

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Wimada (2009) dalam penelitiannya membuktikan bahwa pada pengecoran sentrifugal Al-Si-Mg dengan temperatur pemanasan awal cetakan sebesar 400 °C menghasilkan cacat permukaan luar (*blowholes* dan *pinholes*) yang paling minimal daripada temperatur yang lainnya, yang lebih rendah.

Putra (2010) dengan penelitiannya, membuktikan bahwa dalam pengecoran sentrifugal horizontal Al-Mg-Si, nilai porositas rata-rata tertinggi ditemukan pada cetakan dengan temperatur *preheating* 400 °C. Sementara untuk kekuatan tarik tertinggi terdapat pada variasi *preheating* 50 °C.

Selanjutnya, Budirta (2014) yang meneliti tentang pengaruh waktu peleburan terhadap pengecoran Al dan Cu, menghasilkan nilai porositas yang semakin bertambah dan diameter butir yang semakin kecil, seiring dengan bertambahnya waktu peleburan.

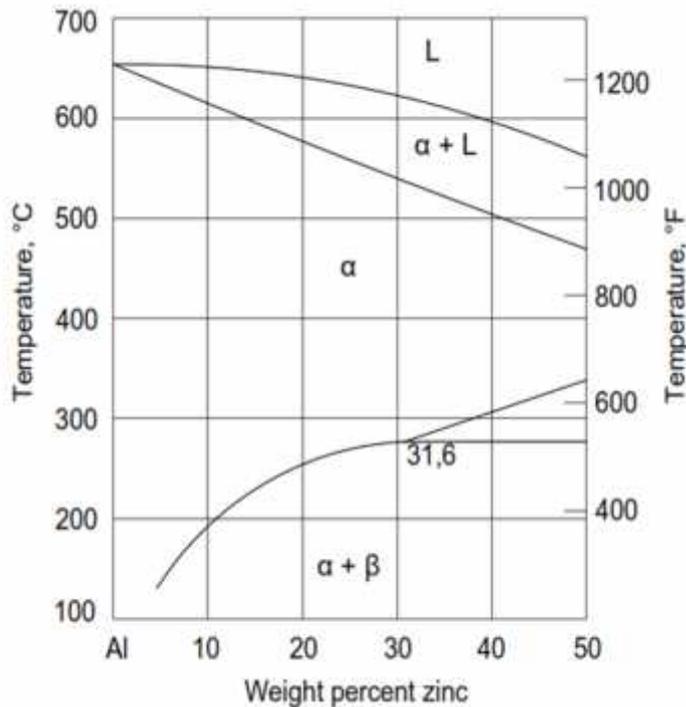
Lain halnya dengan Ramadhan (2017), yang meneliti tentang pengaruh dari temperatur penuangan terhadap porositas dan penyusutan geometri dari hasil coran. Berdasarkan penelitian tersebut, didapatkan bahwa semakin tinggi nilai temperatur penuangannya, nilai penyusutan volume dan porositasnya juga semakin meningkat.

2.2 Paduan Aluminium Al-Zn

Paduan aluminium Al-Zn, merupakan salah satu jenis paduan aluminium yang biasa digunakan sebagai bahan baku untuk industri manufaktur. Tipe Al-Zn yang sering digunakan adalah 7075, 7079, dan 7178. Aplikasi dari paduan aluminium ini digunakan untuk rangka-rangka konstruksi terutama pesawat udara

Secara umum, paduan Al-Zn memiliki kekuatan tarik tertinggi di antara seluruh paduan aluminium. Selain itu, Al-Zn juga memiliki sifat mampu cor yang cukup baik, ketahanan korosi yang baik (jika ditambahkan kromium), dan mampu mesin yang sangat baik. (Avner, 1974)

Sementara untuk mengetahui fasa-fasa yang terbentuk dari Al-Zn dapat digunakan diagram fasa biner semu seperti Gambar 2.1.



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

Meskipun dinamakan paduan Al-Zn, tetapi pada kenyataannya unsur paduan yang terdapat dalam logam tersebut tidak hanya Al, dan Zn. Biasanya, terdapat pula unsur-unsur paduan logam lainnya yang ikut mempengaruhi karakteristik dari paduan Al-Zn itu sendiri. Hanya saja, kadar unsur paduan tersebut berbeda-beda. Zn sebagai unsur paduan utama tentunya memiliki kadar yang paling tinggi. Sebaliknya, untuk unsur-unsur paduan lain memiliki kadar yang kecil, sehingga sering juga disebut sebagai unsur paduan minor. Penambahan unsur paduan juga perlu untuk diperhatikan agar tidak melebihi dari kadar yang telah ditentukan, demi mencegah hilangnya sifat asli dari Al sebagai logam utama.

2.3 Kelarutan Gas dalam Aluminium Paduan

Kelarutan gas dalam logam cair merupakan salah satu penyebab utama terjadinya porositas dalam pengecoran. Pada umumnya, gas yang sering terlarut dalam paduan aluminium cair adalah gas hidrogen (H_2). Terlarutnya gas dalam logam cair disebabkan karena nilai kelarutan hidrogen dalam aluminium cair lebih tinggi daripada aluminium padat. Sehingga selama solidifikasi banyak gas hidrogen yang masuk ke dalam logam cair dan terjebak membentuk gelembung-gelembung yang disebut porositas. Gas hidrogen dalam aluminium cair ditemukan akibat terjadinya reaksi antara uap air yang didapatkan dari kelembaban atmosfer dan aluminium cair, sebagai berikut:



Kelarutan hidrogen dalam aluminium cair juga dipengaruhi oleh tekanan parsial pada hidrogen itu sendiri, hal ini sesuai dengan Hukum Sievert's tentang kelarutan gas:

$$C_g = \sqrt{k p_{mol}} \dots\dots\dots(2-2)$$

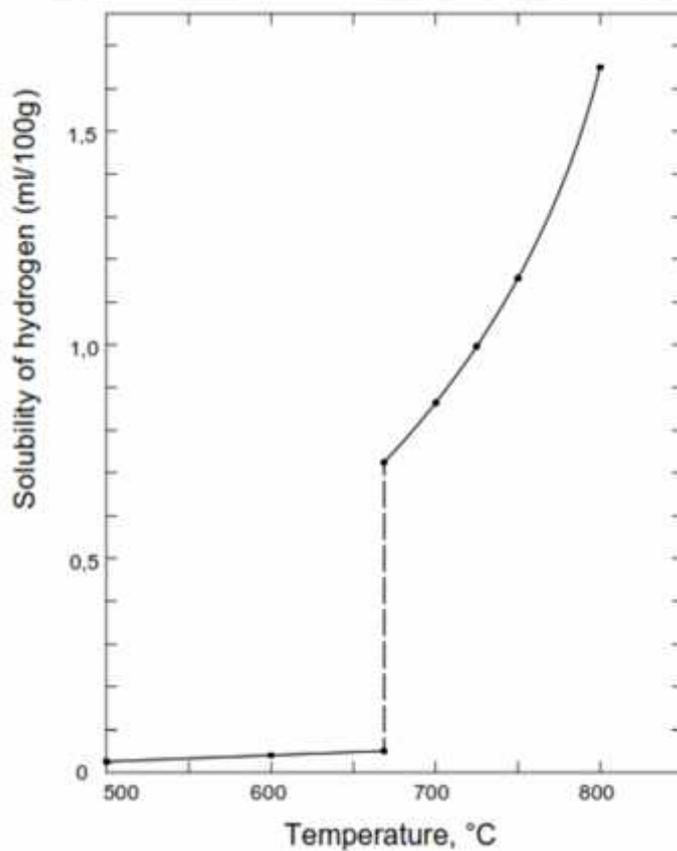
Dimana:

C_g = kelarutan gas

k = konstanta Sievert's

p_{mol} = tekanan gas

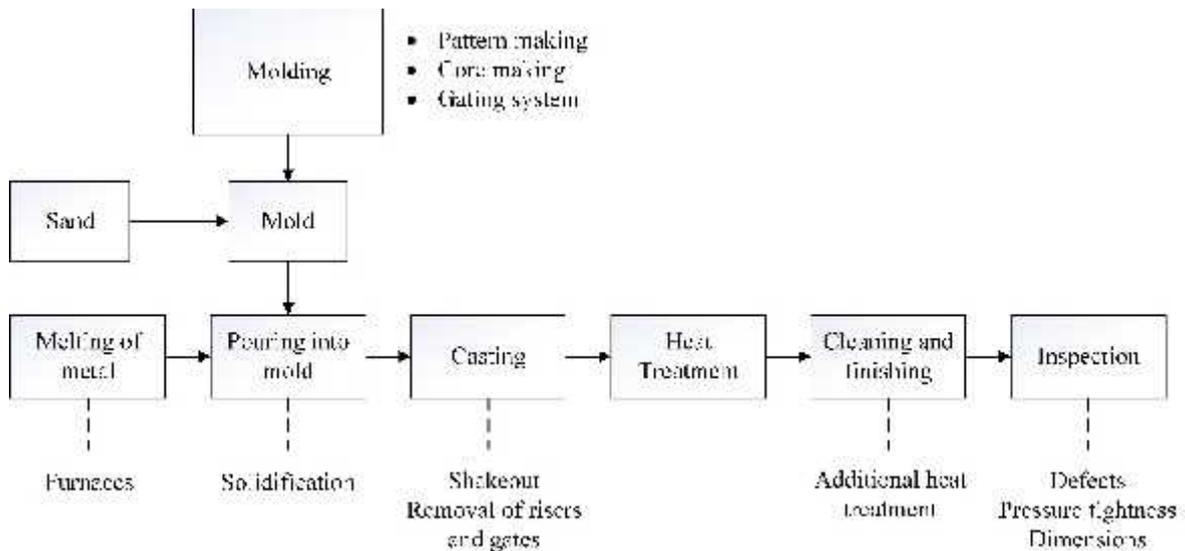
Selain itu, kelarutan hidrogen juga dipengaruhi oleh temperatur dari logam cair itu sendiri. Semakin tinggi temperatur dari logam cair, maka nilai kelarutan hidrogen dalam logam cair juga semakin tinggi. Hal ini dapat dilihat pada gambar berikut:



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

2.4 Pengecoran Logam

Pengecoran logam merupakan salah satu proses manufaktur untuk membuat suatu produk atau benda kerja dengan cara meleburkan logam, menuangkannya ke dalam rongga cetakan, kemudian membiarkannya hingga terjadi solidifikasi. Secara garis besar, proses pengecoran logam terdiri dari beberapa tahap seperti pada gambar di bawah ini:



Gambar 2.3 Tahapan pengecoran logam
Sumber: Kalpakjian (1989, p. 300)

1. *Molding*

Sebelum melakukan proses pengecoran logam, kita terlebih dahulu harus melakukan perencanaan seperti pembuatan pola, pembuatan inti, dan sistem saluran masuk. Perencanaan ini terdiri atas pembuatan desain dan rancangan dari pola, inti, dan sistem saluran masuk yang mengacu pada desain benda kerja yang telah dibuat sebelumnya untuk membuat cetakan. Setelah itu, barulah kita dapat menentukan bahan dari cetakan tersebut (*expandable mold* atau *permanent mold*).

2. *Mold*

Dari proses *molding* di atas, hasil akhirnya berupa cetakan yang akan dipakai untuk proses pengecoran. Cetakan dibuat dari bahan-bahan tertentu, tergantung dari jenis pengecoran yang kita pilih, apakah *expandable mold* atau *permanent mold*. Perbedaan dari *expandable mold* dan *permanent mold* adalah sebagai berikut:

- *Expandable Mold Casting*

Expandable mold casting merupakan pengecoran logam yang menggunakan cetakan yang hanya dapat digunakan satu kali untuk proses pengecoran. Hal ini

disebabkan karena setelah mengalami solidifikasi, cetakan coran harus dihancurkan untuk dapat memisahkan produk coran dari cetakannya. Karena, bahan cetakan yang digunakan dalam jenis pengecoran ini adalah pasir, keramik, atau gips yang dicampur dengan bahan pengikat.

- *Permanent Mold Casting*

Berbeda dengan *expendable mold casting*, *permanent mold casting* merupakan teknik pengecoran logam yang menggunakan cetakan yang dapat dipakai berulang-ulang. Cetakan untuk jenis pengecoran ini biasanya menggunakan material seperti besi cor, baja, kuningan, grafit, dan logam-logam paduan tahan panas. Cetakan yang digunakan sengaja didesain agar produk coran dapat dipisahkan dengan mudah dari cetakan, sehingga tidak perlu untuk merusak cetakan.

3. *Melting of Metal*

Bersamaan dengan proses pembuatan cetakan (*mold*), di lain tempat dilakukan proses peleburan dari logam yang akan digunakan sebagai bahan baku untuk membuat benda kerja. Peleburan logam ini biasanya dilakukan di dalam tungku induksi dengan temperatur 50 °C – 100 °C di atas titik leburnya.

4. *Pouring into Mold*

Setelah memiliki kedua bahan utama yaitu logam cair dan cetakan, selanjutnya logam cair dituang ke dalam cetakan yang telah dibuat dengan temperatur penuangan tertentu, sesuai dengan jenis material yang digunakan. Kecepatan penuangan juga perlu diperhatikan karena dapat mempengaruhi fluiditas dari logam cair itu sendiri dan menyebabkan pendinginan prematur (*cold shuts*).

5. *Casting*

Logam cair yang dituangkan kemudian dibiarkan selama beberapa saat hingga terjadi solidifikasi. Selanjutnya, dilakukan pemisahan hasil coran (*casting*) dari cetakannya.

6. *Heat Treatment*

Proses perlakuan panas (*heat treatment*) disini merupakan proses opsional, yang artinya hanya dilakukan jika diperlukan. Tujuan dari proses *heat treatment* ini adalah untuk mendapatkan sifat mekanik yang diinginkan, yang belum didapatkan dari proses pengecoran.

7. *Cleaning and Finishing*

Produk hasil coran selanjutnya dibersihkan dan dilakukan *finishing* untuk memperbaiki kualitas dan menyempurnakan produk agar sesuai dengan rancangan atau desain awal. Dapat juga dilakukan proses perlakuan panas tambahan apabila diperlukan.

8. *Inspection*

Tahap terakhir merupakan tahap inspeksi (*inspection*) yang terdiri atas pengecekan cacat coran, pengukuran dimensi, dan sebagainya. Tujuan dari proses ini adalah untuk mengetahui kualitas dari produk hasil coran, untuk menentukan apakah produk tersebut layak untuk digunakan atau tidak.

2.5 Permanent Mold Casting

Seperti yang dijelaskan pada subbab sebelumnya, *permanent mold casting* atau juga disebut *hard mold casting* adalah teknik pengecoran logam dengan cetakan yang dapat dipakai berulang-ulang. Sistem saluran untuk cetakan ini dibuat menyatu dengan cetakan. Sementara itu, untuk desain produk yang memiliki rongga dalam produk coran, dapat ditambahkan inti yang terbuat dari logam atau pasir agregat dan di tempatkan di dalam cetakan sebelum dilakukan pengecoran. Biasanya, bahan yang digunakan untuk inti adalah besi kelabu (*gray iron*).

Sebelum melakukan penuangan logam cair, permukaan cetakan permanen harus dilapisi oleh cairan tahan panas seperti oli, sodium silikat, atau tanah liat yang dicampur dengan grafit terlebih dahulu dengan tujuan untuk memperpanjang usia pemakaian dari cetakan itu sendiri. Setelah itu, cetakan dipasang dan dipanasi pada temperatur 150 – 200 °C untuk mempermudah aliran logam cair dan mengurangi cacat termal pada cetakan (Avner, 1997).

Penggunaan cetakan permanen untuk pengecoran logam memiliki keunggulan tersendiri dari cetakan pasir. Untuk perbandingan dari cetakan permanen dan cetakan pasir dapat dilihat di Tabel 2.1.

Tabel 2.1
Perbandingan Cetakan Permanen dan Cetakan Pasir

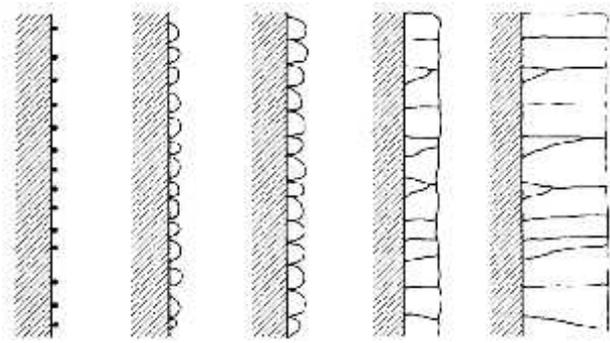
Cetakan Permanen	Cetakan Pasir
Cetakan dapat digunakan berulang kali	Cetakan hanya dapat digunakan satu kali
Produk coran yang dihasilkan lebih akurat dan presisi	Produk coran yang dihasilkan kurang akurat dan presisi
Dapat digunakan untuk produksi massal	Kurang cocok untuk digunakan dalam produksi massal
Memerlukan biaya produksi yang lebih mahal	Biaya produksi yang dikeluarkan lebih rendah
Produk coran memiliki kekasaran permukaan yang lebih baik	Produk coran memiliki kekasaran permukaan yang kurang baik
Hanya dapat digunakan untuk benda coran yang memiliki bentuk sederhana	Dapat digunakan untuk benda coran yang lebih rumit
Tidak cocok untuk bahan baku logam dengan titik lebur tinggi	Cocok untuk semua jenis logam
Proses <i>finishing</i> yang diperlukan tidak terlalu banyak	Memerlukan banyak proses <i>finishing</i>

Sumber: Kalpakjian (1989, p. 333-334)

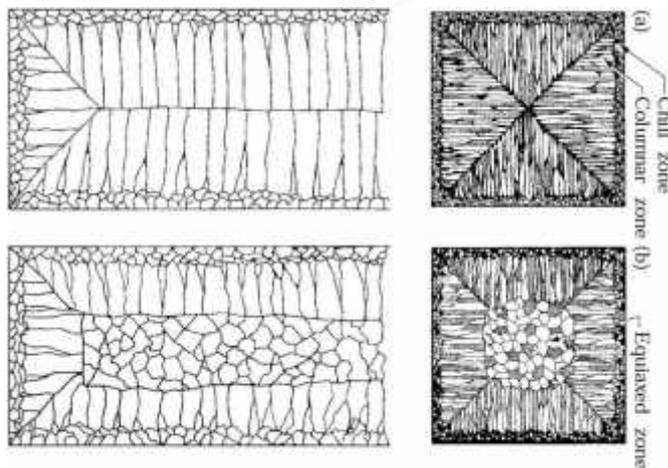
2.6 Solidifikasi

Solidifikasi merupakan proses pembekuan logam cair menjadi padat setelah dituang ke dalam rongga cetakan. Hasil dari proses ini mempengaruhi ukuran, bentuk, dan homogenitas dari butiran pada produk coran. Hal-hal lain yang mempengaruhi solidifikasi adalah jenis logam cair, properti termal dari logam cair dan logam cetakan, toleransi penyusutan, dan bentuk dari cetakan (Kalpakjian, 1991).

Pada logam paduan, solidifikasi terjadi ketika temperatur menurun di bawah garis *liquidus* dan berakhir ketika mencapai garis *solidus*. Proses pembekuan berawal dari logam cair yang bersinggungan langsung dengan cetakan baru ke logam cair yang berada di dalam. Pada mulanya, cetakan menyerap kalor yang dimiliki oleh logam cair yang bersinggungan langsung hingga mencapai titik bekunya. Kemudian, saat proses pembekuan tersebut berlangsung terbentuk pula inti-inti, yang kemudian membentuk kristal-kristal dan tumbuh mengarah ke arah dalam coran. Kristal-kristal tersebut lalu membentuk butir-butir yang berbentuk panjang dan disebut sebagai dendrit.



Gambar 2.4 Pembentukan butir
 Sumber: Beeley (2001, p.55)



Gambar 2.5 Proses pembentukan butir pada cetakan
 Sumber: Kalpakjian (1989, p.279)

2.7 Densitas

Densitas atau massa jenis (dilambangkan oleh ρ) merupakan suatu ukuran kepadatan material yang dinyatakan dengan perbandingan antara massa dan volume. Densitas termasuk sifat fisik dari suatu material, dimana setiap material memiliki nilai densitasnya masing-masing. Densitas dapat dihitung menggunakan rumus:

$$\rho = \frac{m}{v} \dots\dots\dots (2-3)$$

Keterangan :

- ρ = massa jenis (g/cm³)
- m = massa (g)
- v = volume (cm³)

Untuk menghitung nilai porositas dari suatu material dengan metode piknometri, kita menggunakan dua jenis densitas atau massa jenis, yaitu:

a. *Theoretical Density*

Theoretical density merupakan massa jenis dari suatu material tanpa memperhitungkan porositas yang ada di dalam material tersebut. Massa jenis ini dapat dihitung menggunakan rumus dari ASTM D 2734-94 seperti di bawah ini:

$$\rho_{th} = \frac{100}{\frac{\%Al}{\rho_{Al}} + \frac{\%Zn}{\rho_{Zn}} + \frac{\%Si}{\rho_{Si}} + etc} \dots\dots\dots (2-4)$$

Keterangan:

- ρ_{th} = *Theoretical Density* (g/cm³)
 $\rho_{Al}, \rho_{Zn}, \rho_{Si}, etc$ = Densitas Unsur (g/cm³)
 $\%Al, \%Zn, \%Si, etc$ = Presentase Berat Unsur (%)

b. *Apparent Density*

Apparent density adalah massa jenis dari suatu material dengan memperhitungan porositas yang terdapat di dalam material tersebut. Untuk menghitung massa jenis ini, dapat menggunakan rumus dari ASTM B 311-93 sebagai berikut:

$$\rho_s = \rho_w \frac{W_s}{W_s - W_{sb} - W_b} \dots\dots\dots (2-5)$$

Keterangan :

- ρ_s = *Apparent Density* (g/cm³)
 ρ_w = Densitas Air (g/cm³)
 W_s = Berat Hasil Coran di Udara (g)
 W_{sb} = Berat Hasil Coran dan Keranjang di dalam Air (g)
 W_b = Berat Keranjang di dalam Air (g)

2.8 Porositas

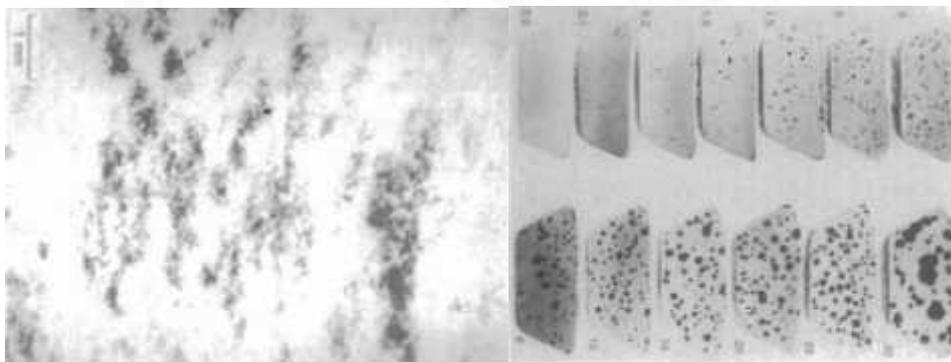
Porositas adalah salah satu cacat yang umum terjadi pada proses pengecoran. Keberadaan porositas dalam produk coran dapat merugikan maupun menguntungkan. Dikatakan merugikan karena adanya porositas dapat memicu adanya konsentrasi tegangan yang menyebabkan keretakan dan membuat kekuatan dari produk coran menurun. Namun, dapat dikatakan menguntungkan karena adanya porositas juga dapat menghambat menjalarnya keretakan ke seluruh permukaan coran dan berguna untuk *self lubricating* pada material. Porositas sendiri dapat dibagi menjadi dua jenis menurut penyebabnya, yaitu:

1. Porositas Penyusutan (*Micro Shrinkage*)

Porositas penyusutan memiliki nama lain *micro shrinkage*, *interdendritic porosity* atau *shrinkage porosity* adalah jenis porositas yang terjadi karena penyusutan volume yang terjadi di antara dua dendrit saat solidifikasi. Hal ini biasanya diakibatkan bentuk dari coran yang kompleks, celah udara pada *interface* cetakan logam, perencanaan saluran yang buruk, adanya inti, dan konveksi dalam logam cair (Ravi, 2003). Porositas penyusutan biasa terjadi di tempat-tempat tertentu, khususnya pada bagian yang terakhir membeku (*hot spot*) akibat dan bagian permukaan produk coran. Porositas yang ada berbentuk tidak beraturan, permukaannya kasar, serta membuat jejaring atau kelompok.

2. Porositas Gas (*Gas Porosity*)

Porositas gas atau *gas porosity* merupakan porositas yang terjadi akibat terperangkapnya udara berupa gas hidrogen di dalam produk coran. Hal ini diakibatkan gas hidrogen memiliki kelarutan gas yang sangat tinggi terhadap logam cair, dibandingkan dengan logam padat. Sehingga menyebabkan gas hidrogen terjebak di dalam logam cair saat peleburan maupun penuangan logam cair hingga mengalami solidifikasi. Porositas gas biasanya berbentuk *spherical*, permukaannya halus dan letaknya menyebar.



Gambar 2.6 (a) *Interdendritic porosity* (b) *Gas porosity*
 Sumber: Campbell (2003, p.229 & 197)

Mekanisme terbentuknya porositas pada umumnya disebabkan oleh perbedaan densitas dari logam cair dan logam padat, dimana nilai densitas logam padat lebih tinggi daripada densitas logam cair. Sebagai contoh, densitas aluminium cair adalah $2,37 \text{ g.cm}^{-3}$ dan aluminium padat adalah $2,55 \text{ g.cm}^{-3}$ (Suprpto, 2011). Pada saat solidifikasi, perbedaan densitas ini mengakibatkan terjadinya pembukaan *channel* yang membuat tekanan internal turun. Sehingga, terbentuklah pori-pori oleh nukleasi dalam cairan logam saat akhir dari

solidifikasi. Selanjutnya, proses tersebut memicu pertumbuhan pori-pori ke arah sisi dalam permukaan coran.

Cacat porositas dapat dikurangi dengan cara memperbaiki dan merancang *gating system* dengan baik, serta mengontrol hidrogen dari difusi *nucleation* dan *growth*. Selain itu, juga dapat dilakukan dengan mengontrol temperatur penuangan, peleburan, dan pemanasan cetakan serta tekanan dan kecepatan penuangan.

2.9 Perhitungan Porositas

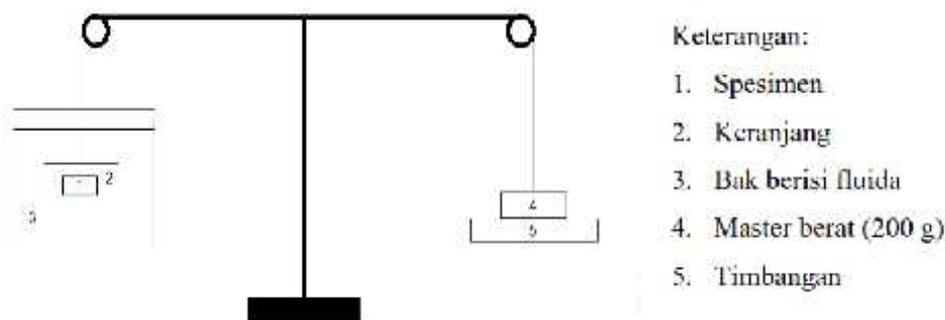
Untuk mengidentifikasi keberadaan porositas dari suatu produk coran, perlu dilakukan pengecekan dengan menggunakan metode kualitatif dan/atau kuantitatif. Metode kualitatif dapat dilakukan dengan mengamati makrostruktur maupun mikrostruktur dari produk coran, yang kemudian dianalisa. Sementara itu, untuk metode kuantitatif salah satunya dapat dilakukan dengan pengujian piknometri, yang prinsip kerjanya dengan cara membandingkan densitas dari produk coran di udara dengan densitas produk coran di dalam air.

Dalam melakukan pengujian porositas dengan metode piknometri, kita diharuskan untuk melakukan tiga macam pengukuran berat, yaitu:

W_s = Berat Hasil Coran di Udara (g)

W_{sb} = Berat Hasil Coran dan Keranjang di dalam Air (g)

W_b = Berat Keranjang di dalam Air (g)



Gambar 2.7 Instalasi pengujian piknometri

Sumber: Suprpto (2011, p.45)

Kemudian, nilai dari porositas didapatkan dengan membandingkan nilai *theoretical density* dan *apparent density* menggunakan rumus:

$$\%P = 1 - \frac{\rho_s}{\rho_{th}} \times 100\% \dots \dots \dots (2-6)$$

%P = Presentase Porositas (%)

ρ_s = Apparent Density (g/cm³)

ρ_{th} = Theoretical Density (g/cm³)

2.10 Pengujian Metalografi

Metalografi merupakan salah satu jenis pengujian material dengan cara mengamati dan mengobservasi informasi-informasi dalam suatu material seperti fasa, butir, komposisi kimia, orientasi butir, jarak dendrit, dislokasi, topografi, dan sebagainya. Metalografi dapat dilakukan melalui metode kuantitatif maupun kualitatif, dengan tujuan untuk mempelajari hubungan antara struktur dengan sifat atau karakter dan perlakuan yang pernah dialami oleh suatu material. Pengujian metalografi terbagi menjadi dua jenis, yaitu pengujian makrostruktur dan mikrostruktur. Perbedaan keduanya terletak pada pembesaran yang digunakan saat pengujian.

Terdapat 4 (empat) tahapan untuk melakukan pengujian mikrostruktur yang selanjutnya akan dibahas satu persatu, yaitu:

1. Persiapan spesimen dengan meratakan dan menghaluskan permukaan yang akan diuji
2. Melakukan pengontrasan fasa atau struktur yang terdapat pada spesimen
3. Observasi mikrostruktur
4. Mendeskripsikan dan menginterpretasikan hasil observasi

(ASM Handbook Vol. 9, 2004)

2.11 Tahapan Pengujian Mikrostruktur

- Tahap Persiapan

Dari deskripsi di atas, dapat dilihat bahwa tahap pertama dalam pengujian mikrostruktur adalah tahap persiapan spesimen. Tahap ini bertujuan untuk membuat permukaan benda uji menjadi halus dan mengkilap, untuk mempermudah dalam melihat butiran dan fasa yang terbentuk. Secara berurutan, berikut ini

1. *Specimen Cutting* (Pemotongan Spesimen)

Sebelum diamati oleh mikroskop, untuk mempermudah pengamatan, benda yang akan diuji harus dipotong menjadi spesimen terlebih dahulu. Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pemotongan spesimen, diantaranya:

- Bagian yang dipotong dan dijadikan spesimen adalah area yang dekat dengan cacat/kegagalan atau sesuai dengan kondisi yang ingin diamati.

- Memperhatikan sifat-sifat dari material seperti kekerasan, keuletan, ketangguhan, dan lain-lain untuk menentukan alat dan metode pemotongan yang digunakan.

2. *Mounting*

Proses *mounting* merupakan proses tambahan yang perlu dilakukan pada spesimen-spesimen uji yang berukuran sangat kecil, dengan tujuan agar mempermudah spesimen untuk di-*polish* dan diteliti pada mikroskop. Proses ini dilakukan dengan cara memasang spesimen dengan material tertentu seperti *thermoset plastic* sebagai resin. *Mounting* terbagi menjadi 2 (dua) jenis, yaitu *hot-mounting resins* dan *cold-mounting resins*.

3. *Specimen Smoothing / Grinding* (Penghalusan Spesimen)

Proses *specimen smoothing* ini bertujuan untuk meratakan permukaan yang akan diteliti dan menghilangkan kotoran, deformasi, cacat termal, serta goresan-goresan yang ditimbulkan akibat pemotongan. Proses ini dapat dilakukan dengan banyak alat seperti *belt sander* dengan bantuan cairan coolant, kertas amplas, dan *Centrifugal Sand Machine*.

4. *Polishing* (Pemolesan)

Selanjutnya, spesimen uji harus dipoles untuk menghilangkan deformasi material akibat proses sebelumnya dan untuk mendapatkan permukaan yang halus serta mengkilap seperti cermin. Pemolesan dapat dilakukan dengan menggunakan metode *mechanical*, *electrolytic*, maupun *chemical polishing*. Salah satu bahan yang paling sering digunakan untuk proses pemolesan adalah autosol dan kain lap.

5. *Etching* (Pengeetsaan)

Pengeetsaan merupakan proses penambahan cairan etsa yang bertujuan untuk memperjelas struktur dan karakteristik dari spesimen yang akan diuji. Untuk mencapai tujuan tersebut, perlu ditentukan cairan etsa yang cocok dengan masing-masing spesimen, dikarenakan setiap material memiliki jenis etsa nya masing-masing.

Tabel 2.2
Cairan Etsa untuk Pengujian Mikrostruktur

<i>Etching Reagent</i>	<i>Composition</i>		<i>Uses</i>	<i>Remarks</i>
<i>Nitric acid (natal)</i>	<i>White nitric acid</i>	<i>1-5 ml</i>	<i>In carbon steels: (1) to darken pearlite and give contrast between pearlite colonies, (2) to reveal ferrite boundaries, (3) to differentiate ferrite from martensite</i>	<i>Etching rate is increased, selectivity decreased, with increasing percentage of HNO₃, Etching time a few seconds to 1 min</i>
	<i>Ethyl or methyl alcohol (95% or absolute) (also amyl alcohol)</i>	<i>100 ml</i>		
<i>Ferric chloride and hydrochloric acid</i>	<i>Ferric chloride</i>	<i>5 g</i>	<i>Structure of austenitic nickel and stainless steels</i>	
	<i>Hydrochloric acid</i>	<i>50 ml</i>		
	<i>Water</i>	<i>100 ml</i>		
<i>Ammonium hydroxide and hydrogen peroxide</i>	<i>Ammonium hydroxide</i>	<i>5 parts</i>	<i>Generally used for copper and many of its alloys</i>	<i>Peroxide content varies directly with copper content of alloy to be etched immersion or swabbing for about 1 min. Fresh peroxide for good results Swab with soft cotton for 15 s</i>
	<i>Water</i>	<i>5 parts</i>		
	<i>Hydrogen peroxide</i>	<i>2-5 parts</i>		
<i>Hydrofluoric acid</i>	<i>Hydrofluoric acid (conc)</i>	<i>0.5 ml</i>	<i>General microscopic for aluminum and its alloys</i>	
	<i>H₂O</i>	<i>99.5 ml</i>		

Sumber: Avner (1974, p.22)

- Tahap Observasi

Setelah melakukan tahap persiapan, selanjutnya barulah dapat dilakukan tahap selanjutnya yaitu tahap observasi mikrostruktur menggunakan alat bantu mikroskop. Pada umumnya, terdapat 2 (dua) jenis mikroskop yang sering digunakan, yaitu mikroskop cahaya dan mikroskop electron. Perbedaan keduanya terletak pada pembesaran yang dapat diatur untuk mengamati mikrostruktur. Jika kita menggunakan mikroskop elektron, perbesaran yang dapat diatur adalah 20x sampai 1.000.000x. Sementara, untuk mikroskop cahaya adalah perbesaran dari 50x sampai 1000x (ASM Handbook Vol. 9, 2004).

- Tahap Analisa

Tahap observasi menggunakan mikroskop akan didapatkan hasil berupa foto dari mikrostruktur spesimen uji. Selanjutnya, informasi inilah yang dapat kita olah untuk mengetahui karakteristik dan sifat dari material yang kita uji. Analisa yang sering

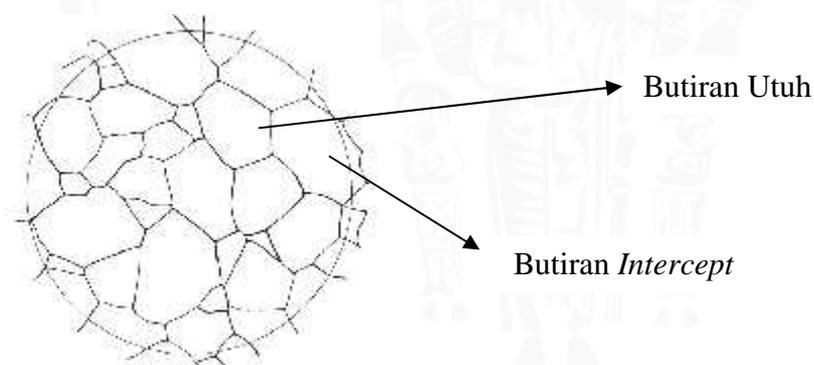
dilakukan diantaranya menghitung diameter atau ukuran butir, jarak dendrit, penyebaran fasa, dan sebagainya.

2.12 Perhitungan Ukuran Butir

Menghitung ukuran butir merupakan salah satu bentuk analisa dari mikrostruktur suatu material. Sifat dan karakteristik dari material, seperti kekuatan mekanik, keuletan, ketahanan ulur (*creep resistance*), superplastisitas, dan sifat mampu cor dipengaruhi oleh ukuran butir (Thorvaldsen, 1997).

Metode planimetri merupakan salah satu metode penghitungan butir dengan cara menghitung jumlah butir yang berada di dalam suatu lingkaran atau persegi panjang berukuran 5000 mm^2 yang diletakkan pada foto mikrostruktur atau *ground glass* dari alat uji metalografi. Metode ini dapat dilakukan apabila dalam area tersebut terdapat setidaknya 50 butiran untuk dapat dihitung. Nilai ukuran butir kemudian dapat dihitung dengan cara sebagai berikut:

1. Menghitung jumlah butiran yang terdapat di dalam area, 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 melalui tabel di bawah ini:

Tabel 2.3
Hubungan Antara Perbesaran dengan Faktor Pengali *Jeffries* untuk Area 5000 mm²

Magnification Used, <i>M</i>	<i>Jeffries' Multiplier, f, to Obtain Grains/mm²</i>
50	0.5
75	1.125
100	2.0
150	4.5
200	8.0

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

3. Menghitung jumlah butiran per satu satuan luas (N_A) menggunakan rumus:

$$N_A = f N_{inside} + \frac{N_{intercepted}}{2} \dots\dots\dots (2-7)$$

Dimana :

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

f = Faktor pengali *Jeffries*

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

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

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

$$G = (3,321928 \log_{10} N_A) - 2,954 \dots\dots\dots (2-8)$$

Dimana :

G = Nilai ukuran butir ASTM

5. Menghitung nilai diameter rata-rata butir (d) dengan menggunakan tabel *grain size relationship*.

Tabel 2.4
Grain Size Relationship

Grain Size No. <i>G</i>	N_A Grains/Unit Area		<i>A</i> Average Grain Area		<i>d</i> Average Diameter		Mean Intercept		N_L
	No./in. ² at 100X	No./mm ² at 1X	mm ²	μm ²	mm	μm	mm	μm	
4.0	8.00	124.00	0.00806	8065	0.0898	89.8	0.0800	80.0	12.50
4.5	11.31	175.36	0.00570	5703	0.0755	75.5	0.0673	67.3	14.87
5.0	16.00	248.00	0.00403	4032	0.0635	63.5	0.0566	56.6	17.68
5.5	22.63	350.73	0.00285	2851	0.0534	53.4	0.0476	47.6	21.02
6.0	32.00	496.00	0.00202	2016	0.0449	44.9	0.0400	40.0	25.00

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

2.13 Hipotesis

Berdasarkan tinjauan pustaka yang ada, semakin tinggi temperatur *preheating* dari cetakan permanen, membuat proses solidifikasi logam semakin lambat atau membutuhkan waktu yang lama. Hal tersebut menyebabkan aluminium memiliki cukup banyak waktu untuk terdistribusi ke seluruh cetakan secara merata, sehingga porositas yang dihasilkan semakin rendah. Lain halnya dengan analisis mikrostruktur, dimana ukuran butir akan semakin besar seiring dengan bertambahnya temperatur *preheating*.

