

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Vives, C. tahun 1989 melakukan penelitian yang berjudul “ *Grain Refinement in Continuously Cast Ingot of Light Metal by Electromagnetic Casting*” menyebutkan bahwa adanya aliran paksa (oleh gaya lorentz) yang ditimbulkan dengan memberikan medan magnet disekitar cetakan serta arus listrik pada logam ingot dengan arah transversal medan magnet. Memungkinkan untuk menghambat pertumbuhan butir selama proses pembekuannya. Pengadukan yang terjadi menyebabkan semakin banyaknya inti yang terbentuk akibat proses pergerakan inti di dalam cairan. Dengan demikian diperoleh stuktur yang berbutir halus.

J Patarić, Z.Gulišija, B. Jordović, dan B. Nedeljković tahun 2005 melakukan penelitian yang berjudul “ *Effect of Electromagnetic Field on the Microstructure of Continual Casting Al 2024 Alloy Ingots*” dari hasil pengamatannya di bawah pengaruh medan elektromagnetik frekuensi rendah (30-50 Hz) produk *Electromagnetic Casting* (EMC) menunjukkan hasil struktur yang lebih halus dan homogen serta butir seragam melintang. Hal ini disebabkan adanya aliran paksa *electromagnetic*, yang timbul dari perpotongan antara arus listrik yang dialirkan pada logam ingots serta medan magnet berfrekwensi yang dibangkitkan disekitar cetakan, hal ini akan menyebabkan peningkatan kecepatan aliran logam cair, sehingga dihasilkan panas konveksi, *microstructure* yang lebih seragam dan mengurangi efek gravitasi yang mempengaruhi segregasi.

Ahmed Daoud dan Nedeltcho KandeV, tahun 2008 melakukan penelitian yang berjudul “ *Magneto-Hydrodynamic Numerical Study of DC Electromagnetic Pump for Liquid Metal*”. Dalam makalah ini, hasil yang disajikan berupa 3D *numerical magneto-hydrodynamic* (MHD) simulasi menggunakan arus searah (DC) pada pompa elektromagnetik aluminium cair Reynolds untuk mengetahui pengaruh jarak relatif elektroda terhadap ketidak seragaman kerapatan fluks medan magnetik yang diterima daerah logam cair. Dari hasil simulasi numerik terbentuk sebuah kurva para bola terbalik dari jarak relatif elektroda terhadap kerapatan fluks medan magnetis.

2.2 Pengecoran Logam

Pengecoran merupakan suatu proses dimana logam cair dialirkan ke dalam cetakan dengan gaya berat atau gaya yang lainnya dalam sebuah cetakan dimana logam cair akan membeku sesuai dengan bentuk pola cetakan. Dalam melakukan pengecoran logam terdapat beberapa urutan kegiatan yang harus dilakukan, diantaranya adalah seperti membuat cetakan, pencairan logam, penuangan logam, pembersihan hasil coran, dan pemeriksaan hasil coran.

Klasifikasi proses pengecoran didasarkan pada bahan cetakan, proses pembuatan dan metode pengisian cetakan dengan logam cair. Secara umum proses pengecoran dikelompokkan menjadi dua yaitu:

1. *Expandable mold casting*

Expandable mold casting adalah cetakan yang harus dibuat setiap akan melakukan proses pengecoran. Bahan cetakan umumnya adalah pasir, gips, keramik, dan material sejenis yang dicampur dengan bahan pengikat.

2. *Permanent mold casting*

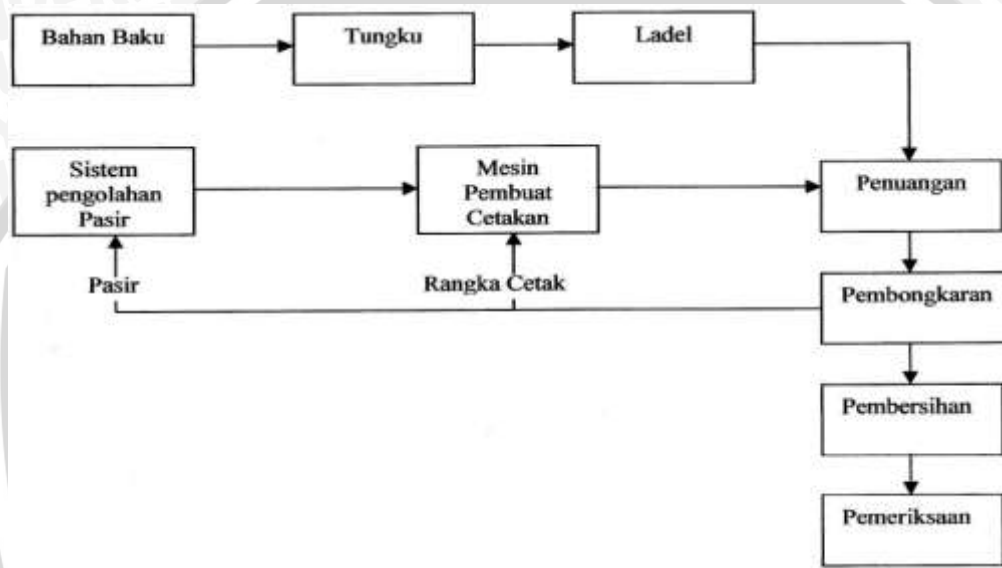
Permanent mold casting adalah pengecoran dengan cetakan tetap, bahan cetakan terbuat dari baja atau logam tahan panas yang lain. Untuk meningkatkan umur pemakaian cetakan, permukaan cetakan dilapisi dengan refraktori contohnya sodium silikat atau disemprot dengan grafit pada setiap saat memulai proses pengecoran. Dengan cetakan ini dihasilkan produk dengan *surface finish* yang baik dan laju produksi yang tinggi, terutama untuk produk pengecoran yang kurang dari 25 kg.

2.3 Pengecoran Cetakan Pasir

Pengecoran cetakan pasir adalah pengecoran yang paling lazim digunakan dalam industri pengecoran logam. Cetakan ini biasanya dibuat dengan cara memadatkan pasir, pasir yang digunakan bisa berupa pasir alam maupun pasir buatan yang mengandung lempung. Cetakan pasir merupakan cetakan yang mudah dibuat dan ekonomis jika menggunakan pasir yang sesuai.

Dalam penggunaannya terkadang dicampurkan bahan pengikat khusus seperti air kaca, semen, resin furan, resin fenol atau minyak pengering. Penggunaan bahan-bahan

pengikat khusus ini perlu mempertimbangkan bentuk, bahan dan jumlah produk, karena penggunaan bahan pengikat khusus cukup mahal. Peningkatan kekuatan cetakan pasir juga harus tetap memperhitungkan aspek-aspek seperti permeabilitas, kehalusan permukaan cetakan, mampu bentuk, mampu ambruk, ukuran serta bentuk benda coran (Tata surdia, 1986: 3). Dalam proses pengecoran logam cetakan pasir biasanya diperlukan pembuatan pola, inti, mandrel, penyangga, rangka cetak serta sistem saluran. Memudahkan untuk memahami keseluruhan proses pengecoran cetakan pasir dapat dilihat pada gambar 2.1 dibawah ini.

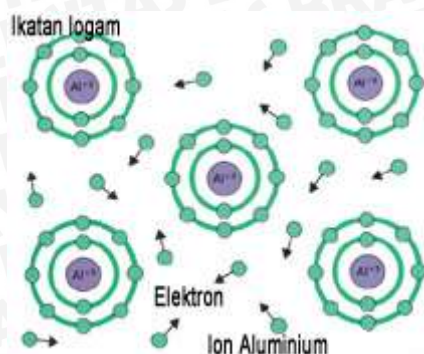


Gambar 2.1 Diagram alir proses pengecoran logam cetakan pasir
Sumber : Tata surdia. 1986 : 3

2.4 Logam

2.4.1 Ikatan Logam

Jika sejumlah besar atom bergabung dengan berbagi elektron masing-masing, ini disebut ikatan logam. Logam seperti besi, tembaga, seng, aluminium, dan lain-lain, yang membentuk materi mentah pada banyak perkakas dan instrumen yang kita lihat atau gunakan sehari-hari, mendapatkan struktur yang padat dan rapat karena ikatan-ikatan logam yang terbentuk oleh atom-atomnya. Pada ikatan logam, elektron-elektron ikatan terdelokalisasi pada kisi-kisi (*lattice*) atom. Berbeda dengan senyawa organik, lokasi elektron yang berikat dan muatannya adalah statik. Ikatan antara atom-atom logam sangat berbeda dengan bentuk ikatan kimia lain karena setiap atom logam menyumbangkan elektron terluarnya pada kolam umum. "Lautan elektron" ini menjelaskan sifat kunci logam serta kemampuan logam menghantarkan listrik.



Gambar 2.2 Ilustrasi katan logam pada aluminium
Sumber : Ayu gelulis. 2009 : 1

Dalam interaksi antar atom logam, ikatan kimia dibentuk oleh gaya tarik menarik-menarik elektron oleh inti (nucleus) yang berbeda. Asalnya elektron milik satu atom yang ditarik oleh inti atom tetangganya yang bermuatan +, dan elektron ini disharing dengan gaya tarik yang sama oleh inti lain yang mengitarinya. Akibat jumlah elektron valensi yang rendah dan terdapat jumlah ruang kosong yang besar, maka e^- memiliki banyak tempat untuk berpindah. Keadaan demikian menyebabkan e^- dapat berpindah secara bebas antar kation-kation tersebut. Elektron ini disebut “*delocalized electron*” dan ikatannya juga disebut “*delocalized bonding*” ditunjukkan pada gambar 2.2.

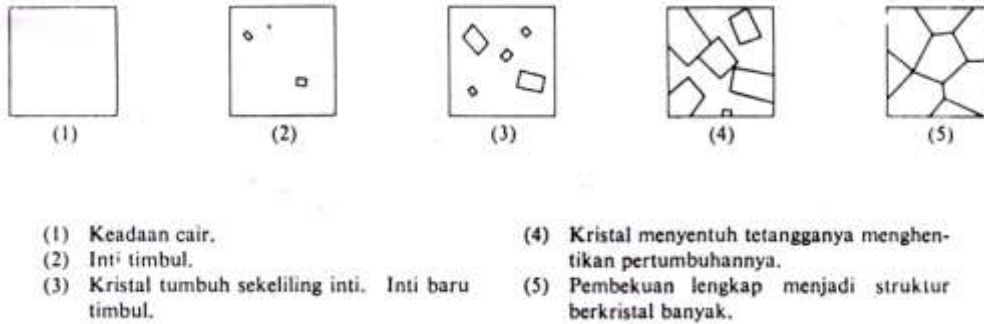
Elektron bebas dalam orbit ini bertindak sebagai perekat atau lem. Kation yang tinggal berdekatan satu sama lain saling tarik menarik dengan elektron sebagai semennya. Pada leburan logam, ikatan logam tetap ada, meskipun susunan strukturnya telah rusak. Ikatan logam tidak sepenuhnya putus sampai logam mendidih. Hal ini berarti bahwa titik didih merupakan penunjuk kekuatan ikatan logam dibandingkan dengan titik leleh. Pada saat meleleh, ikatan menjadi longgar tetapi tidak putus.

2.4.2 Solidifikasi Logam

Semua logam pada proses pembekuan membentuk kristal, yaitu susunan teratur (*ordered*) atom-atom yang berulang (*repetitive*) dalam suatu ruang. Proses ini dapat dijelaskan sebagai berikut.

Atom logam pada kondisi cair berada dalam posisi tidak teratur. Ketika mulai membeku, atom-atom mulai menyusun diri dalam suatu struktur ruang. Atom yang mula-mula menyusun diri adalah atom yang lebih dahulu stabil. Susunan awal atom disebut inti dan proses pembentukan inti disebut pengintian (*crystallization*) (Gambar 2.3). Misalnya, logam dengan kristal FCC, maka untuk membentuk inti diperlukan 14

atom. Setelah terbentuk inti, atom-atom lain disekitarnya akan mengikuti inti tersebut, sehingga seolah-olah inti berkembang dan memiliki cabang-cabang yang disebut *dendrite* (Gambar 2.4).



Gambar 2.3. Ilustrasi skematis dari pembekuan logam
 Sumber: Surdia, T. 1986 : 14

Pada proses pengintian akan timbul banyak inti sehingga banyak pula muncul *dendrite*, yang masing-masing memiliki arah orientasi yang berbeda-beda. Dendrit akan berkembang lebih besar sehingga nantinya akan menyinggung *dendrite-dendrite* lain (tetangganya) yang juga berkembang. Permukaan singgung ini disebut batas butir (*grain boundary*), sedangkan susunan kristal yang dibatasi oleh batas butir disebut butir.

Jika logam didinginkan dengan lambat, maka *dendrite* memiliki waktu cukup untuk tumbuh, sehingga akan terbentuk butir-butir yang besar. Sebaliknya, pendinginan logam secara cepat akan menimbulkan butir-butir yang kecil. Perbedaan ukuran butir menyebabkan perbedaan sifat mekanik.



Gambar 2.4 Dendrit yang tumbuh dari sebuah inti, perbesaran 250 kali
 Sumber : Alexander, W. 1990 : 46

Pada proses pengecoran, solidifikasi terjadi saat logam cair bersentuhan dengan cetakan, dimana terjadi gradien temperatur yang tinggi, sehingga temperatur bagian luar logam cair lebih rendah dari pada bagian dalam, sehingga inti atom mulai terbentuk dari bagian yang dekat dengan cetakan, lalu berkembang kebagian dalam, dari bentuk kecil lalu membesar sepanjang arah logam cair. Inti tersebut kemudian membentuk butir sepanjang luasan logam cair dan berbentuk kolom-kolom, dan pada akhirnya memadat seluruhnya.

2.5 Struktur Makro Produk Pengecoran

Struktur makro adalah ciri bahan yang dapat dilihat mata, meskipun dalam praktek kerap kali digunakan pembesaran hingga sepuluh kali. Tujuan utama pemeriksaan makro adalah untuk menampilkan: rongga, inklusi, segregasi komposisi, struktur serat, deformasi, dan efek pelakuan panas setempat, yang semuanya mempunyai pengaruh yang besar terhadap sifat teknik bahan atau benda.

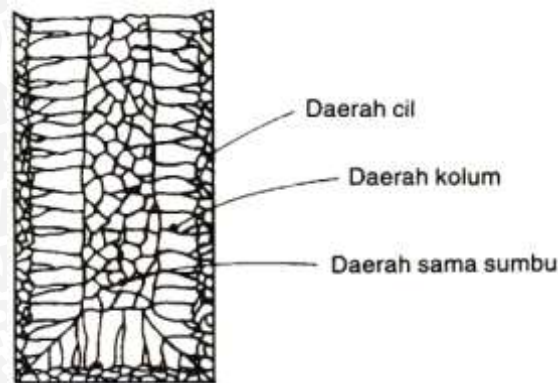
Umumnya ada tiga daerah yang bisa ditemui pada pembekuan logam coran dapat dilihat pada gambar 2.5, antara lain sebagai berikut :

- Daerah pembekuan cepat (*chill zone*)

Daerah ini berada paling luar yang mana lebih dipengaruhi oleh *heat removal*. Struktur ini terbentuk pada kontak pertama antara dinding cetakan dengan logam cair pada saat dituang kedalam cetakan. Dibawah suhu lebur beberapa inti terbentuk dan tumbuh kedalam cairan. Suhu cetakan yang mulai naik memungkinkan kristal yang membeku menyebar meninggalkan dinding karena pengaruh aliran cairan. Dan apabila suhu penuangan yang cukup tinggi dimana cairan yang berada tengah – tengah coran tetap diatas temperatur leburnya sehingga dapat menyebabkan kristal yang dekat dengan daerah tersebut mencair lagi meninggalkan dinding cetakan. Hanya kristal yang berada pada dinding cetakan yang tumbuh menjadi *chill zone*.

- *Columnar zone*

Columnar zone merupakan struktur yang tumbuh setelah gradien suhu pada dinding cetakan turun dan kristal pada *chill zone* tumbuh secara dendritik dengan arah yang tegak lurus dengan dinding cetakan. Batas permukaan antara struktur kolumnar dengan cairan dapat berbentuk selular maupun selular dendritik.



Gambar 2.5 Struktur ingot dengan daerah *chill*, *columnar*, dan *equiaxed zone*
 Sumber : Alexander, W. 1990 : 99

- *Equiaxed zone*

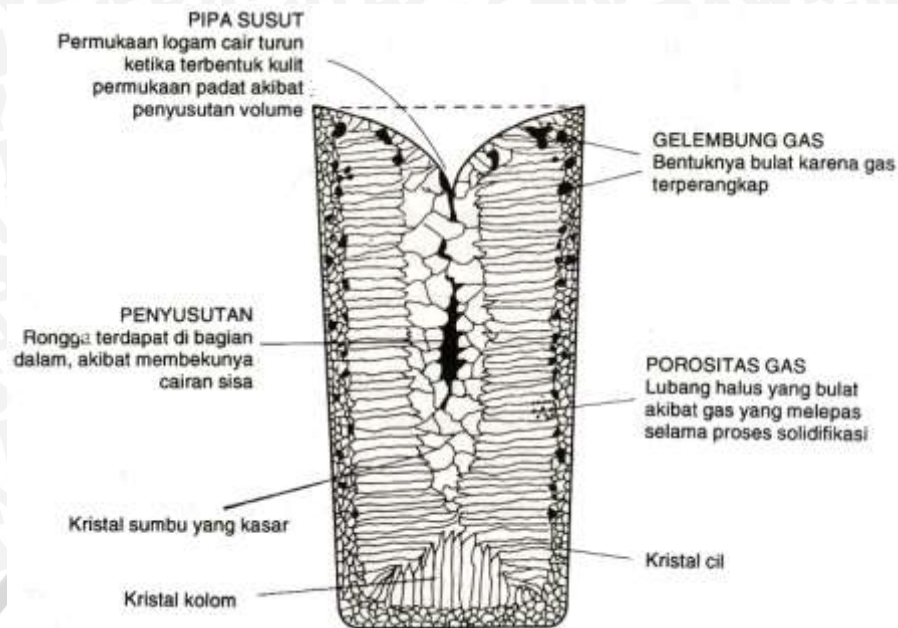
Struktur ini terdiri dari butiran yang bersumbu sama dengan arah acak. Asal dari butiran ini adalah mencairnya kembali lengan dendrit. Bila suhu disekitar masih tinggi, setelah cabang dendrit tersebut terlepas dari induknya dan tumbuh menjadi dendrit yang baru.

2.5.1 Kekosongan

Ada dua penyebab utama terjadinya kekosongan, yaitu gelembung udara dan rongga susut. Gelembung gas mungkin terperangkap dalam logam yang dilebur atau yang dicor dan gas berusaha meninggalkan larutan sewaktu logam didinginkan tetapi tidak sempat keluar saat terjadi pembekuan (solidifikasi).

Dua-duanya menghasilkan rongga ber dinding halus. Rongga susut terjadi karena logam susut sewaktu membeku. Cairan yang terdapat di tengah cetakan dapat mengisi kekosongan di tempat lainnya. Bila hal ini tidak terjadi, maka akan terbentuk rongga. Perbedaan antara kedua jenis kekosongan tersebut ialah bahwa rongga susut mempunyai permukaan kasar dan cenderung intergranular.

Ketika logam cair mulai membeku, pada dinding cetakan laju pendinginan lebih cepat dan gelembung-gelembung gas terperangkap membentuk rongga bulat. Dekat pusat penampang, tampak rongga susut dengan bentuk dan permukaan yang tak teratur. Dekat permukaan ingot, logam dekat cetakan membeku dengan cepat, tetapi bagian tengah yang masih cair turun akibat penyusutan pada bagian bawah ingot. Di sini, terbentuk rongga yang besar yang disebut pipa. Kadang-kadang, pipa terbentuk dibagian bawah ingot dan bergantung pada perkembangan pendinginan logam cair.



Gambar 2.6 Struktur ingot yang melukiskan berbagai gambaran makrostruktur
 Sumber : Alexander, W. 1990 : 64

Kekosongan dalam benda coran akan mengurangi penampang efektif benda dan melemahkannya. Selain itu, jika kekosongan sambung-menyambung, coran akan bersifat *pouros* sehingga mudah menyerap gas atau cairan.

2.5.2 Inklusi

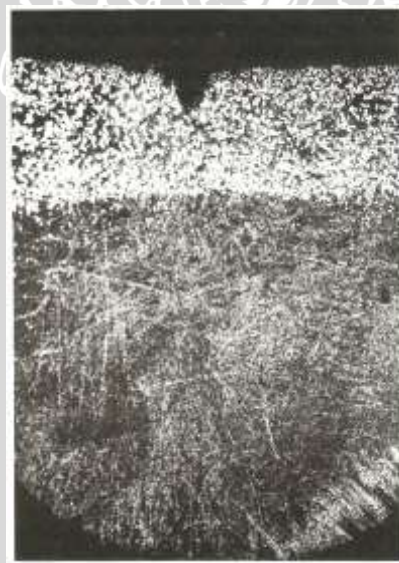
Ketika logam membeku, kotoran bukan logam yang terdapat di dalamnya akan terperangkap. Kotoran tersebut dapat berupa partikel oksida halus yang terjadi selama pencairan atau gelembung ikatan mirip gelas yang digunakan untuk melindungi permukaan logam pada saat peleburan. Bahkan, kotoran dapat berbentuk kepingan keramik yang rontok dari atap atau dinding dapur. Inklusi ini, dengan sendirinya, melemahkan bahan karena mengurangi daya tahan beban karena bertindak sebagai takik yang merupakan awal retak.

2.5.3 Segregasi

Segregasi adalah perubahan komposisi kimia secara bertahap pada penampang logam dan biasanya dijumpai pada coran. Pada skala makro, variasi komposisi meliputi jarak beberapa milimeter bahkan sentimeter, dan umumnya dijumpai dalam tiga jenis bentuk.

- Segregasi Gravitasi

Segregasi Gravitasi didefinisikan sebagai pemisahan bertahap dari bahan akibat perbedaan berat jenis, sewaktu proses pembekuan berlangsung. Contoh terbaik yang dapat dikemukakan di sini adalah pemisahan kubus-kubus SbSn pada paduan timbal-timah-antimon, yang digunakan untuk membuat bantalan logam-putih (lihat Gambar 2.7). Paduan ini beku pada kisaran temperatur yang luas. Pada kisaran ini kubus SbSn terpisah dari cairan. Oleh karena berat jenisnya lebih rendah, kubus-kubus tersebut terapung. Perlu diketahui bahwa sifat bantalan bergantung pada dispersi yang merata dari kubus-kubus yang keras ini dalam matriks logam yang lebih lunak. Penyelesaian secara metalurgi diperoleh dengan menambahkan sejumlah kecil tembaga sebagai paduan tambahan. Tembaga akan membentuk ikatan antar logam, yaitu Cu_6Sn_5 yang kemudian memisahkan diri dan membentuk rangkaian halus yang berbentuk jaringan dalam cairan logam. Kubus-kubus SbSn yang terbentuk tidak dapat terapung karena terhalang oleh jaringan sehingga tersebar dengan merata.



Gambar 2.7 Penampang coran segregasi kubus Sb-Sn, perbesaran 5 kali
Sumber : Alexander, W. 1990 : 67

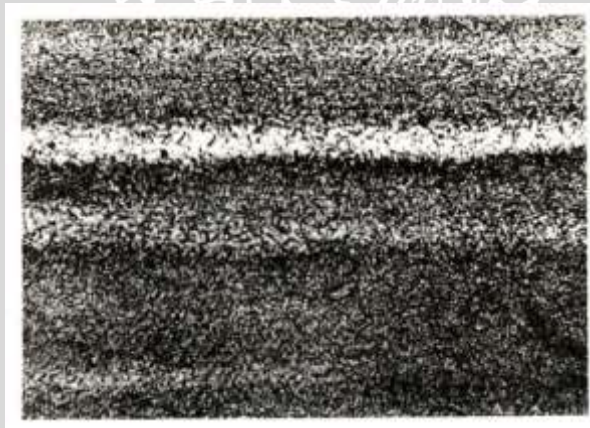
Segregasi gravitasi juga terjadi pada cairan yang tidak dapat bercampur, misalnya timbal dan paduan tembaga. Timbal di tambahkan untuk memperbaiki kemampuan pemesinan paduan tembaga. Timbal yang lebih berat tidak mungkin membentuk campuran merata. Akibatnya, selain kekuatan yang berkurang, kemampuan pemesinan yang didambakan juga tidak tercapai.

- Segregasi Normal

Segregasi normal adalah penambahan bertahap bagian yang mempunyai titik cair rendah yang terhimpun dalam bagian terakhir coran yang akan membeku. Kristal padat yang pertama-tama membeku kaya akan unsur paduan dengan titik cair tinggi. Ketika solidifikasi meningkat, bagian padat yang membeku meninggalkan cairan dengan perbandingan kandungan bahan bertitik cair rendah yang semakin besar.

- Segregasi Inversi

Segregasi inversi merupakan kebalikan dari segregasi normal. Bagian bahan dengan titik cair rendah terdapat dibagian luar coran. Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut. Ketika solidifikasi mulai terjadi segregasi berlangsung secara normal. Tetapi pada akhir solidifikasi, cairan yang kini kaya akan bahan dengan titik cair yang rendah terdesak keluar oleh butiran dendritik yang tumbuh. Ada beberapa penyebab, yaitu: tekanan di pusat yang bertambah menyebabkan pelepasan gas secara tiba-tiba pada sisa cairan dalam ruang antar kristal kolom yang menyusut atau kontraksi termal kulit luar.



Gambar 2.8 Segregasi paduan struktur lapis, perbesaran 300 kali
Sumber : Alexander, W. 1990 : 68

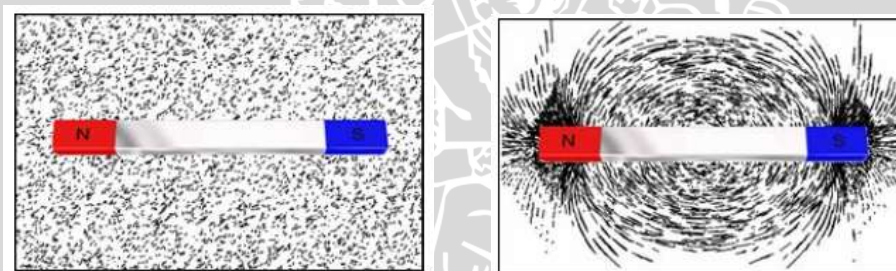
Bagian dengan titik cair rendah biasanya membentuk ikatan intermetalik yang rapuh. Sehingga segregasi inversi pada permukaan ingot merupakan cacat yang sangat mengganggu. Akibatnya akan cukup parah apabila ingot di rol panas atau dingin. Bila segregasi tidak dihilangkan terlebih dahulu, mungkin akan terjadi retak selama pengerjaan lebih lanjut. Masalah bertambah sulit, bila hal ini terjadi pada *slab* paduan aluminium berkekuatan tinggi.

Pada baja, segregasi unsur paduan dapat menghasilkan “ *banding* ” atau struktur lapisan. Pengaruh perlakuan panas menimbulkan struktur yang berbeda (Gambar 2.8)

2.6 Kemagnetan

Fenomena kemagnetan yang mula-mula diamati orang tak diragukan lagi ialah fenomena yang terlihat pada yang disebut magnet alam berupa pecahan-pecahan kasar sejenis besi yang ditemukan dekat kota kuno Magnesia (asal kata magnet) di Yunani. Magnet alam bersifat menarik besi kepadanya yang tidak magnetik. Efek paling besar terjadi di bagian tertentu magnet itu, yaitu di bagian yang disebut kutub-kutubnya.

Dewasa ini orang berpendapat bahwa semua apa yang disebut fenomena kemagnetan itu terjadi akibat adanya gaya antara muatan listrik yang bergerak. Artinya muatan bergerak relatif terhadap seorang pengamat akan menimbulkan medan magnetik dan juga medan elektrostatik, dan medan magnet ini mengerjakan gaya pada muatan lain yang bergerak relatif terhadap pengamat.



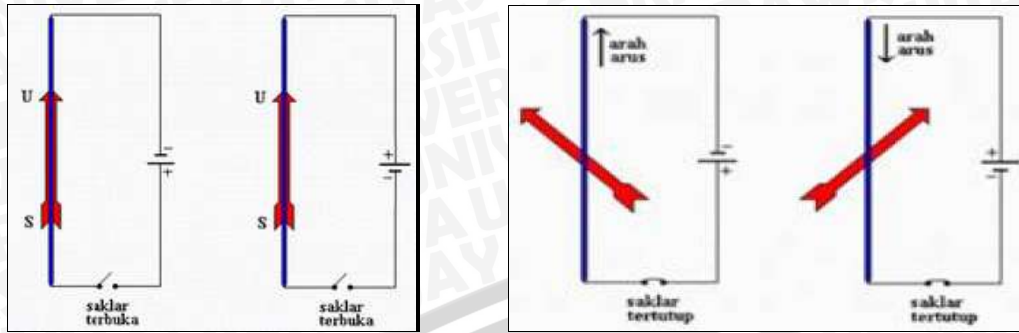
Gambar 2.9 Efek medan magnet terhadap serbuk besi
Sumber : Ali, Muhamad. 2008 : 5

Karena semua elektron dalam atom bergerak mengelilingi inti atom dan karena tiap elektron berputar terus –menerus pada sumbunya, maka semua atom dapat juga memperlihatkan efek kemagnetan.

2.6.1 Induksi Elektromagnet

2.6.1.1 Arus Listrik Menimbulkan Medan Magnet

Medan magnet adalah ruang disekitar magnet dimana tempat benda-benda tertentu mengalami gaya magnet. Hans Christian Oersted (1777-1851 orang Denmark) merupakan orang pertama yang menemukan adanya medan magnet disekitar arus listrik. Pada gambar 2.10 tampak jarum kompas diletakkan di bawah kawat penghantar.

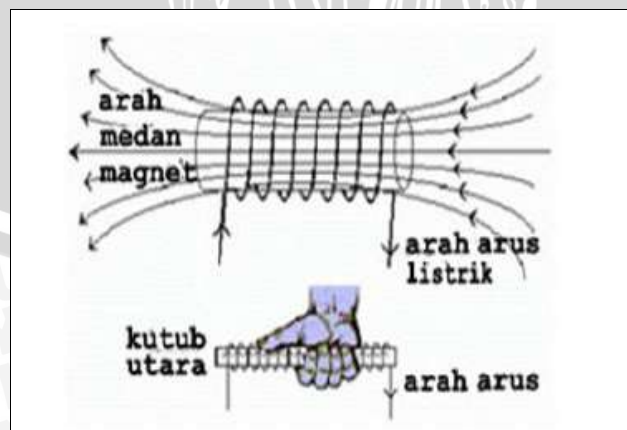


Gambar 2.10 Efek arus listrik terhadap jarum kompas
 Sumber : Ali, Muhamad. 2008 : 7

Saat saklar terbuka, pada kawat tidak ada arus listrik yang mengalir dan jarum kompas pada posisi sejajar dengan kawat. Apabila saklar ditutup sehingga arus mengalir pada kawat penghantar, maka jarum kompas menyimpang. Simpangan jarum kompas tergantung arah arus pada kawat dan letaknya. Dari percobaan yang pernah dilakukan, Oersted menyimpulkan bahwa “disekitar penghantar berarus listrik timbul medan magnet”.

2.6.1.2 Bentuk Medan Magnet Disekitar Solenoida Berarus

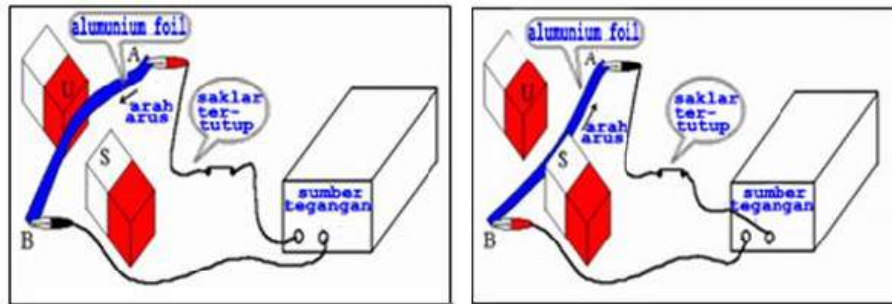
Bila suatu kumparan diberi arus listrik, setiap bagian kumparan ini menimbulkan medan magnet disekitarnya. Medan magnet yang timbul merupakan gabungan medan magnet dari tiap bagian itu. Garis-garis medan magnet di dalam solenoida (kumparan) saling sejajar satu dengan lainnya, yang dinamakan medan magnet homogen. Untuk menentukan arah medan magnet dalam solenoida digunakan aturan tangan kanan seperti pada penghantar melingkar.



Gambar 2.11 Arah medan magnet pada solenoida
 Sumber : Ali, Muhamad. 2008 : 15

2.6.1.3 Gaya Magnetik (Gaya Lorentz)

Pada rangkaian di samping, apabila saklar ditutup maka arus listrik mengalir dari A ke B. Pada saat itu aluminium foil akan melengkung ke atas. Kemudian bila kutub sumber dibalik (arus mengalir dari B ke A), ternyata aluminium foil melengkung ke bawah.

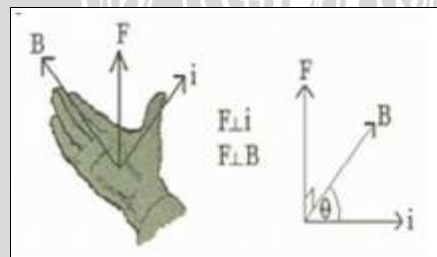


Gambar 2.12 Arah gaya Lorentz pada aluminium foil
Sumber : Ali, Muhamad. 2008 : 24

Yang menyebabkan aluminium foil melengkung ke atas atau ke bawah tidak lain adalah suatu gaya yang dikenal sebagai gaya magnetik (gaya Lorentz). Jadi arus listrik yang berada di dalam medan magnet mengalami gaya magnetik. Arah gaya magnetik ini tergantung pada arah arus dan arah medan magnet.

Untuk menentukan arah gaya magnetik (gaya Lorentz) digunakan aturan tangan kanan sebagai berikut:

-) arah ibu jari menunjukkan arah arus listrik (i)
-) arah jari telunjuk menunjukkan arah medan magnet (B)
-) dorongan telapak tangan menunjukkan arah gaya Lorentz (F)



Gambar 2.13 Kaidah tangan kanan pembangkitan gaya Lorentz
Sumber : Ali, Muhamad. 2008 : 37

Besarnya gaya Lorentz dapat dihitung dengan persamaan :

$$F = B I L \sin \theta \quad (2-1)$$

Dimana :

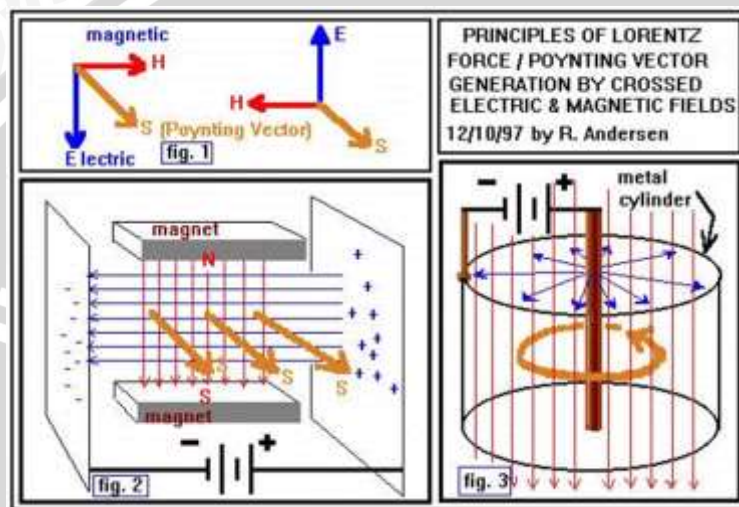
I = besar kuat arus listrik

B = besar medan magnet

L = panjang kawat

θ = sudut antara arah arus terhadap arah medan magnet

Berikut contoh pembangkitan gaya Lorentz beserta arah vektor gaya, medan magnet serta arus listrik.



Gambar 2.14 Arah vektor gaya Lorentz, medan magnet serta arus listrik

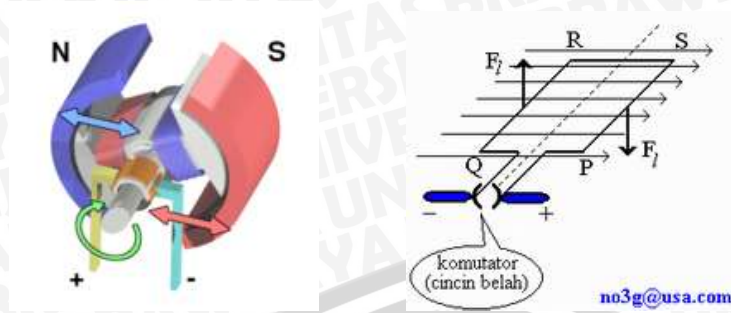
Sumber : Ali, Muhamad. 2008 : 39

2.6.2 Penerapan Gaya Lorentz

Gaya Lorentz bekerja dengan prinsip mengubah energi listrik menjadi energi mekanik berupa gerakan. Gerakan yang dimaksudkan disini dapat berupa gerak rotasi, transversal maupun linear. Dalam mekanika segala sesuatu membutuhkan sumber tenaga penggerak baik turbin, pompa, *engine combustion* dsb. Sehingga gaya Lorentz pun mulai diterapkan sebagai sumber tenaga penggerak dalam alat – alat mekanika, berikut beberapa diantaranya.

2.6.2.1 Motor Listrik

Motor listrik mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Motor listrik dapat dijumpai pada mobil-mobilan, *VCD player*, *mixer* dan masih banyak lagi pada peralatan rumah tangga. Bagian utama dari motor listrik adalah kumparan dan magnet. Pada dasarnya sumbu motor listrik dilengkapi dengan kumparan penghantar yang dialiri arus listrik. Jendela dari kumparan diterobos garis-garis medan listrik seperti gambar 2.15 berikut ini.

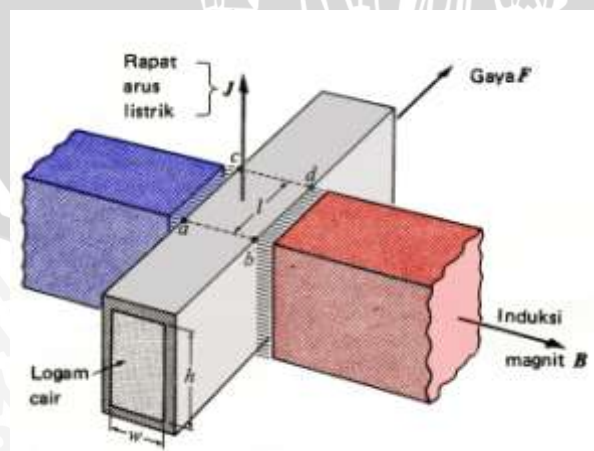


Gambar 2.15 Ilustrasi skematik motor listrik
 Sumber : Ali, Muhamad. 2008 : 43

Pada saat kumparan dialiri arus, QR mendapat gaya Lorentz (F_1) keatas, sedangkan kumparan PS mendapat gaya Lorentz kebawah. Karena kedua gaya ini membentuk koppel, maka kumparan akan berotasi. Perlu diketahui bahwa kedudukan antara arus listrik pada QR maupun PS terhadap medan magnet selalu tegak lurus. Sedangkan pada RS dan QP selalu membentuk gaya sama besar, berlawanan arah dan resultannya selalu segaris dengan sumbu putar, sehingga saling meniadakan.

2.6.2.2 Pompa Elektromagnetik

Panas yang timbul dalam reaktor nuklir, pada reaktor pembangkit tenaga listrik panas dipindahkan dari inti reaktor ke tempat panas itu hendak dimanfaatkan oleh suatu sirkulasi aliran logam cair (yang pernah dipakai ialah natrium, litium, bismut dan paduan natrium-potassium). Agar aliran logam cair itu terus bersirkulasi dipakailah pompa elektromagnetik, yang salah satu bentuk skemanya dilukiskan dalam gambar 2.16.



Gambar 2.16 Ilustrasi skematik pompa elektromagnetik logam cair
 Sumber : Zemansky, S. 1962 : 749

Arus dikirim secara transversal melalui logam cair itu, dalam arah tegak lurus pada medan magnet tranversal. Dorongan yang timbul terhadap logam yang membawa arus itu mendorong cairan logam sepanjang pipa yang dilaluinya. Sitem saluran dipatri rapat-rapat dan satu-satunya bagian yang bergerak adalah logam cair.

2.7 Aluminium

Aluminium berasal dari bijih aluminium yang disebut bauksit. Untuk mendapatkan aluminium murni dilakukan proses pemurnian pada bauksit yang menghasilkan oksida aluminium atau alumina. Kemudian alumina ini dielektrosa sehingga berubah menjadi oksigen dan aluminium.

Aluminium adalah logam terpenting dari logam non ferro. Penggunaan aluminium adalah yang kedua setelah besi dan baja (Surdia,T. 1986 : 129). Keutamaan aluminium dalam bidang teknik adalah beberapa sifatnya yang unik dan menarik, yaitu mudah untuk pengerjaan lanjutan, beratnya ringan, ketahanan korosi yang baik, konduktifitas listrik dan panas yang baik. (De Garmo, 1998 : 157).

2.7.1 Sifat-sifat Aluminium

a. Sifat-sifat fisik

Tabel 2.1 sifat-sifat fisik aluminium

No	Sifat-Sifat Fisik Aluminium	Kemurnian Al (%)	
		99.996	>99.99
1.	Massa Jenis (Kg/dm^3)(20°C)	2.6989	2.71
2.	Titik cair ($^\circ\text{C}$)	660.2	653-657
3.	Panas Jenis ($\text{cal}/\text{g}\cdot^\circ\text{C}$)(100°C)	0.2226	0.2297
4.	Hantaran listrik (%)	64.91	59(dianil)
5.	Tahanan Listrik Koefisien Temperatur ($/^\circ\text{C}$)	0.00429	0.0115
6.	Koefisien Pemuaian (20 - 100°C)	23.86×10^{-6}	23.5×10^{-6}
7.	Jenis Kristal, Konstanta kisi	Fcc, $\alpha=4.013\text{kX}$	Fcc, $\alpha=4.04\text{kX}$

Sumber : Surdia, T. 1985 : 134

b. Sifat-sifat mekanik

Tabel 2.2 Sifat-sifat mekanik aluminium

Sifat- sifat	Kemurnian Al (%)			
	99.99		>99.0	
	Dianil	75% dirol	Dianil	H 18
Kekuatan tarik (Kg/mm ²)	4,6	11,6	9,3	16,8
Kekuatan mulur (0.2%)(Kg/mm ²)	1,3	11	3,5	14,8
Perpanjangan (%)	48,8	5,5	35	5
Kekerasan Brinell (Kg/mm ²)	17	27	23	44

Sumber : Surdia, T. 1985 : 134

Sifat-sifat mekanik aluminium yang lain meliputi:

1. Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas aluminium rendah, jadi harus dipertimbangkan pada saat bahan tersebut dikerjakan dingin karena adanya *springback* pada saat beban pembentukan dihilangkan. Keburukan yang paling serius dari segi teknik adalah sifat elastisitas aluminium sangat rendah hampir tidak dapat diperbaiki baik dengan pemanduan maupun dengan *heat treatment*.

2. Kekuatan *Creep*

Kekuatan creep aluminium biasanya membatasi penggunaannya hanya pada temperatur yang rendah. Sebagai contoh untuk campuran jenis 20185-T61 memiliki kekuatan luluh 48000 psi pada temperatur ruang, namun hanya akan memiliki kekuatan luluh 17000 psi pada temperatur 250°C. Kekuatan luluh beberapa campuran yang lain menunjukkan penurunan yang serupa pada temperatur yang sama.

3. Ketahanan korosi

Sifat tahan korosi aluminium diperoleh karena terbentuknya lapisan oksida aluminium pada permukaan aluminium. Lapisan oksida ini melekat pada permukaan yang kuat dan rapat serta sangat stabil. Paduan aluminium tahan terhadap serangan konsentrasi asam nitrik, asam organik dan asam sulfur. Ketahanan korosi aluminium juga bagus terhadap atmosfer, termasuk semprotan gas. Namun adanya lapisan oksida juga menyebabkan aluminium menjadi sukar untuk dilas (titik leburnya 2000°C).

4. Ketahanan Aus

Ketahanan aus dari aluminium sangat jelek. Hal ini dapat diperkirakan dari harga batas luluh dan kekerasan yang sangat rendah. Sifat ini dapat diperbaiki dengan pemanduan aluminium dengan logam lain, seperti Cu.

2.7.2 Pengaruh Unsur-Unsur Paduan

Aluminium dipadukan untuk memperbaiki sifat-sifat fisik maupun mekaniknya. Unsur paduan tersebut diantaranya adalah sebagai berikut:

- Silikon (Si)

Silikon mampu meningkatkan sifat mampu cor. Selain itu dapat meningkatkan ketahanan korosi. Namun, silikon mempunyai pengaruh buruk yaitu menurunkan sifat mampu mesinnya.

- Magnesium (Mg)

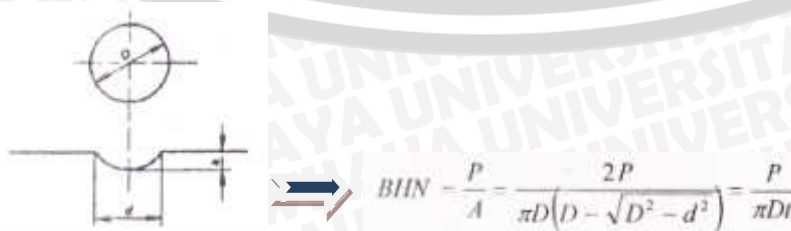
Magnesium juga bersifat *paramagnetic* dan meningkatkan sifat mampu bentuk dan mampu mesin aluminium.

- Silikon dan magnesium

Perpaduan ini membentuk magnesium silikat (Mg_2Si). Paduan Al-Si-Mg ini akan mempunyai ketahanan korosi yang baik, kekuatan yang tinggi dan mampu alir yang baik saat dicor.

2.8 Pengujian Kekerasan

Kekerasan merupakan ukuran ketahanan bahan terhadap deformasi tekan. Umumnya didefinisikan sebagai kemampuannya untuk menahan penetrasi dari luar sehingga tidak mengalami kerusakan. Pengukuran kekerasan indentasi merupakan cara pengukuran kekerasan yang paling banyak digunakan. Salah satu pengukuran kekerasan indentasi adalah dengan Brinell Hardness Tester. Harga numerik dari pengujian ini dinyatakan dalam kilogram perkuadrat millimeter, besarnya sama dengan pembagian beban dengan luasan yang terbentuk oleh penekanan bola indentor.



Gambar 2.17 Prinsip pengujian Brinell Hardness Tester
Sumber : Annual Book of ASTM Standar E10, 1982 : 6

Dengan D adalah diameter bola indentor, d adalah diameter indentasi bola, A adalah luas yang dibentuk, dan t adalah kedalaman penekanan. Dengan beban tertentu dan diameter indentor yang telah ditentukan, maka variasi dari kedalaman penekanan menunjukkan nilai kekerasan bahan.

Meskipun pengukuran kekerasan memiliki keterbatasan sebagai sarana pengukuran absolut, pengukuran kekerasan dapat dimanfaatkan secara efektif untuk penilaian bahan dan pengendalian mutu atau bilamana diperlukan evaluasi kualitatif.

2.9 Hipotesa

Dengan pemberian gaya eksternal berupa pembangkitan gaya Lorentz pada pengecoran logam cetakan pasir maka inti yang terbentuk pada awal fase *Cristallization* akan bergerak dalam logam cair, sehingga akan meninggalkan daerah dengan konsentrasi massa rendah. Hal ini akan menyebabkan cairan logam disekitar daerah yang ditinggalkan inti melakukan pengisian, karena cairan ini bersinggungan langsung dengan inti maka akan memiliki suhu mendekati suhu kristalisasi. Sehingga pada daerah yang ditinggalkan inti berkumpul cairan logam dengan suhu mendekati kristalisasi yang akan tumbuh mejadi inti baru.

Akibat perubahan arah gaya Lorentz yang dibangkitkan dengan frekwensi 60 Hz, maka akan terbentuk banyak inti serta butir akan berukuran kecil dan berjumlah banyak. Sehingga dengan semakin banyaknya inti yang terbentuk di dalam logam cor, maka distribusi kekerasan antara daerah *chill*, *columnar*, dan *equiaxed* akan semakin merata.