibawah 0.35 kali suhu *melting* ($T < 0,35 \times T_m$). sedangkan suhu diantara $0,35 \times T_m \leq T \leq 0,6 \times T_m$ termasuk dalam pengerjaan hangat (*Warm working*). Untuk logam aluminium *hot working* dapat terjadi jika dikerjakan di atas 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, 1998).

2.4.1 Proses Pengerjaan Panas

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

1. Perubahan bentuk yang terjadi cukup besar tanpa mengalami cacat.
2. Porositas dalam logam dapat dikurangi, dengan tekanan kerja yang tinggi maka cacat yang ada berupa lubang didalam material dapat hilang.
3. Butiran pada bahan akan diperhalus karena proses berlangsung pada daerah rekristalisasi dan pengerjaan panas berlangsung terus sehingga dihasilkan butiran yang halus.
4. Sifat fisik 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 kekurangan, diantaranya:

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

2.4.2 Proses Pengerjaan Dingin

Proses pengerjaan dingin didefinisikan sebagai proses pembentukan yang dilakukan pada daerah temperatur dibawah temperatur rekristalisasi. Dalam prakteknya, umumnya pangerjaan dingin dilakukan pada temperatur kamar, atau dengan kata lain tanpa pemanasan benda kerja. Proses ini mempunyai keuntungan dan kerugian sebagai berikut:

1. Tidak perlu pemanasan.
2. Permukaan akhir lebih baik.
3. Pengaturan dimensi lebih bisa terkendali, sehingga walaupun ada sangat sedikit sekali proses pemesinan lanjut.
4. Produk yang dihasilkan mempunyai *reproducibility* (mampu diproduksi kembali dengan kualitas yang sama) *interchangeability* (mampu tukar) yang lebih baik.
5. Kekuatan, kekuatan lelah (*fatigue strength*) dan ketahanan ausnya lebih baik.

Kekurangan dari proses ini adalah sebaga berikut:

1. Diperlukan gaya yang besar untuk melakukan deformasi.
2. Perlu peralatan yang berat dan berdaya besar.
3. Produk menjadi kurang ulet.
4. logam harus bersih dan bebas kerak.
5. Terjadi pengeras regangan (*strain hardening*) sehingga perlu poses pelunakan (*annealing*) antara proses bila digunakan proses deformasi.

2.4.3 Proses Pengerjaan Hangat

Proses pengerjaan hangat merupakan proses pembentukan logam dimana temperatur deformasinya terletak diantara temparatur proses pengerjaan panas dan pengerjaan dingin. Apabila dibandingkan dengan proses pengerjaan dingin, proses pengerjaan hangat menawarkan beberapa keuntungan, yaitu turunya gaya pada perkakas

dan peralatan, menaikkan keuletan material serta dapat menurunkan jumlah proses pelunakan (*annealing*) karena turunnya efek pengerasan regangan. Proses pengerjaan hangat memperluas kemungkinan penggunaan proses *forming* untuk berbagai jenis material dan berbagai bentuk dan ukuran.

Apabila dibandingkan dengan proses pengerjaan panas, maka pengerjaan hangat melakukan sedikit lebih energi (energi untuk pelumasan benda kerja), metalurgi pembentukan kerak (*scaling*) dan dekarburisasi, memberikan ketelitian, pengaturan deminsi dan *surface finish* yang lebih baik. Umur pahat menjadi lebih panjang, meskipun gaya pembentukan 25-60% lebih besar, kejutan thermal dan *fatigue termal* yang lebih kecil.

Meskipun demikian pengerjaan hangat masih merupakan bidang yang sedang dan terus berkembang. Walaupun ada beberapa kendala yang menghambat pertumbuhannya, kendala-kendala tersebut antara lain adalah perilaku material belum terkarakteristik dengan baik pada kondisi temperatur pengerjaan hangat, pelumasan belum sepenuhnya dikembangkan untuk kondisi temperatur dan tekanan operasi kerja serta teknologi perancangan untuk pengerjaan hangat belum begitu sempurna. Namun demikian dorongan akan perlunya penghematan energi dan keuntungan-keuntungan lain yang ditawarkan oleh proses ini sangat mendorong pengembangan lebih lanjut.

2.5 Kemampubentukan Pengerolan

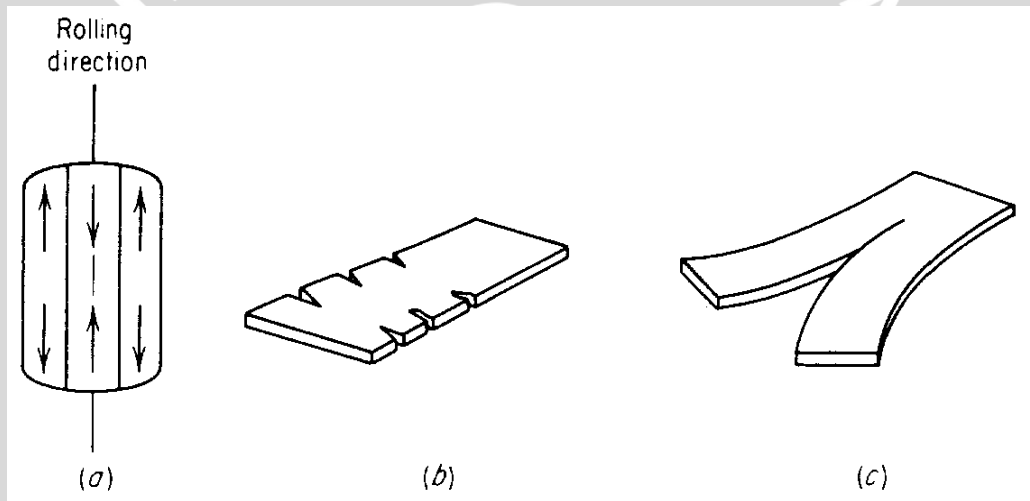
Kemampubentukan pengerolan adalah suatu kemampuan dari material untuk mengalami deformasi plastis (pengerolan) sampai dimensi yang ditentukan tanpa mengalami cacat pada material baik pada proses pengerjaan dingin, pengerjaan hangat, maupun pengerjaan panas. Pada prinsipnya material menerima beban dan akhirnya terdeformasi plastis sehingga material mempunyai penambahan panjang dan lebar serta berkurangnya tebal tanpa mengalami atau tanpa terjadi cacat pada material tersebut pada suhu pengerjaan yang diinginkan. Jika material semakin banyak cacat yang terjadi setelah pengerolan maka kemampubentukan material tersebut dianggap rendah, sedangkan material yang mengalami pengerolan dan mengalami cacat yang sedikit maka kemampubentukan material tersebut dianggap tinggi. Selain itu kemampubentukan dapat dilihat dari pertambahan panjang yang terjadi pada spesimen setelah pengerolan dengan pertambahan panjang pada spesimen hasil pengujian tarik. (Kalpakjian : 2009).

2.6 Cacat Pada Proses Pengerolan

Pada proses pengerolan sering ditemukan cacat, antara lain:

1. Cacat Cetakan

Cacat ini diakibatkan oleh terjadinya pertambahan panjang pada lateral dan kemudian dihambat oleh gaya-gaya gesek *transversal*. Kemudian adanya bukit gesekan maka gaya gesekan mengarah ke pusat lembaran. Hal ini mengakibatkan terjadinya penyebaran yang lebih sempit dari pada tepinya. Lembaran mengalami pertambahan panjang sementara itu pengurangan tebal tepi akan meyebar kearah *lateral*, sehingga lembaran dapat sedikit mengalami pembulatan pada ujung-ujungnya. Dari hubungan kontinuitas antara tepi dengan pusat, maka pinggiran mengalami regangan, suatu kondisi yang menimbulkan retak tepi.

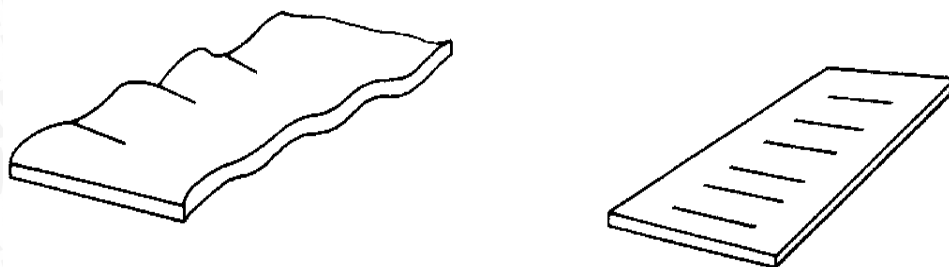


Gambar 2.9: Cacat Penyebaran Kesamping (*Defects Resulting from Lateral Spread*)

Sumber: Dieter, 1992 : 604

2. Cacat Kerataan

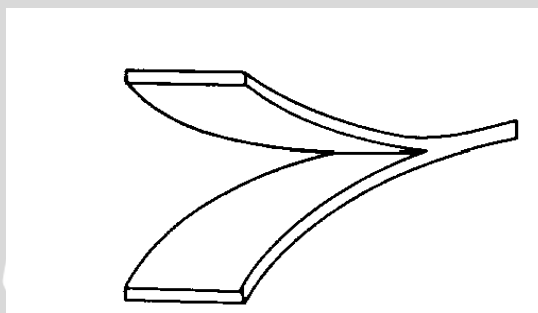
Cacat pengerolan ini terjadi pelat tidak rata saat dilakukan proses canai. Hal ini mengakibatkan terjadinya perbedaan panjang pada tempat tertentu dimana lembaran tipis dan pelat menjadi berombak.



Gambar 2.10: Cacat Kerataan
Sumber: Dieter, 1992 : 603

3. Cacat Pembelahan (*Alligatoring*)

Cacat Pembelahan (*Alligatoring*) terjadi karena ada ikatan lembaran akibat salah satu bagian *roll* lebih tinggi atau lebih rendah dibandingkan dengan celah *roll*.



Gambar 2.11: *Alligatoring*
Sumber: Dieter, 1992 : 605

4. Perbedaan Ketebalan Antar Sisi

Cacat ini terjadi karena adanya perbedaan ketinggian celah *roll*, akibatnya ketebalan hasil *roll* tidak sama ketebalannya pada masing-masing sisi dan pada salah satu sisi lembaran akan lebih panjang dari pada sisi yang lain, akibatnya pelat menjadi melengkung.

5. Tebal Material Yang Tidak Sama Pada Semua Tempat

Cacat ini terjadi karena adanya deformasi elastis pada *roll*. Produk pelat lebih tebal bagian tengah dari pada dibagian pinggir.

6. Cacat-cacat Lain

Sebagai contohnya: porositas, keriput, kampuh dan lain sebagainya.

2.7 Hipotesis

Semakin tinggi suhu pemanasan maka kemampubentukan yang terjadi akan semakin baik. Hal ini dikarenakan semakin tinggi suhu maka kekuatannya akan menurun. Menurunnya kekuatan tarik menyebabkan duktilitasnya semakin baik,

dengan duktilitas mengalami peningkatan akan menyebabkan kemampubentukan menjadi lebih baik. Serta proses pembentukan material akan semakin mudah dilakukan dengan mesin roll.

Deformasi tidak menyebabkan terjadinya penguatan logam. Tegangan alir bahan akan semakin kecil dengan semakin tingginya temperatur operasi. Energi deformasi yang dibutuhkan menjadi lebih kecil pada temperatur lebih tinggi. Jadi bisa dikatakan semakin tinggi temperatur pemansan benda kerja maka cacat yang terjadi kemungkinan bisa diperkecil.

