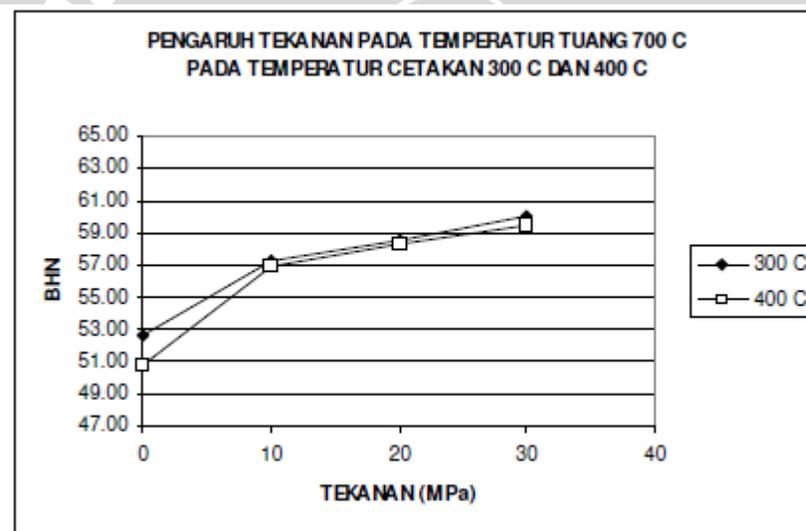


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Bondan dan Purwanto tahun 2010 melakukan penelitian tentang pengaruh tekanan dan temperature cetakan terhadap struktur mikro dan kekerasan hasil pengecoran pada material aluminium daur ulang. Penelitian ini menggunakan metode pengecoran *direct squeeze casting*. Cetakan dipanaskan dengan suhu 300°C dan 400°C. Tekanan yang diberikan sebesar 0, 10, 20, 30 MPa. Dari penelitian tersebut diperoleh hasil seperti pada grafik di bawah ini.



Gambar 2.1 Pengaruh Tekanan Pada Temperatur Tuang 700°C Pada Temperatur Cetakan 300 dan 400°C Terhadap Kekerasan
Sumber : Bondan dan Purwanto, 2008 : 5

Dari grafik dapat dilihat bahwa dengan semakin bertambahnya tekanan maka kekerasannya semakin meningkat. Begitu pula dengan temperature cetakan pada temperatur 300°C kekerasannya lebih tinggi daripada cetakan yang dipanaskan dengan temperatur 400°C. Hal ini disebabkan karena struktur silikon pada cetakan yang dipanaskan dengan suhu 300°C lebih halus daripada cetakan yang dipanaskan dengan suhu 400°C sehingga menambah kekerasannya.

Harry tahun 2008 meneliti tentang pengaruh tekanan terhadap porositas dan kekerasan aluminium paduan (Al-Cu) pada proses *direct squeeze casting*. Tekanan yang diberikan sebesar 15, 25, 35, dan 45 MPa diperoleh hasil bahwa semakin besar tekanan yang diberikan, maka prosentase porositas yang terjadi semakin berkurang. Namun akan mengalami peningkatan pada saat *punch* sudah tidak menekan logam cair lagi. Hal ini terjadi karena *punch* telah menekan *dies* meskipun belum mencapai tekanan yang diberikan. Porositas terkecil yang dicapai adalah sebesar 0,58% pada tekanan 25 MPa.

Supandi dan Bandriyana meneliti tentang karakterisasi bahan paduan Al-Si hasil *squeeze casting* pada tahun 2007. Dari data hasil pengujian diperoleh data kekerasan sampel paduan Al-Si mengalami kenaikan akibat perlakuan cor perah dengan tekanan 200 kgf/cm² dan 300 kgf/cm², dari sekitar 40 sampai dengan 46 HRA. Pada tekanan operasi pengecoran 400 kg/cm² besarnya kekerasan hasil cor kembali mengalami penurunan namun tetap di atas nilai kekerasan tanpa perlakuan. Peningkatan kekerasan ini terjadi akibat naiknya laju pendinginan yang terjadi dalam pembekuan akibat meningkatnya laju perpindahan panas dengan koefisien perpindahan panas pada tekanan 300 kgf/cm² mencapai nilai lebih besar dibandingkan pada tekanan 400 kgf/cm². Kenaikan kekerasan ini dapat diamati pula dengan perubahan struktur mikro dengan butir yang semakin kecil.

Davidson ,dkk. melakukan penelitian yang berjudul *Fatigue properties of semi-solid cast Al-7 Si-0.3 Mg- T6 alloy*. Dari penelitian tersebut didapatkan hasil bahwa kekuatan leleh dari metode casting yang berberda yaitu *semi-solid*, *squeeze casting*, dan *gravity casting* berturut-turut yaitu 135, 130, dan 110 MPa.

2.2 Pengecoran Logam

Prinsip dasar pengecoran logam adalah mencairkan logam dalam dapur kemudian menuangkan logam cair tersebut kedalam sebuah cetakan, yang mana cetakan tersebut memiliki kemampuan untuk tahan terhadap temperatur tinggi dengan bentuk rongga cetakan (*cavity*) sesuai bentuk logam yang di buat, kemudian dibiarkan dingin sehingga membeku. Dalam melakukan pengecoran logam terdapat beberapa urutan kegiatan yang harus dilakukan diantaranya membuat cetakan, pencairan logam, pembersihan logam, dan pemeriksaan hasil

coran, ada beberapa keuntungan dari proses pengecoran dibanding proses pembentukan logam lainnya, antara lain :

- Dapat membuat bentuk yang kompleks, baik di bagian luar maupun bagian dalam, sehingga banyak proses yang dapat diminimalisir.
- Dapat digunakan untuk produksi masal.
- Dapat membuat benda dengan ukuran yang sangat besar dan berat.
- Beberapa sifat mekanik yang lebih baik bisa diperoleh dengan proses pengecoran.
- Sangat ekonomis.

Secara umum proses pengecoran dikelompokkan berdasarkan cetaknya menjadi dua yaitu:

- *Expandable mold casting.*
- *Permanent 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. *Permanent mold casting* adalah pengecoran dengan cetakan tetap, bahan cetakan umumnya terbuat dari baja atau logam tahan panas yang lain. Berdasarkan metode pengecorannya, maka proses pengecoran dapat dibagi antara lain menjadi:

1. *Pressure Die Casting*

Proses ini sangat cocok untuk produksi masal part-part dengan ukuran yang kecil. Berat dari part-part tersebut bisa mencapai 5 kg. Terdapat 2 macam proses yaitu :

- *High Pressure Diecasting*

Proses ini dilakukan dengan cara memasukkan logam cair ke dalam cetakan dengan tekanan dibawah tekanan atmosfer. Kombinasi pemasukan logam yang cepat dan pembekuan yang cepat dalam tekanan yang tinggi akan menghasilkan produk yang padat dan memiliki permukaan yang halus, sehingga sifat mekaniknya menjadi lebih baik.

- *Low Pressure Diecasting*

Pada proses ini logam cair dimasukkan ke dalam cetakan pada tekanan mencapai 170 kPa. Pembuatan plat tipis lebih baik dengan proses ini daripada dengan *permanent mould casting*.

2. *Permanent Mould Casting*

Proses ini cocok untuk produksi massal dan biasanya cetakannya lebih besar daripada *pressure diecasting*, dengan berat *part* maksimum sekitar 10 kg.

Peralatannya lebih murah daripada *pressure diecasting*. Intinya dapat menggunakan pola yang kompleks. Proses ini menggunakan gaya gravitasi untuk menuangkan logam cair sehingga kecepatan penuangannya relatif rendah. Cetakan dari logam akan mempercepat pembekuan. Coran yang dihasilkan mempunyai sifat mekanik yang cukup baik. *Permanent mould diecasting* bisa menggunakan perlakuan panas untuk meningkatkan sifat mekaniknya. Untuk sifat mekanik yang maksimal, pemanasan hingga fase cair-padat, dilanjutkan dengan quenching, dan penuaan (*aging*) baik secara alami maupun buatan.

3. *Sand Casting* (cetakan pasir)

Cetakannya dibuat dengan cara memadatkan pasir di atas pola. Sehingga ketika pola diangkat akan terbentuk rongga cetakan. Logam cair di tuang ke dalam cetakan, dan setelah membeku cetakannya dapat dihancurkan. Proses ini serbaguna dan biayanya murah serta dapat menggunakan berbagai jenis paduan. Proses ini akurasi dimensinya buruk dan permukaan corannya cenderung kasar. Keuntungannya ada pada fleksibilitas dari jumlah coran, yaitu bisa sedikit atau banyak.

4. *Shell Mould Casting*

Cetakannya dibuat dari campuran resin dengan pasir dengan ketebalan 10-20 mm. Permukaan hasil corannya lebih halus dan dimensinya lebih tepat daripada dengan cetakan pasir. Peralatannya relatif mahal dan polanya tidak bisa terlalu kompleks.

5. *Plaster Casting*

Pada proses ini cetakan dibuat dari gips. Adonan gips dituang di sekitar pola, dibakar, kemudian pola diambil dari cetakan. Cetakan bisa dipakai lagi dan memungkinkan coran dibuat dengan detail yang cukup akurat. Permukaan coran yang dihasilkan cukup baik. Walaupun biaya peralatan murah tetapi biaya operasinya tinggi.

6. Investment Casting

Proses ini menggunakan cetakan dari bahan refraktori yang dibentuk pada pola dari lilin atau bahan *thermoplastic*. Adonan refraktori dituangkan di sekitar pola, kemudian dikeringkan dan pola dikeluarkan dengan cara dicairkan. Logam kemudian dituang ke dalam cetakan yang terbakar. Produk yang dihasilkan hampir tidak membutuhkan proses permesinan lagi. Dapat menghasilkan dinding yang tipis, akurasi dimensi yang baik, dengan permukaan hasil coran yang halus digunakan untuk membuat komponen *engineering* yang presisi.

7. Centrifugal Casting (Pengecoran Sentrifugal)

Pengecoran sentrifugal suatu metode pengecoran logam dengan cara penuangan logam ke dalam cetakan yang berputar dengan kecepatan tertentu, sumbu putar posisi horizontal, vertikal atau dengan kemiringan yang sesuai. Cetakan dapat dibuat dari baja, gips, dan besi cor. Ada keterbatasan pada bentuk dan ukuran dari coran yang mungkin dihasilkan pada pengecoran ini dan biayanya tinggi.

2.3 Pengecoran Squeeze (Squeeze Casting)

Pengecoran *squeeze* sering digambarkan sebagai suatu proses dimana logam cair dibekukan di bawah tekanan eksternal yang relatif tinggi. Proses ini pada dasarnya mengkombinasikan keuntungan-keuntungan pada proses *forging* dan *casting*.

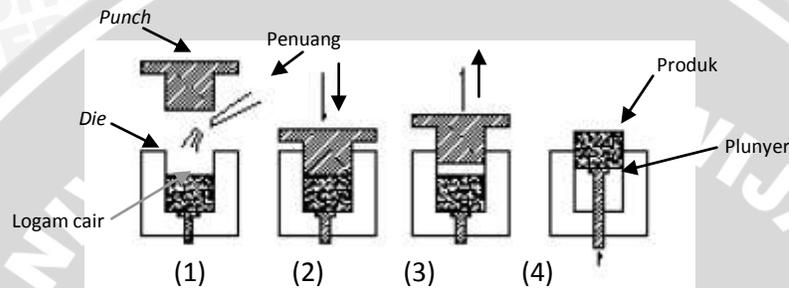
Pengecoran *squeeze* sering disebut juga penempaan logam cair (*liquid metal forging*). Proses pemadatan logam cair dilaksanakan di dalam cetakan yang ditekan dengan tenaga hidrolis. Penekanan logam cair oleh permukaan cetakan akan menghasilkan perpindahan panas dan menghasilkan penurunan porositas seperti sering terjadi pada produk cor besi tempa (*wrought iron*).

Hasil proses penempaan logam cair adalah produk yang mendekati ukuran standarnya (*near-net shape*) dengan kualitas yang baik. Sedangkan struktur mikro hasil pengecoran *squeeze* tampak lebih padat dibandingkan dengan hasil pengecoran dengan caragravitasi. Hal ini terjadi karena kontak logam cair dengan permukaan *die* memungkinkan terjadinya perpindahan panas yang cukup cepat sehingga menghasilkan struktur mikro yang homogen dengan sifat mekanik yang baik.

Berdasarkan mekanisme pengisian logam cair ke dalam *die*, pengecoran *squeeze* dikategorikan menjadi 2 jenis, yaitu: *direct squeeze casting* dan *indirect squeeze casting*.

2.3.1 DSC (*Direct Squeeze Casting*)

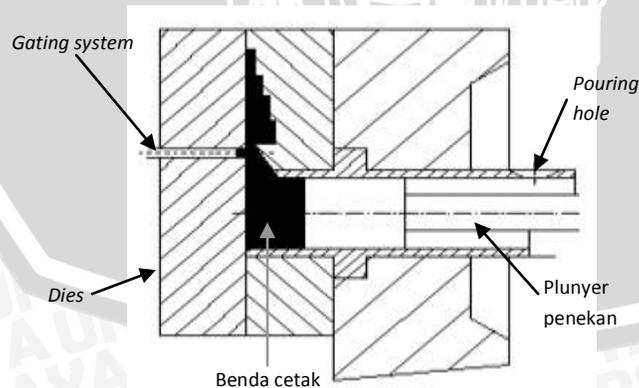
DSC merupakan istilah yang diberikan untuk proses pengecoran dimana logam cair didinginkan melalui pemberian tekanan secara langsung yang diharapkan mampu mencegah munculnya porositas gas dan penyusutan.



Gambar 2.2 Mekanisme *Direct Squeeze Casting*
 Sumber : Tjitro, S. 2000: 110

2.3.2 ISC (*Indirect Squeeze Casting*)

Istilah *indirect* dipakai untuk menggambarkan injeksi logam ke dalam rongga cetakan dengan bantuan piston berdiameter kecil dimana mekanisme penekan ini dipertahankan sampai logam cair membeku.



Gambar 2.3 Mekanisme *Indirect Squeeze Casting*
 Sumber : Tjitro, S. 2000: 110

2.3.3 Parameter Proses Pengecoran *Squeeze*

Untuk memperoleh produk cor yang memenuhi syarat-syarat ideal bagi suatu *sound – cast*, ada beberapa variabel yang perlu diperhatikan, yaitu :

- a) Volume Cairan Logam (*Melt Volume*)
Diperlukan kontrol yang akurat ketika logam cair dituangkan ke dalam rongga cetak (*die cavity*).
- b) Temperatur Tuang (*Casting Temperature*)
Temperatur ini tergantung pada jenis paduan dan bentuk coran/komponen. Biasanya temperatur tuang diambil 6–55°C di atas temperatur cair (*liquidus*).
- c) Temperatur Perkakas (*Tooling Temperature*)
Temperatur normal adalah 190–315°C. Biasanya temperatur *punch* diatur 15–30°C di bawah temperatur *die* terendah untuk memungkinkan adanya kelonggaran atau ventilasi yang memadai di antara keduanya.
- d) Waktu Tunggu (*Time Delay*)
Waktu Tunggu adalah lamanya waktu yang diukur dari saat pertama penuangan logam cair ke dalam rongga cetak hingga saat permukaan *punch* menyentuh dan mulai menekan permukaan logam cair.
- e) Batas Tekanan (*Pressure Level*)
Rentang tekanan normal adalah 50–140 MPa, tergantung pada bentuk geometri komponen serta sifat mekanis yang dibutuhkan. Tetapi dimungkinkan tekanan minimum adalah 40 MPa.
- f) Durasi Penekanan (*Pressure Duration*)
Durasi penekanan dihitung dari saat *punch* di titik terendah sampai saat *punch* diangkat (penekanan dilepaskan). Produk cor dengan berat 9 kg, Durasi penekannya bervariasi antara 30–120 detik. Akan tetapi biasanya durasi ini juga tergantung pada bentuk geometri coran yang diinginkan.

g) Pelumasan (*Lubrication*)

Pengecoran *squeeze* membutuhkan pelumas pada permukaan *dies* untuk memudahkan proses pengeluaran produk cor dari cetaknya. Untuk paduan aluminium, magnesium, dan tembaga, permukaan *dies* biasanya disemprot dengan pelumas *colloidal graphite*. Sedangkan *ferrous casting*, permukaan *dies* biasanya dilapisi dengan sejenis bahan keramik untuk mencegah efek pengelasan antara produk cor dengan permukaan *dies*.

h) Kecepatan Pengisian (*Filling Rate*)

Makin rendah kecepatan pengisian akan menyebabkan makin tingginya kemungkinan untuk mendapatkan aliran laminar.

2.3.3 Aplikasi Pengecoran *Squeeze*

Proses pengecoran *squeeze* telah dipergunakan untuk sejumlah aplikasi menggunakan berbagai macam jenis logam dan paduan. Beberapa *part* ditunjukkan dalam Gambar 2.3 meliputi *aluminium dome* (a), *ductile iron mortar shell* (b), dan *steel bevel gear* (c). Part-part lain yang telah dan sedang dicor dengan metode *squeeze* meliputi *stainless steel blades*, *superalloy disks*, *aluminum automotive wheels* dan piston, dandang *blanks* yang terbuat dari brass dan bronze.



Gambar 2.4 Berbagai Jenis Part *Ferrous* dan *Non-Ferrous* yang Dibuat Menggunakan Pengecoran *Squeeze*.

Sumber :ASM Handbook Vol. 9 Casting 1998: 718

2.4 Bahan Coran

Pada industri pengecoran logam dikenal berbagai macam bahan yang digunakan sebagai bahan pengecoran logam. Diantara bahan-bahan tersebut antara lain besi cor, baja cor, paduan tembaga, paduan aluminium, dan lain-lain (Surdia, 1986 : 4).

2.5 Sifat-sifat Logam Cair

2.5.1 Perbedaan Logam Cair dan Air

Logam cair dan air memiliki perbedaan dalam beberapa hal yaitu :

- Kecairan logam sangat tergantung pada temperatur dan logam cair akan cair seluruhnya pada temperatur tinggi sedang pada temperatur rendah berbeda dengan air terutama pada keadaan dimana terdapat inti-inti kristal.
- Berat jenis logam cair lebih besar dari berat jenis air.
- Air menyebabkan permukaan dinding basah sedangkan logam cair tidak.

Kekentalan logam cair tergantung pada temperatur dimana pada temperatur tinggi kekentalan logam cair menjadi rendah sebaiknya pada temperatur rendah kekentalan logam cairnya menjadi tinggi. Proses pengentalan logam cair akan semakin bertambah cepat kalau logam cair didinginkan, pada saat logam cair terbentuk inti-inti kristal. Juga dapat dikatakan kekentalan logam cair akan bertambah sebanding dengan pertambahan inti kristal. Pada tabel 2.1 berikut ini ditunjukkan koefisien kekentalan dan tegangan permukaan dari logam.

Tabel 2.1 Koefisien Kekentalan dan Tegangan Permukaan Dari Logam

Bahan	Titik cair (°C)	Berat jenis (g/cm ³)	Koefisien kekentalan (g/cm · detik)	Koefisien kekentalan kinematik (cm ² /detik)	Tegangan permukaan (dine/cm)	Tegangan permukaan berat jenis (cm ³ /detik ²)
Air	0	0,9982(20°C)	0,010046(20°C)	0,010064	72(20°C)	72
Air raksa	-38,9	13,56 (20)	0,01547 (20)	0,00114	465(20)	34,5
Tin	232	5,52 (232)	0,01100 (250)	0,00199	540(247)	97,8
Timbal	327	10,55 (440)	0,01650 (400)	0,00156	450(330)	42,6
Seng	420	6,21 (420)	0,03160 (420)	0,00508	750(500)	120
Aluminium	660	2,35 (760)	0,0055 (760)	0,00234	520(750)	220
Tembaga	1.083	7,84 (1.200)	0,0310 (1.200)	0,00395	581(1.200)	74
Besi	1.537	7,13 (1.600)	0,000 (1.600)	0,00560	970(1.600)	136
Besi cor	1.170	6,9 (1.300)	0,016 (1.300)	0,0023	1.150(1.300)	167

Sumber : Surdia, 1980 : 12

2.5.2 Fluiditas

Fluiditas aliran yang lebih dikenal dengan sifat mampu alir adalah kemampuan dari suatu zat (dalam hal ini logam cair) untuk mengalir (berpindah tempat) dan mengisicetakan sebelum membeku. Sifat ini erat kaitannya dengan kekentalan zat cair itu, semakin tinggi kekentalannya maka sifat mampu alirnya menurun. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi fluiditas selain kekentalan, diantaranya adalah temperatur penuangan, komposisi logam dan perpindahan panas yang terjadi pada dinding cetakan. Tingginya temperatur penuangan (ditinjau dari titik cair) akan meningkatkan fluiditas dari logam cair sehingga logam cair dapat mencapai seluruh rongga cetakan tanpa adanya pembekuan dini. Komposisi logam juga mempengaruhi fluiditas, terutama menyangkut mekanisme pembekuan (solidifikasi) logam cair. Fluiditas yang baik terdapat pada logam yang membeku pada temperatur konstan, contohnya pada logam mulia. Saat solidifikasi terjadi pada range temperatur tertentu (terutama logam paduan) dapat terjadi solidifikasi sebagian sehingga menurunkan fluiditasnya. Selain itu komposisi logam juga menentukan *heat of fusion* (kalor laten), yaitu panas yang dibutuhkan logam untuk mencair seluruhnya. Tingginya kalor laten ini akan meningkatkan fluiditas logam cair.

2.6 Pembekuan 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.

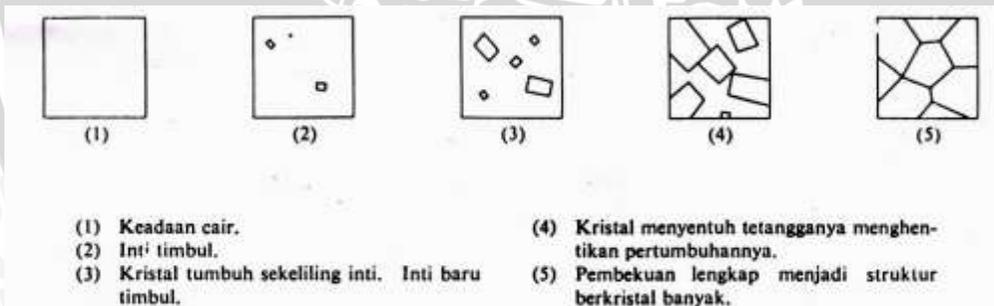
Atom logam pada kondisi cair berada dalam posisi tidak teratur. Ketika mulai membeku, atom-atom mulai menyusun diri dalam suatu struktur ruang. Atom yang mula-mula menyusun diri adalah atom yang lebih dahulu stabil. Susunan awal atom disebut inti dan proses pembentukan inti disebut pengintian (*crystallization*). Misalnya, logam dengan kristal FCC, maka untuk membentuk inti diperlukan 12 atom. Setelah terbentuk inti, atom-atom lain disekitarnya akan mengikuti inti tersebut, sehingga seolah-olah inti berkembang dan memiliki cabang-cabang yang disebut *dendrite*.

Pada proses pengintian akan timbul banyak inti sehingga banyak pula muncul *dendrite*, yang masing-masing memiliki arah atau orientasi yang berbeda-beda. Dendrit akan berkembang lebih besar sehingga nantinya akan menyinggung *dendrite-dendrite* lain yang

juga berkembang. Permukaan singgung ini disebut batas butir (*grain boundary*) sedangkan kristal yang dibatasi oleh batas butir disebut butir.

Jika keadaan memungkinkan (misalnya energi yang tersedia cukup besar), satu butir dapat terus berkembang melintasi batas butir, dalam arti bahwa atom-atom dari butir lain (yang kurang stabil) akan mengikuti orientasi butir tersebut. Apabila keadaan ini berlangsung terus maka pada akhirnya akan terdapat satu butir saja. 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.

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 akhirnya memadat seluruhnya. Ilustrasi pembekuan logam dapat dilihat pada gambar 2.5 berikut :



Gambar 2.5 Ilustrasi Skematis Dari Pembekuan Logam
 Sumber: Surdia, 1980 : 14

Umumnya terdapat tiga daerah yang terjadi pada pembekuan logam coran, antara lain :

- 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 melt pada saat dituang ke dalam cetakan. Dibawah suhu lebur beberapa inti terbentuk dan tumbuh

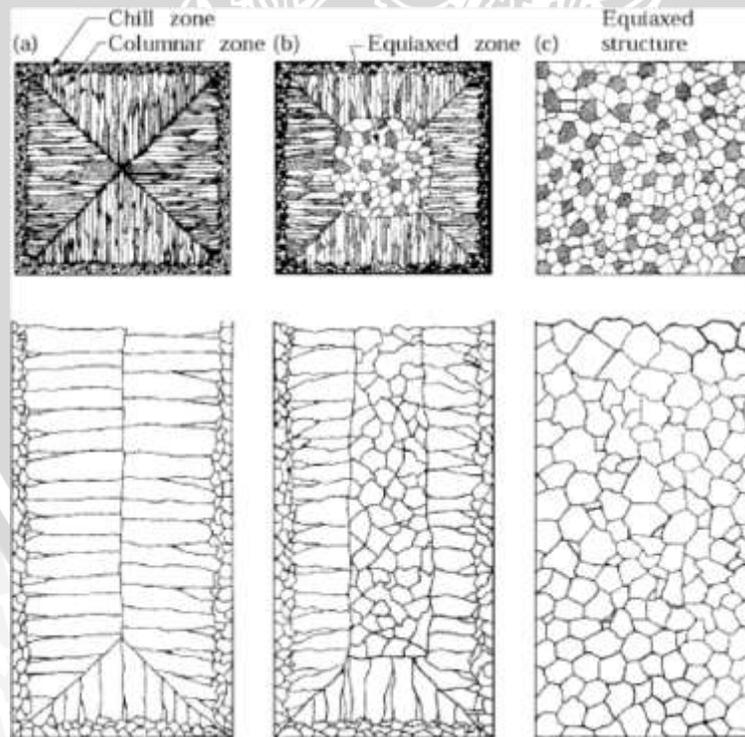
kedalam cairan. Suhu cetakan yang mulai naik memungkinkan kristal yang membeku menyebar meninggalkan dinding karena pengaruh aliran cairan dan apabila suhu penguangan yang cukup tinggi dimana cairan yang berada ditengah-tengah coran tetap diatas temperatur leburnya sehingga dapat menyebabkan kristal 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 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.

▪ *Equiaxed zone*

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



Gambar 2.6 Struktur *Chill*, *Columnar*, dan *Equiaxed Zone*

Sumber: Kalpakjian, 1990 : 279

2.7 Sifat Fisis Bahan

Material harus memiliki sifat fisis yang baik guna dapat difungsikan dengan baik. sifat-sifat fisis tersebut antara lain :

1. Memiliki kepadatan struktur butir yang baik.
2. Tidak terdapat cacat pada material.
3. Memiliki distribusi ketebalan yang merata.

Dalam proses pengecoran terdapat berbagai macam cacat tergantung pada bagaimana keadaannya, sedangkan pada cacat-cacat tersebut berbeda-beda menurut bahan dan macam coran. Cacat tersebut umumnya disebabkan oleh perencanaan bahan yang dipakai dan proses pengecoran.

2.8 Aluminium

2.8.1 Pengolahan Aluminium

Aluminium berasal dari biji 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 nonferro. Penggunaan aluminium adalah yang kedua setelah besi dan baja (Surdia, 1999 : 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 Germa.1998 : 157).

2.8.2 Sifat-sifat Aluminium

Aluminium mempunyai beberapa sifat fisik yang ditunjukkan pada Tabel 2.2 berikut:

Tabel 2.2 Sifat-sifat fisik aluminium

Sifat-sifat	Kemurnian Al (%)	
	99,99	>99,99
Massa jenis (Kg / dm ³) (20 ⁰ C)	2,6989	2,71
Titik cair (⁰ C)	660,2	653 – 657
Panas jenis (Cal/g. ⁰ C) (100 ⁰ C)	0,2226	0,2297
Hantaran listrik (%)	64,91	59 (dianil)
Tahanan listrik koefisien temperatur (/ ⁰ C)	0,00429	0,0115
Koefisien pemuaian (M / ⁰ C) (20-100 ⁰ C)	23,86 × 10 ⁻⁶	23,5 × 10 ⁻⁶
Jenis kristal, Konstanta kisi	Fcc, $\alpha = 4,013 \text{ kX}$	Fcc, $\alpha = 4,04 \text{ kX}$

Sumber: Surdia dan Saito, 1999:134

Sifat-sifat aluminium 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 dibatasi 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 nitrit, asam organik, dan asam sulfur. Ketahanan korosi aluminium juga menunjukkan ketahanan yang bagus.

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 aluminium dengan logam lainnya seperti Cu.

2.8.3 Pengaruh Unsur-Unsur Paduan

Unsur-unsur pepadu aluminium antara lain :

➤ Silikon (Si)

Silikon adalah suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang Si dan nomor atom 14. Merupakan unsur terbanyak kedua di bumi. Silikon mampu meningkatkan sifat mampu cor. Dalam hal ini yang mampu diperbaiki adalah cara mengurangi penyusutan coran sampai 1,5 kali aluminium murni, mengurangi penyerapan gas dalam pengecoran dan meningkatkan mampu alirnya. Selain itu dapat meningkatkan ketahanan alirnya serta meningkatkan ketahanan korosi. Namun silikon mempunyai pengaruh buruk yaitu menurunkan sifat mampu mesinnya.

➤ Magnesium (Mg)

Magnesium adalah unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki simbol Mg dan nomor atom 12 serta berat atom 24,31. Magnesium adalah elemen terbanyak kedelapan yang membentuk 2% berat kulit bumi, serta merupakan unsur terlarut ketiga terbanyak pada air laut. Logam alkali tanah ini terutama digunakan sebagai zat campuran (*alloy*) untuk membuat campuran aluminium-magnesium yang sering disebut "magnalium" atau "magnelium". Magnesium juga bersifat *paramagnetic*. Penambahan unsur magnesium digunakan untuk meningkatkan daya tahan aluminium dan meningkatkan sifat mampu bentuk serta mampu mesin aluminium tanpa menurunkan keuletannya.

➤ Ferrous (Fe)

Ferrous adalah sebuah unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki simbol Fe dan nomor atom 26. Fe merupakan logam transisi dan bersifat *ferromagnetic* (<http://id.wikipedia.org/besi>). Penambahan Fe dimaksudkan untuk mengurangi penyusutan, tetapi apabila kandungan Fe terlalu besar akan menyebabkan struktur

butiran yang kasar. Hal ini dapat diperbaiki dengan menambahkan sejumlah Mn dan C dalam prosentase kecil.

➤ Mangan (Mn)

Mangan adalah unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang Mn dan nomor atom 25. Penambahan Mn akan meningkatkan ketahanan karat aluminium dan apabila dipadu dengan Mg akan memperbaiki kekuatannya

➤ Zinc (Zn)

Seng (atau *zinc*) adalah unsur kimia dengan simbol kimia Zn, nomor atom 30, dan massa atom relatif 65,39. Umumnya ditambahkan dengan tembaga dalam prosentase yang kecil. Dengan penambahan ini akan meningkatkan sifat-sifat mekanis tanpa perlakuan panas serta memperbaiki sifat mampu mesin.

➤ Cooper (Cu)

Tembaga adalah suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang Cu dan nomor atom 29. Lambangnya berasal dari bahasa latin *Cuprum* merupakan konduktor panas dan listrik yang baik. Selain itu unsur ini memiliki korosi yang lambat sekali. Tembaga juga bersifat *paramagnetic*. Penambahan Cu akan memperbaiki sifat mampu mesin aluminium paduan. Selain itu dengan atau tanpa paduan lainnya akan meningkatkan kekuatan, dan kekerasan.

2.8.4 Penggolongan Paduan Aluminium

Paduan Al diklasifikasikan dalam berbagai standar oleh negara didunia. saat ini klasifikasi yang terkenal adalah *standart aluminium association* di Amerika (AA) yang berdasar pada Alcoa (*Aluminium Company of America*).

Paduan aluminium berdasar pemaduannya dibagi menjadi dua yaitu :

1. Paduan aluminium tempa (*Wrought alloy*)

Dibuat dengan jalan *rolling, forming* (paduan tempa), *drawing, forging*, dan *press working*. Berupa barang setengah jadi misalnya batang, plat, dll. Paduan ini dapat diklasifikasikan berdasarkan komposisi kimianya.

Tabel 2.3 Klasifikasi paduan aluminium tempa

Standart AA (seri xxxx)	Standart Alcoa Terdahulu	Keterangan
1xxx(1001)	1S	Al murni 99.5% atau lebih
2xxx(1100)	2S	Al murni 99.0% atau lebih
2xxx(2010-2029)	10S-29S	Copper (Cu)
3xxx(3003-3009)	3S-9S	Manganese (Mn)
4xxx(4030-4039)	30S-39S	Silicon (Si)
5xxx(5050-5086)	50S-86S	Magnesium (Mg)
6xxx(6061-6069)	61S-69S	Magnesium dan silicon (Mg2Si)
7xxx(7070-7079)	70S-79S	Zinc (Zn)

Sumber : De Garmo, 1997 : 176

2. Paduan aluminium cor (*Casting- Aluminium Alloy*)

Dibuat berdasarkan pengecoran (paduan tuang). Paduan ini merupakan paduan yang kompleks dari Al dengan Cu, Ni, Fe, Si, dan unsur lainnya.

Tabel 2.4 Klasifikasi paduan aluminium coran

Unsur Utama paduan	Seri
Aluminium, 99% atau lebih	1xx.x
Tembaga	2xx.x
Silikon dengan Cu dan/atau Mg	3xx.x
Silikon	4xx.x
Magnesium	5xx.x
Magnesium dan Silikon	6xx.x
Seng	7xx.x
Elemen lain	8xx.x

Sumber : Kaufman, 2004 :8

2.8.5 Aluminium Paduan

Logam aluminium dapat dengan mudah dipadukan dengan logam lain. Paduan aluminium yang penting antara lain :

1. Paduan Al-Cu

Jenis paduan Al-Cu adalah jenis yang dapat diperlakukan panas. Dengan melalui pengerasan endapan/penyepuhan sifat mekanis paduan ini dapat menyamai sifat dari baja lunak tetapi daya tahan korosinya lebih rendah bila dibandingkan jenis paduan lainnya (R.W. Heine, 1976:294). *Copper* adalah salah satu unsur paduan penting yang digunakan pada Al karena dengan paduan ini akan membentuk *solid-solution strengthening* dan dengan *heat treatment* yang sesuai dapat meningkatkan kekuatannya dengan membentuk *precipitate*. Kelarutan maksimal Cu didalam Al adalah pada kandungan 5,65 % Cu dengan temperatur berkisar 550 °C. Kelarutan Cu akan turun sesuai dengan penurunan temperatur. Pada temperatur ruang batas kelarutan Cu didalam Al adalah kurang dari 0,1 %.

2. Paduan Al-Zn

Paduan ini lebih banyak mengandung aluminium dan merupakan paduan yang memiliki ketahanan korosi yang baik. Dalam penggunaannya biasa di aplikasikan untuk konstruksi tempat duduk pesawat terbang, perkantoran dan konstruksi lainnya yang membutuhkan perbandingan antara ketahanan korosi dan berat yang tidak terlalu besar. Titik lebur dari aluminium paduan Al-Zn 476-657 °C.

3. Paduan Al-Mn

Mn merupakan unsur yang memperkuat aluminium tanpa mengurangi ketahanan korosinya dan dipakai untuk membuat paduan yang tahan korosi. Jumlah paduan yang terkandung dalam paduan ini adalah 25,3% (Surdia Tata, 1986 :136).

4. Paduan Al-Si

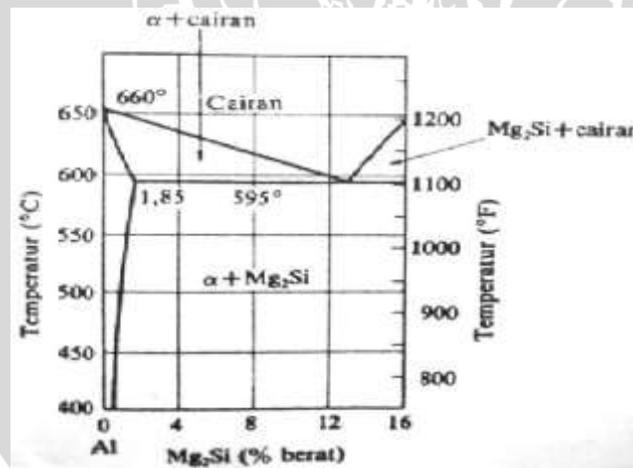
Paduan Al-Si adalah paduan yang sangat baik kecairannya yang memiliki permukaan coran yang sangat baik tanpa kegetasan panas. Sebagai tambahan, Si memiliki ketahanan korosi yang baik, koefisien muai yang kecil, penghantar panas yang baik, dan ringan.

5. Paduan Al-Mg

Paduan Al-Mg mempunyai ketahanan korosi yang sangat baik. Biasanya disebut *hidronalium* dan dikenal sebagai paduan yang tahan korosi. Cu dan Fe sangat berbahaya bagi ketahanan korosi, sehingga diperlukan perhatian khusus terhadap unsur pengotor tersebut.

6. Paduan Al-Mg-Si

Paduan Al-Mg-Si merupakan jenis paduan aluminium seri 6xxx, sebagai paduan praktis dapat diperoleh paduan 6053, 6063 dan 6061. Paduan Aluminium-Magnesium-Silikon termasuk dalam jenis yang dapat diperlakukan anodisasi dan mempunyai sifat mampu potong, mampu las dan tahan korosi yang cukup (Wiryosumarto, 2000). Jika Magnesium dan Silikon dipadukan bersama Aluminium, maka akan terbentuk Magnesium Silikat (Mg_2Si), kebanyakan paduan Aluminium mengandung Si, sehingga penambahan Magnesium diperlukan untuk memperoleh efek pengerasan dari Mg_2Si . Tetapi sifat paduan ini akan menjadi getas, sehingga untuk mengurangi hal tersebut, penambahan dibatasi antara 0,03% - 0,1% (Hiene, 1995:320). Diagram fase Magnesium-Silikon pada paduan Aluminium ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Diagram Fase Mg₂Si

Sumber :ASM Handbook, 1992

2.8.6 Sifat Mekanis Bahan

Salah satu sifat dari bahan adalah kemampuan untuk menahan suatu gaya atau beban dari luar. Gaya tersebut timbul akibat dari penggunaannya sebagai bagian dari suatu struktur atau mesin. Dengan demikian harus diketahui batasan harga yang membuat bahan tersebut tidak mengalami kerusakan. Kekuatan logam berhubungan dengan gaya internal, deformasi dan gaya eksternal. Metode yang biasa digunakan pada analisis kekuatan bahan adalah menganggap bahwa benda adalah seimbang. Persamaan keseimbangan statis dipakai pada gaya yang bekerja dan kemudian diperoleh hubungan antara gaya luar yang bekerja dengan gaya internal yang menghambat dari luar tersebut.

Bahan padat bisa terdeformasi bila diberi gaya dari luar, selanjutnya diketahui batasan beban yang membuat bahan kembali ke bentuk asal sebelum terdeformasi. Sifat ini disebut sebagai deformasi elastis bahan, bila beban yang bekerja pada bahan tersebut melebihi batas elastisnya maka terjadi deformasi.

2.9. Pengujian Porositas

2.9.1 Porositas Pada Pengecoran Logam

Porositas dapat terjadi karena terjebaknya gelembung-gelembung gas pada logam cair ketika dituangkan kedalam cetakan (Budinski, 1996 : 460). Porositas pada produk cor dapat menurunkan kualitas benda tuang. Salah satu penyebab terjadinya porositas pada penuangan logam adalah gas hidrogen. Porositas oleh gas hydrogen dalam benda cetak paduan aluminium akan memberikan pengaruh yang buruk pada kekuatan, serta kesempurnaan dari benda tuang tersebut. Penyebabnya antara lain kontrol yang kurang sempurna terhadap absorpsi gas dengan logam selama peleburan dan penuangan.

Faktor-faktor penting yang berhubungan dengan pembentukan porositas gas antara lain ialah :

- Unsur-unsur gas atau sumber gas yang terkandung dalam paduan.
- Tekanan udara yang berlebih.
- Temperatur cetakan.
- Teknik dan kondisi peleburan.
- Teknik atau cara pengeluaran gas dari logam cair.
- Temperatur logam cair.

- Uap air dalam udara.
- Permeabilitas cetakan.
- Uap air yang terkandung dalam cetakan
- Sumber-sumber gas yang terkandung dalam cetakan
- Bentuk saluran penuangan ataupun kecepatan penuangan

Pada proses penuangan, hidrogen yang larut selama peleburan akan tertinggal setelah proses pembekuan karena kelarutannya pada fase cair lebih tinggi dari pada fase padat. Gas dikeluarkan dari larutan akan terperangkap pada struktur padat. Gas tersebut bernuklasi pada cairan selama pembekuan dan diantara fase padat-cair.

2.9.2 Jenis - Jenis Porositas Pada Pengecoran Logam

Ada dua sumber utama dari porositas dalam logam cor. Pertama, porositas rongga (*cavity porosity*) adalah dalam kaitanya dengan penuangan yang tidak tepat. Kedua, porositas mikro (*microporosity*) adalah hasil dari mushy mode solidifikasi dalam beberapa paduan (Verhoeven, 1975: 298).

➤ *Cavity Porosity* (Porositas rongga)

Porositas rongga diakibatkan oleh penuangan tidak tepat dan mungkin saja dihilangkan oleh desain riser yang tepat

➤ *Microporosity* (Porositas Mikro)

Porositas mikro adalah suatu hasil yang tidak bisa dipisahkan dari sifat pembekuan dari struktur dendritik, dan mungkin saja menyajikan hal yang sama dengan desain riser yang sesuai.

Dua jenis karakteristik porositas mikro yang pertama porositas mikro yang disebarkan dengan seragam ke seluruh bagian, disebut dengan porositas mikro tersebar (*dispersed microporosity*). Di dalam jenis yang kedua yang disebarkan dalam lapisan-lapisan pertemuan bagian, disebut dengan porositas mikro lapisan (*layer microporosity*). Dikarenakan pori-pori ini dimulai dari lokasi interdendritik mungkin diharapkan menjadi sungguh kecil. Ukuran khas 5-10 μm untuk pori-pori di dalam butir *equiaxed*. Ukuran ini sangat kecil bahkan pori-pori kadang-kadang sulit untuk dideteksi.

2.9.3 Perhitungan Porositas

Perhitungan prosentase porositas yang terjadi dapat diketahui dengan membandingkan densitas sampel atau *apparent density* dengan densitas teoritis atau *true density* (Taylor, 2000), yaitu:

$$\% P = \left(1 - \frac{\rho_s}{\rho_{th}}\right) \times 100\% \quad (2-1)$$

dengan:

$\%P$ = Prosentasi porositas (%)

ρ_s = Densitas sampel atau *Apparent Density* (gr/cm³).

ρ_{th} = Densitas teoritis atau *True Density* (gr/cm³).

2.9.4 Densitas

Densitas (simbol: ρ – Greek: rho) adalah sebuah ukuran massa per volum. Rata-rata kepadatan dari suatu obyek yang sama massa totalnya dibagi oleh volume totalnya.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2-2)$$

dengan :

ρ = kepadatan sebuah benda (gr/cm³)

m = massa total benda (gr)

V = volum benda (cm³)

2.9.4.1 Macam Densitas

Di dalam pengukuran prosentase porositas yang terdapat dalam suatu coran digunakan perbandingan dua buah densitas yaitu *True density* dan *Apparent Density*.

➤ *True Density*

Kepadatan dari sebuah benda padat tanpa porositas yang terdapat di dalamnya. Didefinisikan sebagai perbandingan massanya terhadap volum sebenarnya (gr/cm³) persamaan yang ada pada standar ASTM E252-84 yaitu:

$$\rho_{th} = \frac{100}{\left\{ \left(\frac{\%Al}{\rho_{Al}} \right) + \left(\frac{\%Cu}{\rho_{Cu}} \right) + \left(\frac{\%Fe}{\rho_{Fe}} \right) + etc. \right\}} \quad (2-3)$$

dengan:

- ρ_{th} = Densitas teoritis atau *True Density* (gr/cm³).
- $\rho_{Ab}, \rho_{Cu}, \rho_{Fe}, etc$ = Densitas unsur (gr/cm³).
- %Al, %Cu, etc = Prosentase berat unsur (%).

➤ *Apparent Density*

Berat setiap unit volum material termasuk cacat (void) yang terdapat dalam materia yang di uji (gr/cm³). Standar ASTM B311-93 sebagaimana berikut:

$$\rho_s = \rho_w \frac{W_s}{W_s - (W_{sb} - W_b)} \tag{2-4}$$

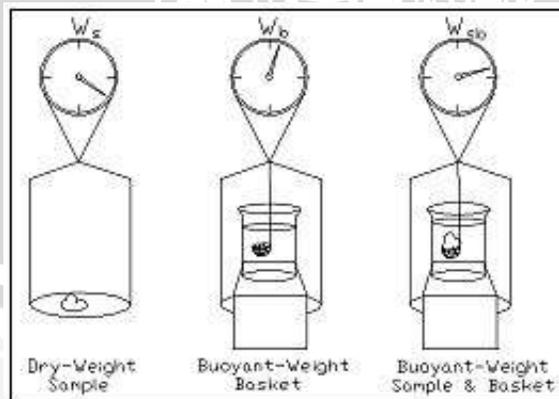
dengan:

- ρ_s = Densitas sampel atau *Apparent Density* (gr/cm³).
- ρ_w = Densitas air (gr/cm³).
- W_s = Berat sampel di luar air (gr)
- W_b = Berat keranjang di dalam air (gr)
- W_{sb} = Berat sampel dan keranjang di dalam air (gr)

2.9.4.2 Pengukuran Densitas Menggunakan Metode Piknometri

Piknometri adalah sebuah proses membandingkan densitas relatif dari sebuah padatan dan sebuah cairan. Jika densitas dari cairan diketahui, densitas dari padatan dapat dihitung.

Proses dapat digambarkan secara skematik dalam gambar 2.11



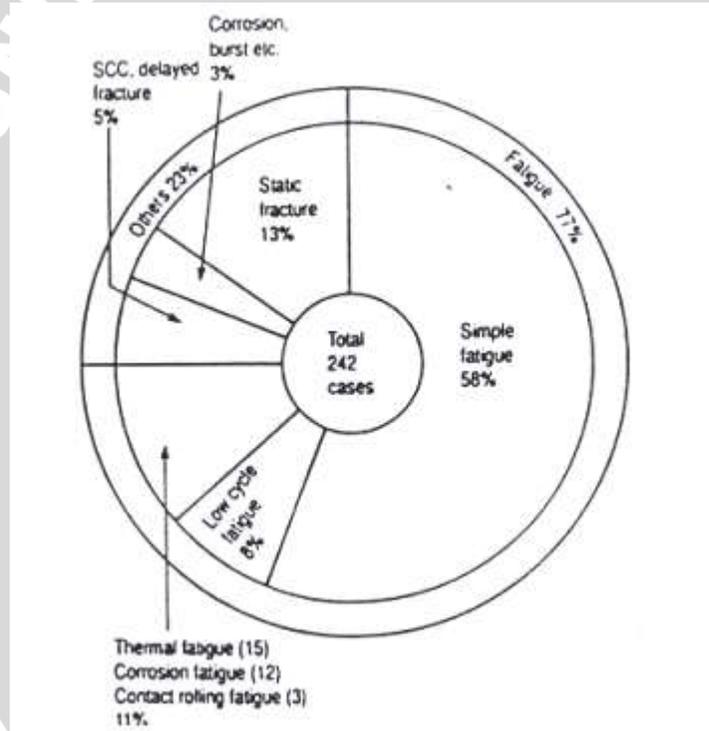
Gambar 2.8 Skema Piknometri

Sumber: Taylor, 2000

Tiga pengukuran berat yang dibuat adalah W_s = pengukuran berat kering (*dry weight*), W_{sb} = pengukuran berat apung keranjang dan sampel, dan W_b = pengukuran berat apung keranjang. Pada gambar 2.8, pengukuran berat apung dibuat dengan menggantungkan sampel menggunakan suatu keranjang kawat dalam sebuah bejana berisi cairan yang disangga oleh sebuah penyeimbang yang menggunakan kawat penggantung.

2.10 Kekuatan Lelah

Kelelahan (*fatigue*) adalah salah satu jenis kegagalan (patah) pada komponen akibat beban dinamis (pembebanan yang berulang-ulang atau berubah-ubah). Diperkirakan 50% -90% (Gambar.1.1) kegagalan mekanis adalah disebabkan oleh kelelahan.



Gambar 2.9 Distribusi Mode Kegagalan
Sumber : Arbiyanto, 2007 : 1

Fatigue (kelelahan) pada logam dapat diartikan sebagai patahnya logam akibat pembebanan berulang dalam sejumlah siklus. Menurut ASTM (*American Society of Testing Material*), *fatigue* didefinisikan sebagai proses perubahan yang progresif pada struktur secara permanen di lokasi tertentu atau terlokalisir yang disebabkan oleh siklus beban berulang

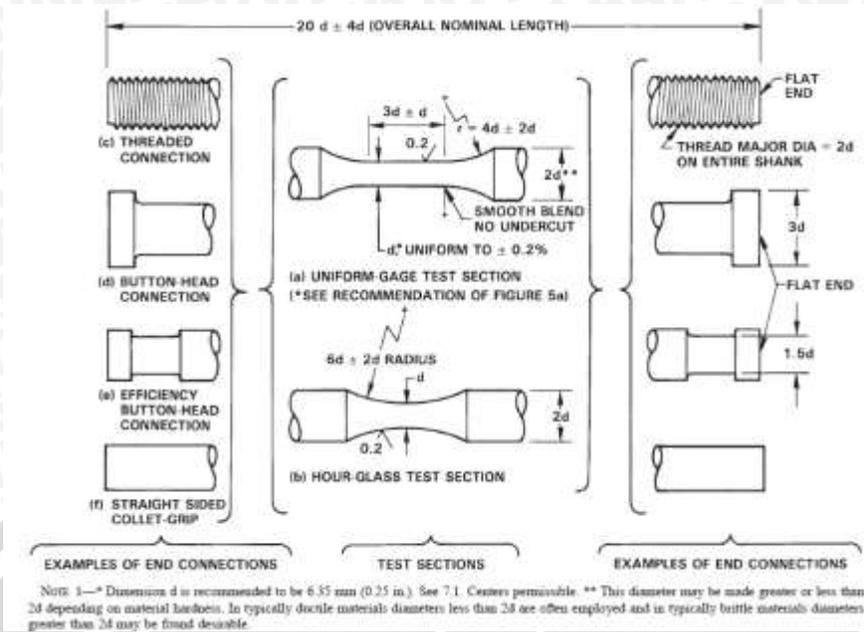
(*stress* atau *strain*), dengan akumulasi dari perubahan ini akan mengakibatkan retak (*crack*) ataupun patah (*fracture*). Proses terjadinya kelelahan melalui tiga kejadian, yaitu :

1. Naiknya tegangan pada daerah retak yang dapat menimbulkan adanya konsentrasi tegangan yang kemudian akan terjadi bentukan plastis. Kemudian terjadi retak mikro pada daerah tersebut.
2. Retak mikro akan berkembang dan jika pembebanan berulang diteruskan, retak akan merambat.
3. Setelah retak merambat cukup jauh, maka beban yang bekerja hanya akan didukung oleh penampang sisa yang belum retak dan akhirnya terjadi *final fracture*.

Kekuatan lelah suatu logam mempengaruhi umur lelah dari suatu logam dan untuk memperkirakannya ada beberapa faktor yang diperhitungkan salah satunya adalah pembebanan. Parameter pembebanan yang berpengaruh terhadap kelelahan logam adalah tegangan rata-rata, σ_m dan tegangan amplitudo, σ_a serta frekuensi pembebanan.

2.10.1 Bentuk dan Ukuran Benda Uji

Benda uji yang digunakan pada umumnya mempunyai penampang lingkaran atau segi empat dengan ujung lebih tebal sebagai tempat penjepitan agar patahan yang terjadi berkurang pada bagian ini dan bagian yang terpengaruh oleh pembebanan bagian tengah diberi ukuran khusus. Untuk benda uji spesimen kekuatan lelah telah diatur pada ASTM standar E606-92 sebagai berikut



Gambar 2.10 Bentuk Dan Ukuran Standar Spesimen Uji Kekuatan Lelah

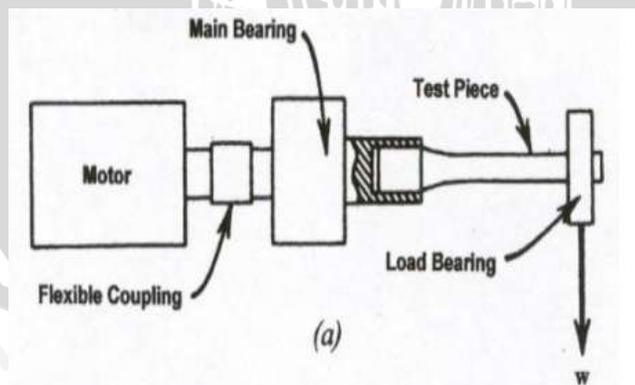
Sumber : ASTM E606-92, 1998 : 2

2.11 Rotating Bending Testing Machine

Rotating bending testing machine dibedakan menjadi 2, yaitu :

1. Rotating Cantilever Bending Fatigue Test Machine

Digunakan untuk beban amplitudo konstan yang momen lenturnya tak seragam sepanjang spesimen.

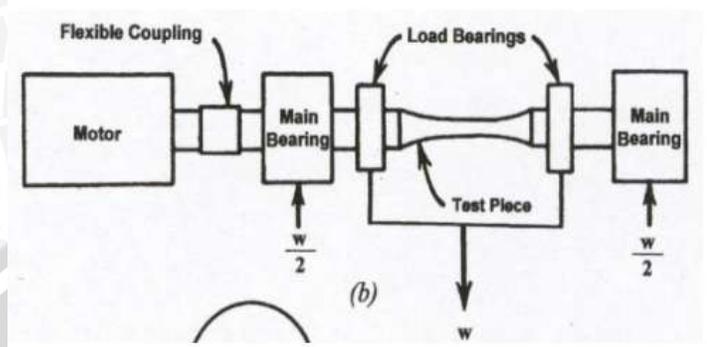


Gambar 2.11 Rotating Cantilever Bending Fatigue Test Machine

Sumber : Fatemi, et al : 13

2. Rotating Bending Test Machine

Digunakan untuk beban amplitudo konstan yang momen lenturnya seragam sepanjang spesimen.

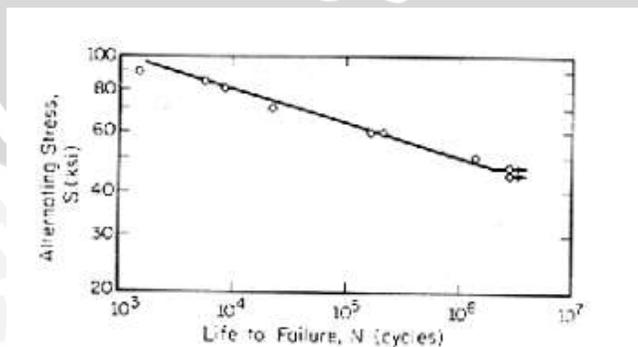


Gambar 2.12 Rotating Bending Test Machine
 Sumber : Fatemi, et al : 14

2.12 Diagram S-N

Konsep tegangan-siklus (S-N) merupakan pendekatan pertama untuk memahami fenomena kelelahan logam. Konsep ini secara luas dipergunakan dalam aplikasi perancangan material dimana tegangan yang terjadi dalam daerah elastik dan umur lelah cukup panjang. Metoda S-N ini tidak dapat dipakai dalam kondisi sebaliknya (tegangan dalam daerah plastis dan umur lelah relatif pendek). Umur lelah yang diperhitungkan dalam metoda S-N ini adalah umur lelah tahap I (inisiasi retak lelah) dan umur lelah II (propagasi retakan).

Dasar dari metoda S-N ini adalah diagram Wohler atau diagram S-N yang secara eksperimen didapat dari pengujian lelah lentur putar dengan tegangan yang bekerja berfluktuasi secara sinusoidal antar tegangan tarik dan tekan. Contoh diagram S-N diperlihatkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.13 Kurva S-N Baja AISI 1045
 Sumber : Arbianto, 2007 : 52

2.11 Hipotesa

Dengan semakin bertambahnya tekanan *plunger* maka porositas yang terjadi semakin kecil diakibatkan karena *plunger* mendesak udara dalam coran keluar sehingga porositasnya semakin kecil. Dan dengan semakin bertambahnya tekanan *plunger* maka kelelahannya semakin meningkat karena hasil coran menjadi semakin padat sehingga coran mampu menahan beban dalam jangka waktu yang lama.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

