

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Supriyanto (2009) dalam penelitiannya mengenai analisis hasil pengecoran aluminium dengan variasi pendingin berupa udara suhu kamar, air sumur, dan oli SAE 40 didapatkan hasil dari pengujian ketangguhan benda uji dengan pendinginan udara suhu kamar memiliki nilai ketangguhan yang paling baik. Sedangkan pada pengujian kekerasan benda uji dengan pendinginan air sumur mempunyai nilai kekerasan yang paling baik.

Raharjo, Abdillah, dan Wanto (2011) dalam penelitiannya yang berjudul “*Analisa Pengaruh Pengecoran Ulang Terhadap Sifat Mekanik Paduan Aluminium ADC 12*” didapatkan hasil penelitian yaitu material ADC 12 kekerasannya turun dari 95,4 HRB menjadi 71,8 HRB dan porositasnya meningkat dari 5,77% menjadi 34,97% saat di *remelting* dengan temperatur penuangan 700°C.

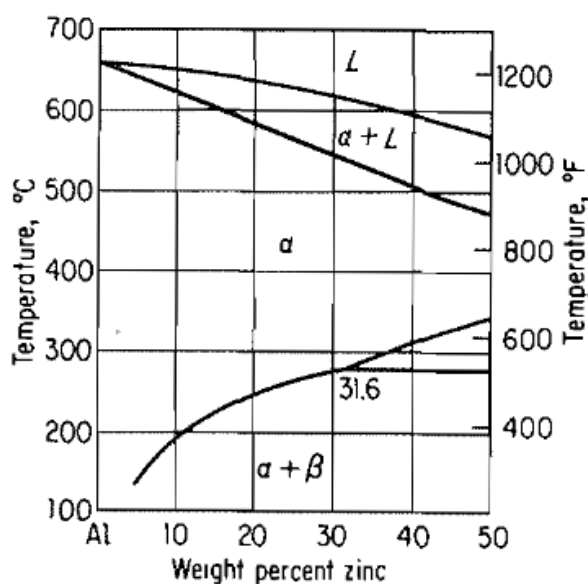
Nurkholiq, Purwanto, dan Respati (2013) dalam penelitiannya yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh tekanan terhadap struktur mikro, porositas, dan kekerasan pada pengecoran *squeeze* pada paduan aluminium daur ulang pada produksi kampas rem sepeda motor, dengan peleburan dan penuangan pada temperatur 700°C, *preheating* cetakan 400°C, dan variasi tekanan 125,71 MPa, 188,57 MPa dan 251,43 Mpa, didapatkan hasil bahwa semakin tinggi tekanan yang diberikan maka porositas akan menurun (porositas spesimen tekanan 125,71 MPa = 2,04%, tekanan 188,57 MPa = 1,50%, dan tekanan 251,43 MPa = 1,12%), nilai kekerasan meningkat (tekanan 125,71 MPa = 67,67 BHN, tekanan 188,57 MPa = 69,13 BHN dan tekanan 251,43 MPa = 79,87 BHN), dan struktur silikon semakin halus karena saat pembekuan terjadi proses penempaan.

Wijaya, Subaidi, dan Wijoyo (2017) dalam penelitiannya berjudul “*Pengaruh Temperatur Tuang Terhadap Ketangguhan Impak dan Struktur Mikro Hasil Pengecoran Paduan Aluminium dengan Menggunakan Cetakan Pasir*” dengan variasi temperatur tuang 660°C, 700°C dan 740°C, didapatkan hasil bahwa semakin tinggi temperatur tuang maka nilai ketangguhan impaknya semakin meningkat. Struktur mikro berupa *dendrite* yang terbentuk pada temperatur 660°C belum jelas, berukuran besar pendek, dan tidak teratur, pada temperatur 700°C *dendrite* semakin jelas, lengan-lengannya panjang, dan rapat, sedangkan pada temperatur 740°C *dendrite* sangat jelas, ukurannya lebih besar dan panjang.

2.2 Paduan Al-Zn

Aluminium murni pada dasarnya memiliki kekuatan yang cenderung rendah dan mudah terdeformasi, sehingga unsur-unsur paduan ditambahkan untuk mendapatkan sifat mekanik yang diinginkan. Namun, unsur-unsur paduan ini memiliki batas kadar penambahannya, karena jika terlalu banyak dikhawatirkan akan menghilangkan sifat-sifat utama dari aluminium sebagai logam utama. Unsur-unsur paduan yang dominan dalam hal ini adalah seng yang akan mempengaruhi sifat dari aluminium. Terdapat pula paduan lainnya dalam jumlah kecil yang juga mempengaruhi karakteristik dari paduan aluminium, unsur ini disebut unsur paduan minor.

Penambahan unsur seng sebagai paduan sebenarnya tidak memberikan pengaruh yang signifikan, namun dapat menghasilkan paduan yang *heat treatable*. Perlakuan panas dilakukan untuk menstabilkan *properties* yang dapat merubah beberapa komposisi didalamnya (Kaufman & Elwin, 2004). Penambahan unsur seng yang berlebih akan meningkatkan kegetasan, menurunkan ketangguhan dan ketahanan korosi. Penambahan unsur seng pada paduan Al-Si dapat meningkatkan ketangguhan.



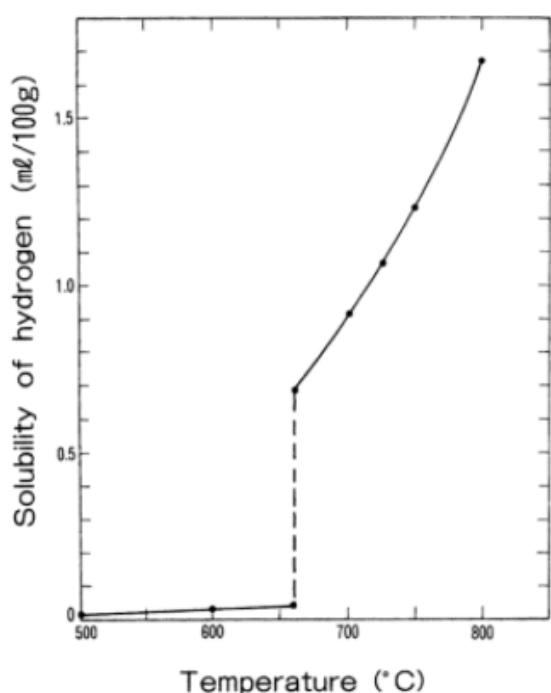
Gambar 2.1 Diagram fasa biner Al-Zn
Sumber: Avner (1974, p. 492)

2.3 Kelarutan Gas Dalam Paduan Al-Zn

Pada proses pengecoran logam, gas sangat mudah larut dalam logam cair. Unsur pembentuk gas seperti hidrogen memiliki kelarutan yang tinggi dalam logam cair daripada logam padat. Selama proses solidifikasi, hidrogen yang awalnya larut dalam fase cair menjadi tidak larut dalam fase padat, sehingga membentuk gelembung molekul gas H_2

yang lepas didalam fase padat, dan menyebabkan terjadinya porositas. Semakin banyak hidrogen yang larut dalam aluminium cair maka porositas yang terbentuk akan semakin banyak sehingga berpengaruh terhadap kualitas produk coran yang semakin menurun.

Porositas yang disebabkan oleh kelarutan gas hidrogen dipengaruhi oleh temperatur. Semakin tinggi temperatur, maka kelarutan hidrogen semakin besar. Saat cair, aluminium sangat mudah bereaksi dengan uap air (H_2O) yang terdapat di atmosfer sehingga terbentuk lapisan pasif Al_2O_3 dan gas hidrogen, dengan persamaan reaksi:



Gambar 2.2 Kelarutan hidrogen dalam aluminium
Sumber: Handbook of Aluminum Vol. 1 (2003, p.645)

Tabel 2.1
Kelarutan Hidrogen dalam Aluminium Cair

Temperatur		Kelarutan (dalam cm^2 hidrogen pada NTP per 100g Al)		
(°C)	(°F)	1	2	3
660	1220	0,69	0,83 (0,78 STP)	0,46
700	1290	0,91	1,07 (1,00 STP)	0,63
800	1470	1,68	1,86 (1,74 STP)	1,23
850	1560	2,18	2,40 (2,24 STP)	1,66

Sumber: Wahyono (2017, p.113)

Hidrogen masuk melalui atmosfer lingkungan yang lembab, pemakaian fluks yang tidak optimal, batu tahan api berpori, peralatan basah, atau bahan baku basah, kotor, dan berminyak. Pencegahan terbentuknya hidrogen dapat dilakukan dengan menghindari *over heating* cairan aluminium dengan menjaga suhu *holding*, menjaga aliran logam cair agar tidak turbulen saat penuangan, dan melakukan proses *degassing* dengan menginjeksikan gas *inert* seperti nitrogen atau argon ke dalam aluminium cair. Penambahan unsur paduan akan mempengaruhi kelarutan gas dalam aluminium.

2.4 Pengecoran Logam

Pengecoran logam merupakan proses manufaktur dengan tahap meleburkan logam, menuangkan logam cair ke dalam cetakan, membiarkan tersolidifikasi, lalu mengambil produk coran dari cetakan. Industri yang melakukan proses manufaktur pengecoran logam disebut *foundry*. Temperatur yang digunakan untuk melebur logam biasanya berada pada temperatur 50°C-100°C di atas titik lebur material yang dileburkan. Pengecoran logam berdasarkan cetakannya diklasifikasikan menjadi dua yaitu:

1. *Expendable mold* merupakan teknik pengecoran logam yang cetakannya hanya bisa digunakan untuk satu kali proses penuangan. Bahan cetakan umumnya adalah pasir, gips, keramik, dan material sejenis yang dicampur bahan pengikat. Pada cetakan, proses pengambilan produk cor harus merusak cetakannya. Contoh dari *expendable mold* adalah *sand casting* dan *investment casting*.
2. *Permanent Mold* merupakan teknik pengecoran logam yang cetakannya dapat digunakan berulang-ulang. Cetakan terbuat dari baja atau logam tahan panas. Cetakan ini dapat digunakan dalam produksi massal sehingga mengurangi biaya produksi, menghasilkan produk dengan dimensi yang baik, dan permukaan yang halus. Contoh dari *permanent mold* adalah *die casting*, *centrifugal casting*, dan *squeeze casting*.

Chill Casting adalah salah satu metode pengecoran logam, dimana *chill* merupakan objek yang digunakan untuk menyerap panas dan mempercepat proses solidifikasi pada bagian tertentu dari cetakan. Bagian cetakan yang biasa diberi *chill* adalah yang memiliki ketebalan paling besar, bertujuan agar logam cair dapat tersolidifikasi secara serempak. Metode ini juga mempengaruhi mikrostruktur dan sifat dari produk cor karena menyebabkan pembekuan terarah. *Chill* yang digunakan dapat terbuat dari logam seperti besi, baja, tembaga, perunggu, maupun aluminium. Material pasir dengan densitas, konduktivitas termal, dan kapasitas termal yang tinggi juga bisa digunakan, seperti pasir kromit atau pasir zirkon digunakan saat membuat cetakan dengan pasir silika. Terdapat 2 jenis *chill* yaitu:

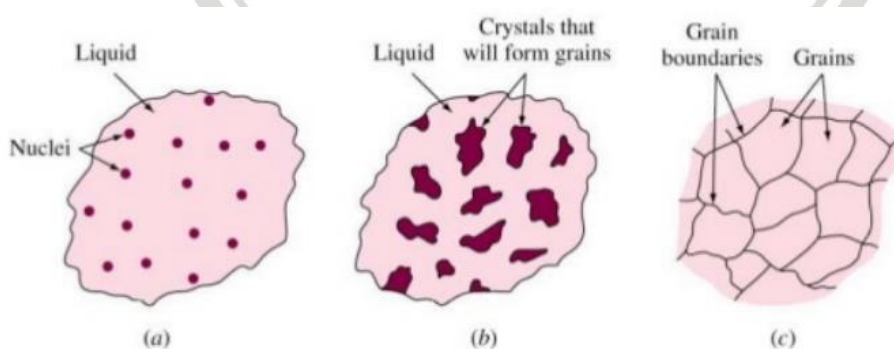
1. *Internal Chills* adalah potongan logam yang ditempatkan di dalam rongga cetakan. Ketika logam cair dituang, potongan logam ini akan meleleh dan menjadi bagian akhir dari produk cor, sehingga logam yang digunakan harus terbuat dari paduan yang sama atau sesuai dengan logam yang di cor.
2. *External Chills* adalah massa suatu material yang memiliki kapasitas panas dan konduktivitas termal yang tinggi. Massa ini ditempatkan di tepi rongga cetakan, dan secara efektif menjadi bagian dari dinding rongga cetakan.

2.5 Peleburan

Peleburan merupakan proses memanaskan logam hingga menjadi cair. Temperatur peleburan mengacu pada *melting point* logam yang dilebur apabila menggunakan logam murni, atau garis liquidus jika menggunakan logam paduan. Peleburan logam biasanya dilakukan pada temperatur 50°C - 100°C diatas *melting point* logam tersebut. Dalam menentukan temperatur cair pada logam paduan maka digunakan diagram fasa paduan tersebut, dimana kadar atau persentase masing-masing unsur paduan harus diketahui terlebih dahulu.

2.6 Solidifikasi

Solidifikasi merupakan proses transformasi logam/paduan dari fase cair menjadi padat. Solidifikasi diawali dengan pembentukan inti yang stabil. Kemudian logam cair perlahan berubah menjadi *solid*, dimulai dengan terbentuk kristal, lalu kristal tumbuh membentuk struktur butir dengan batas butir, hingga akhirnya menjadi padat. Garis awal terjadinya pembekuan disebut garis liquidus dan garis akhir pembekuan disebut garis solidus. Proses solidifikasi dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Proses solidifikasi
Sumber: Beeley (1972, p.883)

Daerah pembekuan pada proses solidifikasi logam terdiri dari 3 daerah/zona, yang dapat dilihat pada Gambar 2.4.

- *Chill Zone*

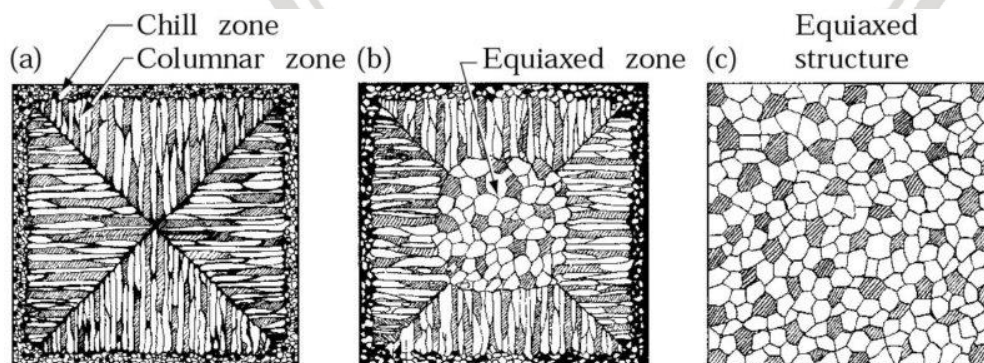
Saat proses penuangan berlangsung, logam cair yang bersentuhan langsung dengan dinding cetakan akan mengalami pendinginan cepat dibawah temperatur *liquid*-nya. Akibatnya, logam pada dinding cetakan memiliki banyak inti padat dan selanjutnya tumbuh kearah logam cair atau pusat rongga cetakan. Jika temperatur penuangan rendah maka seluruh logam cair akan membeku cepat dibawah temperatur *liquidus*-nya, dan jika temperatur penuangan tinggi, logam cair yang berada ditengah akan tetap berada diatas temperatur *liquidus* untuk waktu yang lebih lama.

- *Columnar Zone*

Sesaat setelah penuangan dilakukan, terjadi penurunan gradien temperatur pada dinding cetakan dan kristal pada daerah *chill* tumbuh memanjang. Kristal-kristal tersebut tumbuh memanjang berlawanan dengan arah perpindahan panas (panas bergerak dari logam cair ke arah dinding cetakan yang temperaturnya lebih rendah) yang disebut *dendrite*. Tiap kristal *dendrite* terdiri dari banyak logam dendrit (*primary dendrite*). Jika fraksi volume padatan (*dendrite*) meningkat dengan bertambahnya panjang dendrit dan jika struktur yang terbentuk berfase tunggal, maka lengan-lengan *dendrite* sekunder dan tertier akan keluar dari lengan *dendrite* primer. Daerah pembekuan yang terbentuk antara ujung *dendrite* dan titik dimana sisa cairan terakhir mengalami pembekuan disebut *mushy zone/pasty zone*.

- *Equiaxed Zone*

Terdiri dari butir-butir *equiaxial* yang tumbuh secara acak ditengah logam cair. Perbedaan temperatur pada daerah ini tidak menyebabkan butir tumbuh memanjang.



Gambar 2.4 Proses pembentukan butir pada cetakan
Sumber: Kalpakjian (2009, p.239)

2.7 Laju Pendinginan

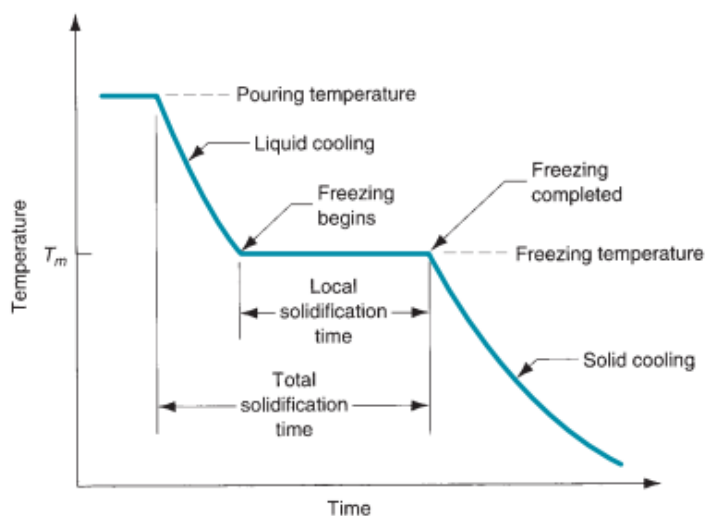
Laju pendinginan termasuk kedalam proses solidifikasi yang nilainya berbeda-beda tergantung pada materialnya. Laju pendinginan adalah penurunan temperatur tiap detiknya, dimana nilai temperturnya dimulai saat temperatur penuangan material hingga temperatur pembekuan berakhir. Rumus laju pendinginan dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\dot{q} = \frac{\Delta T}{t} = \frac{T_{pouring} - T_{freezing}}{t} \dots \dots \dots (2-2)$$

Keterangan:

- \dot{q} = Laju pendinginan (°C/s)
- $T_{pouring}$ = Temperatur Penuangan (°C)
- $T_{freezing}$ = Temperatur pembekuan (°C)
- t = Waktu (s)

Logam mulai tersolidifikasi sesaat setelah temperturnya turun dibawah titik leburnya. Dalam proses pendinginan dikenal waktu solidifikasi lokal, yang merupakan waktu yang dibutuhkan untuk logam untuk membeku dimana panas laten logam dilepaskan ke cetakan di sekitarnya. Sedangkan waktu solidifikasi total adalah waktu yang dibutuhkan mulai dari temperatur penuangan hingga temperatur pembekuan berakhir (laju pendinginan). Setelah logam menjadi *solid*, pendinginan berlanjut kembali dengan laju yang ditunjukkan oleh kemiringan kurva pendinginan pada gambar 2.5. Proses pendinginan dimulai dari logam cair yang bersentuhan langsung dengan dinding cetakan sehingga terbentuk kulit tipis padat sesaat setelah dilakukan penuangan. Ketebalan kulit meningkat disekitar logam cair sebagai pembekuan maju ke arah pusat rongga. Laju pendinginan dipengaruhi oleh perpindahan panas ke cetakan serta sifat termal dari logam (Groover, 2010).



Gambar 2.5 Kurva pendinginan pada logam dalam pengecoran
Sumber: Groover (2010, p.214)

2.8 Konduktivitas Termal

Konduktivitas termal berpengaruh besar terhadap laju pendinginan logam cair selama proses solidifikasi dan nilainya berbeda-beda tergantung pada materialnya. Konduksi adalah proses transfer panas dimana melibatkan transfer energi panas dalam material dari molekul ke molekul tanpa terjadinya perpindahan massa. Sehingga konduktivitas termal adalah kemampuan suatu material untuk mengalirkan/menghantarkan panas. Material dengan ikatan logam umumnya memiliki konduktivitas termal yang lebih tinggi daripada material dengan ikatan ion atau kovalen (keramik dan plastik). Material dengan konduktivitas listrik yang tinggi biasanya juga memiliki nilai konduktivitas termal yang tinggi.

Tabel 2.2
 Nilai Konduktivitas Termal Beberapa Material

Material	Konduktivitas Thermal (W/m.K)
Aluminium	211.0
Tembaga	385.0
Baja	45.0
Pasir (<i>saturated</i>)	2.4

Sumber: Aswata & Suarnadwipa (2016, p.2)

2.9 Massa Jenis

Massa jenis/densitas (ρ) termasuk ke dalam sifat fisik dari suatu material yang merupakan pengukuran massa per satuan volume benda dengan satuan yang umum adalah (g/cm^3). Massa jenis juga digunakan dalam perhitungan porositas. Terdapat dua massa jenis pada perhitungan porositas yaitu:

a. *Theoretical Density*

Massa jenis teoritis adalah massa jenis suatu material tanpa mempertimbangkan porositas di dalamnya, dihitung berdasarkan persentase unsur penyusunnya. Massa jenis ini dihitung menggunakan rumus ASTM D 2734-94 yaitu:

$$\rho_{th} = \frac{100}{\left(\frac{\%Al}{\rho_{Al}} + \frac{\%Zn}{\rho_{Zn}} + \frac{\%Si}{\rho_{Si}} + etc\right)} \dots\dots\dots (2-3)$$

Keterangan:

- ρ_{th} = *Theoretical Density* (g/cm^3)
- $\rho_{Al}, \rho_{Zn}, \rho_{Si}, etc$ = Densitas Unsur (g/cm^3)
- $\%Al, \%Zn, \%Si, etc$ = Persentase Berat Unsur (%)

b. *Apparent Density*

Apparent density adalah massa jenis material dengan memperhitungkan porositas di dalamnya. Massa jenis ini dihitung menggunakan rumus ASTM B311-93 yaitu:



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

Keterangan:

ρ_s = *Apparent Density* (g/cm³)

ρ_w = Densitas Air (g/cm³)

W_s = Berat sampel di udara (*dry weight*) (g)

W_{sb} = Berat apung sampel dan keranjang di dalam air (g)

W_b = Berat apung keranjang di dalam air (g)

2.10 Porositas

Porositas terjadi akibat terperangkapnya gas hidrogen dalam logam cair saat peleburan maupun penuangan, dan gas tersebut terjebak hingga logam memadat. Hidrogen adalah produk gas sampingan dari reaksi pembentukan lapisan Al₂O₃ pada permukaan aluminium cair dan larut pada aluminium saat berwujud cair. Porositas menurunkan sifat mekanik dan kesempurnaan geometri produk coran. Porositas ditandai dengan terbentuknya lubang-lubang pada bagian dalam produk coran. Cacat porositas terdiri dari 2 macam, yaitu:

a. *Interdendritic Shrinkage*

Cacat akibat penyusutan pori-pori kecil antar *dendrite*. Cacat ini disebut juga *microshrinkage* atau *shrinkage porosity* (porositas penyusutan) (Askeland, 2010). Porositas ini menghasilkan bentuk lubang yang tidak beraturan dan panjang.

b. *Gas Porosity*

Cacat akibat karena adanya kelebihan hidrogen yang tidak dapat masuk dalam struktur logam atau paduan kristal padat sehingga membentuk gelembung yang terperangkap dalam logam padat dan akhirnya menghasilkan porositas gas (Askeland, 2010). Porositas gas menghasilkan lubang-lubang bulat saat diuji metalografi.

Nilai porositas dihitung menggunakan persamaan berikut:

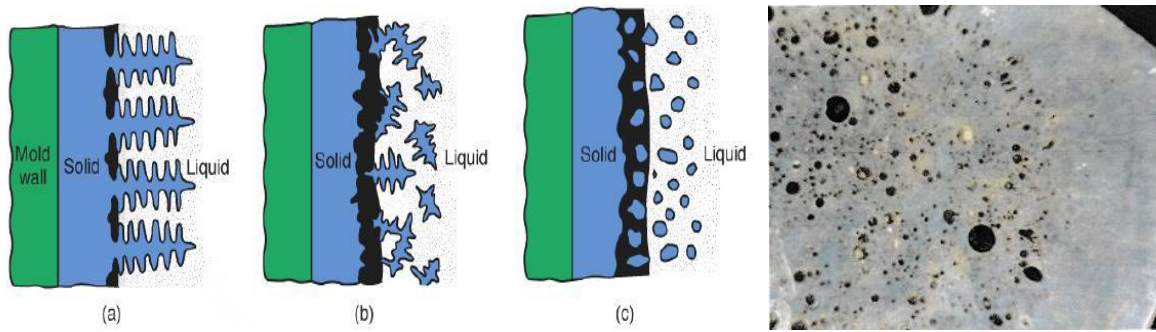
$$\% P = \left(1 - \frac{\rho_s}{\rho_{th}} \right) \times 100\% \dots \dots \dots (2-5)$$

Keterangan:

%P = Persentase Porositas (%)

ρ_s = *Apparent Density* (gr/cm³)

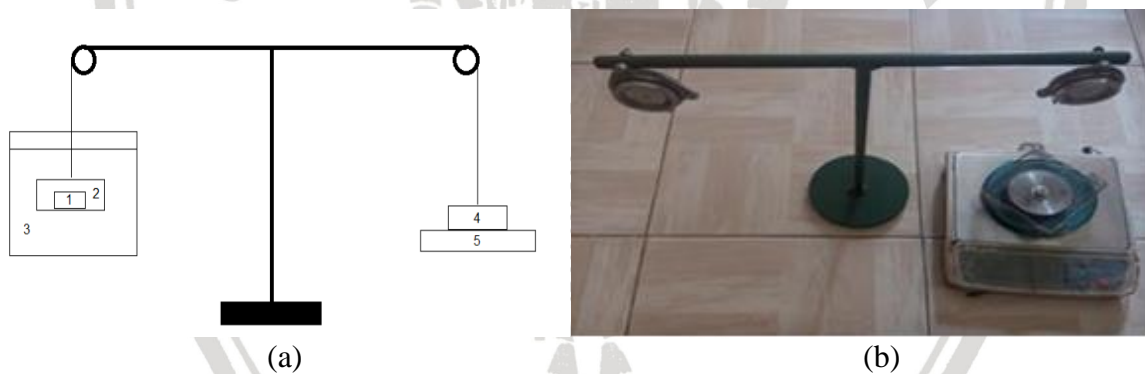
ρ_{th} = *Theoretical Density* (gr/cm³)



Gambar 2.6 Interdendritic shrinkage dan gas porosity
 Sumber: Askeland (2010)

2.11 Pikhometri

Pikhometri merupakan metode pengujian massa jenis dengan cara membandingkan massa spesimen di udara dengan massa spesimen di dalam air. Hasil dari pengujian pikhometri akan diolah dengan persamaan *apparent density*. Pengukuran dilakukan menggunakan timbangan yang disambungkan dengan keranjang agar mudah dalam menempatkan spesimen dan memanfaatkan bejana yang berisi air untuk mengetahui berat spesimen dan keranjang dalam air. Komponen-komponen pada pengujian pikhometri ini terdiri dari: 1. Spesimen 2. Keranjang 3. Bak berisi fluida 4. Master berat 5. Timbangan.



Gambar 2.7 Instalasi pengujian pikhometri (a) skema pengujian, (b) alat uji pikhometri
 Sumber: Laboratorium Material $\alpha\beta\gamma$ (2018)

2.12 Metalografi

Metalografi adalah ilmu yang mempelajari tentang metode pengujian atau pengamatan dengan tujuan mengetahui hubungan antara struktur dengan sifat yang dialami suatu logam atau paduan. Pengamatan struktur logam dilakukan dapat dengan menggunakan skala pembesaran rendah mikroskop optik maupun skala pembesaran tinggi dengan menggunakan atau mikroskop elektron. Tahapan dalam pengujian metalografi diantaranya:

1. *Cutting*
Merupakan proses pengambilan sebagian kecil sampel dari produk yang akan dianalisis. Pada proses pemotongan perlu diperhatikan alat potong yang akan digunakan agar tidak menimbulkan efek samping pada sampel.
2. *Labelling*
Merupakan pemberian identitas sampel dilakukan agar bagian-bagian dari sampel dapat dibedakan. Dalam hal ini harus dipastikan bahwa identitas tidak hilang selama proses pengujian.
3. *Mounting*
Merupakan proses pelapisan sampel logam dengan zat organik seperti bakelit, dan epoxy resin untuk mempermudah penanganan sampel saat proses pengujian metalografi berlangsung tanpa merusak sampel.
4. *Grinding*
Merupakan proses meratakan permukaan sampel dengan menggunakan bahan abrasif dari tingkat kasar sampai tingkat yang halus.
5. *Polishing*
Merupakan proses tahap akhir dari perataan permukaan sampel, dapat dilakukan dengan cara mekanis, kimia, dan elektrolitik dengan menggunakan pasta poles yang biasanya terbuat dari alumina hingga bebas goresan dan tampak seperti cermin.
6. *Etching*
Merupakan proses pemberian *reagent* kimia pada permukaan hasil *polishing* untuk mendapatkan penampakan khusus seperti fasa batas butir, dislokasi, dan struktur mikro tertentu dibawah mikroskop. Setiap logam memiliki *reagent etchant* tertentu. Pemilihan cairan etsa akan yang digunakan bergantung pada material yang akan diuji. Jenis-jenis cairan etsa dalam pengujian mikrostruktur dapat dilihat pada tabel 2.3.
7. *Cleaning*
Merupakan proses pembersihan permukaan logam setelah dietsa dari kotoran ataupun *reagent* kimia, dengan menggunakan air mengalir hingga tahap *polishing*, dan menggunakan alkohol untuk etsa.
8. *Drying*
Merupakan proses pengeringan permukaan sampel hingga kering. Air yang tersisa dapat memberikan interpretasi yang salah.
9. *Examination Under Microscope*

Tabel 2.3
Cairan Etsa dalam Pengujian Mikrostruktur

ETCHING REAGENT	COMPOSITION	USES	REMARKS
Nitric acid (nital)	White nitric acid (1-5 ml) Ethyl or methyl alcohol (95% or absolute) (100 ml) (also amyl alcohol)	In carbon steels: (1) to darken pearlite and give contrast between pearlite colonies, (2) to reveal ferrite boundaries, (3) to differentiate ferrite from martensite.	Etching rate is increased, selectivity decreased with increasing percentages of HNO ₃ . Reagent 2 (picric acid) usually superior Etching time a few seconds to 1 min
Picric acid (picral)	Picric acid (4 g) Ethyl or methyl alcohol (95% or absolute) (100 ml)	For all grades of carbon steels: annealed, normalized, quenched, and tempered, spheroidized, austempered. For all low-alloy steels attacked by this reagent	More dilute solutions occasionally useful. Does not reveal ferrite grain boundaries as readily as nital Etching time a few seconds to 1 min or more
Ferric chloride and hydrochloric acid	Ferric chloride (5 g) Hydrochloric acid (50 ml) Water (100 ml)	Structure of austenitic nickel and stainless steels	
Ammonium hydroxide and hydrogen peroxide	Ammonium hydroxide (5 parts) Water (5 parts) Hydrogen peroxide (2-5 parts)	Generally used for copper and many of its alloys	Peroxide content varies directly with copper content of alloy to be etched Immersion or swabbing for about 1 min. Fresh peroxide for good results
Ammonium persulfate	Ammonium persulfate (10 g) Water (90 ml)	Copper, brass, bronze, nickel, silver, aluminum bronze	Use either cold or boiling; immersion
Palmerton reagent	Chromic oxide (200 g) Sodium sulfate (15 g) Water (1000 ml)	General reagent for zinc and its alloys	Immersion with gentle agitation
Ammonium molybdate	Molybdic acid (85%) (100 g) Ammonium hydroxide (sp gr 0,9) (140 ml) Water (240 ml)	Rapid etch for lead and its alloys; very suitable for removing thick layer of worked metal	Alternately swab specimen and wash in running water

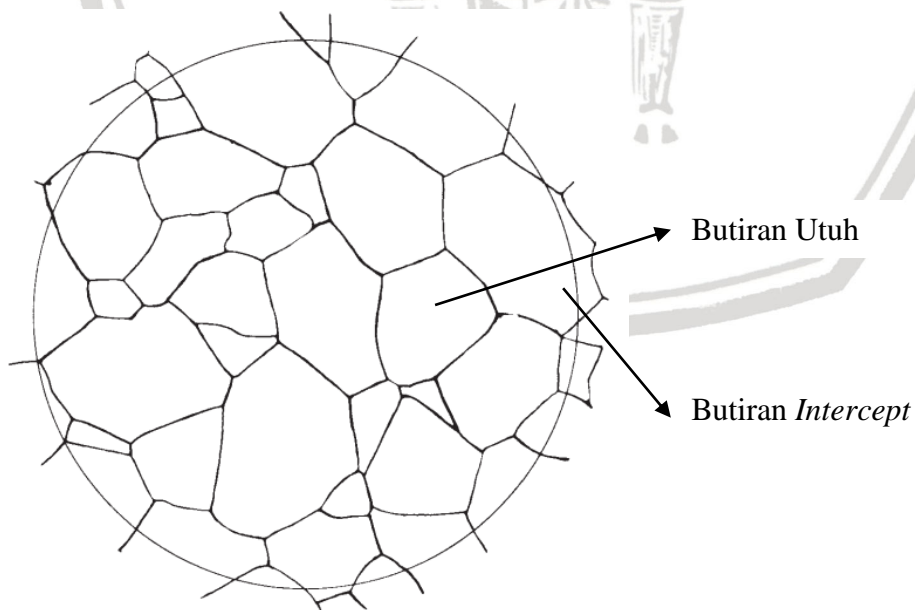
	Filter and add to nitric acid (sp gr 1,32) (60 ml)		
Hydrofluoric acid	Hydrofluoric acid (conc) (0,5 ml) H ₂ O (99,5 ml)	General microscopic for aluminum and its alloys	Swab with soft cotton for 15 s

Sumber: Avner (1974, p.22)

2.13 Perhitungan Diameter Butir (Planimetri)

Perhitungan diameter butir merupakan salah satu bentuk analisis mikrostruktur material. Diameter butir diketahui dari hubungan antara laju pertumbuhan butir (G) dan laju nukleasi (N) (Avner, 1974). Pengamatan struktur mikro dilakukan menggunakan mikroskop optik pada pembesaran tertentu setelah melalui beberapa tahap persiapan pengujian metalografi. Pengukuran diameter butir dilakukan pada foto mikrostruktur pembesaran 100X, mengacu pada standar ASTM E 112 dengan metode planimetri. Metode ini menggunakan lingkaran dengan luas 5000 mm^2 pada plastik transparan. Plastik ini diletakkan diatas foto mikro dan dihitung jumlah butir didalamnya. Perbesaran dipilih sedemikian sehingga setidaknya terdapat 50 butir dalam lingkaran. Berikutnya hitung jumlah semua butir dalam lingkaran, di tambah setengah dari jumlah butir yang berpotongan dengan lingkaran. Nilai butir ASTM dihitung dengan mengalikan jumlah butir dengan pengali jefferies (f), Berikut prosesnya:

1. Menghitung jumlah butiran di dalam lingkaran, baik yang utuh maupun yang *intercept*.



Gambar 2.8 Contoh Butiran
Sumber: ASTM E 112-96 (2004, p.5)

2. Mencari nilai faktor pengali *Jeffries* sesuai dengan perbesaran yang digunakan.

Tabel 2.4

Hubungan Antara Perbesaran dengan Faktor Penggali *Jeffries* untuk Area 5000 mm²

Magnification Used, <i>M</i>	<i>Jeffries Multiplier, f, to Obtain Grains/mm²</i>
1	0.0002
10	0.02
25	0.125
50	0.5
75	1.125
100	2.0
150	4.5
200	8.0
250	12.5
300	18.0
500	50.0
750	112.5
1000	200.0

Sumber: ASTM E 112-96 (2004, p.8)

3. Menghitung jumlah butir per satuan luas (N_A) menggunakan persamaan:

$$N_A = f \left(N_{inside} + \frac{N_{intercepted}}{2} \right) \dots \dots \dots (2-6)$$

Keterangan:

N_A = Jumlah butiran per satuan luas (mm⁻²)

f = Faktor pengali *Jeffries* (M²/5000)

N_{inside} = Jumlah butiran utuh di dalam area (mm⁻²)

$N_{intercepted}$ = Jumlah butiran *intercept* di dalam area (mm⁻²)

M = Perbesaran mikroskop yang digunakan

4. Menghitung nilai ukuran butir (G) menggunakan persamaan ASTM E 112-96:

$$G = (3,321928 \log_{10} N_A) - 2,954$$

Keterangan:

G = Nilai ukuran butir ASTM

5. Mengubah nilai ukuran butir (G) menjadi nilai diameter butir rata-rata dengan menggunakan rumus interpolasi dari nilai yang sudah diketahui pada tabel 2.5.

Tabel 2.5
Grain Size Relationship

Grain Size No. G	\bar{N}_A Grains/Unit Area		\bar{A} Average Grain Area		\bar{d} Average Diameter		$\bar{\ell}$ Mean Intercept		\bar{N}_L No./mm
	No./in. ² at 100X	No./mm ² at 1X	mm ²	μm ²	mm	μm	mm	μm	
00	0.25	3.88	0.2581	258064	0.5080	508.0	0.4525	452.5	2.21
0	0.50	7.75	0.1290	129032	0.3592	359.2	0.3200	320.0	3.12
0.5	0.71	10.96	0.0912	91239	0.3021	302.1	0.2691	269.1	3.72
1.0	1.00	15.50	0.0645	64516	0.2540	254.0	0.2263	226.3	4.42
1.5	1.41	21.92	0.0456	45620	0.2136	213.6	0.1903	190.3	5.26
2.0	2.00	31.00	0.0323	32258	0.1796	179.6	0.1600	160.0	6.25
2.5	2.83	43.84	0.0228	22810	0.1510	151.0	0.1345	134.5	7.43
3.0	4.00	62.00	0.0161	16129	0.1270	127.0	0.1131	113.1	8.84
3.5	5.66	87.68	0.0114	11405	0.1068	106.8	0.0951	95.1	10.51
4.0	8.00	124.00	0.0081	8065	0.0898	89.9	0.0800	80.0	12.50
4.5	11.31	175.36	0.0057	5703	0.0755	75.5	0.0673	67.3	14.87
5.0	16.00	248.00	0.0040	4032	0.0635	63.5	0.0566	56.6	17.68
5.5	22.63	350.73	0.0029	2851	0.0534	53.4	0.0476	47.6	21.02
6.0	32.00	496.00	0.0020	2016	0.0449	44.9	0.0400	40.0	25.00
6.5	45.25	701.45	0.0014	1426	0.0378	37.8	0.0336	33.6	29.73
7.0	64.00	992.00	0.0010	1008	0.0318	31.8	0.0283	28.3	35.36
7.5	90.51	1402.90	0.0007	713	0.0267	26.7	0.0238	23.8	42.04
8.0	128.00	1984.00	0.0005	504	0.0225	22.5	0.0200	20.0	50.00
8.5	181.02	2805.80	0.0004	356	0.0189	18.9	0.0168	16.8	59.46
9.0	256.00	3968.00	0.0003	252	0.0159	15.9	0.0141	14.1	70.71
9.5	362.04	5611.60	0.0002	178	0.0133	13.3	0.0119	11.9	84.09
10.0	512.00	7936.00	0.0001	126	0.0112	11.2	0.0100	10.0	100.00
10.5	724.08	11223.20	0.0001	89.1	0.0094	9.4	0.0084	8.4	118.90
11.0	1024.00	15872.00	0.0001	63.0	0.0079	7.9	0.0071	7.1	141.40
11.5	1448.15	22446.40	0.0000	44.6	0.0067	6.7	0.0060	6.0	168.20
12.0	2048.00	31744.10	0.0000	31.5	0.0056	5.6	0.0050	5.0	200.00
12.5	2896.31	44892.90	0.0000	22.3	0.0047	4.7	0.0042	4.2	237.80
13.0	4096.00	63488.10	0.0000	15.8	0.0040	4.0	0.0035	3.5	282.80
13.5	5792.62	89785.80	0.0000	11.1	0.0033	3.3	0.0030	3.0	336.40
14.0	8192.00	126976.30	0.0000	7.9	0.0028	2.8	0.0025	2.5	400.00

Sumber: ASTM E 112-96 (2004, p.8)

2.14 Hipotesis

Berdasarkan tinjauan pustaka maka dapat diambil hipotesis bahwa laju pendinginan akan mempengaruhi porositas dan struktur mikro dalam produk coran. Semakin cepat laju pendinginan maka porositas *shrinkage* (penyusutan) yang dihasilkan akan semakin kecil, akan tetapi porositas gas akibat gas hidrogen yang terjebak akan semakin besar. Sedangkan pada struktur mikro, semakin cepat laju pendinginan maka akan menghasilkan diameter butir dengan ukuran yang semakin kecil.

