

BAB II DASAR TEORI

2.1. Aluminium

Aluminium memiliki sifat-sifat fisik seperti yang ditunjukkan pada tabel 1.1. Kekuatan mekanik pada aluminium dapat ditingkatkan dengan penambahan unsur paduan seperti Cu, Mg, Zn, Mn, dan Ni. Unsur Cu pada paduan Al akan meningkatkan sifat mekanik, yaitu kekerasan maupun kekuatan tariknya namun menurunkan kemampuan coranya. Paduan dengan silikon akan memperbaiki tingkat kecairan (*fluidity*) dan menurunkan cacat penyusutan (*Shrinkage*) yang berpengaruh baik terhadap sifat mampu cor (*castability*) dan mampu las (*weldability*).

Selain itu silikon akan meningkatkan sifat ketahanan korosi dan kekerasan paduan, tetapi kadar silikon yang tinggi akan mengakibatkan bahan menjadi rapuh. Aluminium adalah logam yang ringan dengan berat jenis 2.7 gram/cm^3 setelah Magnesium (1.7 gram/cm^3) dan Berilium (1.85 gram/cm^3) atau sekitar 1/3 dari berat jenis besi maupun tembaga. Konduktivitas listriknya 60% lebih dari tembaga sehingga juga digunakan untuk peralatan listrik. Selain itu juga memiliki sifat penghantar panas, memiliki sifat pantul sinar yang baik sehingga digunakan pula pada komponen mesin, alat penukar panas, cermin pantul, komponen industri kimia dan lain-lain.

Aluminium merupakan logam yang reaktif sehingga mudah teroksidasi dengan oksigen membentuk lapisan aluminium oksida, alumina (Al_2O_3) dan membuatnya tahan korosi yang baik. Namun bila kadar Fe, Cu dan Ni ditambahkan akan menurunkan sifat tahan korosi karena kadar alumina menurun. Penambahan Mg, Mn tidak mempengaruhi sifat tahan korosinya. Aluminium bersifat ulet, mudah dimesin dan dibentuk dengan kekuatan tarik untuk aluminium murni sekitar 4-5 kgf/mm². Bila diproses penguatan regangan seperti dirol dingin kekuatan bisa mencapai $\pm 15 \text{ kgf/mm}^2$. Adapun sifat-sifat penting yang dimiliki aluminium sehingga banyak digunakan sebagai material teknik:

- Berat jenisnya ringan (hanya $2,7 \text{ gr/cm}^3$, sedangkan besi $\pm 8,1 \text{ gr/cm}^3$)
- Tahan korosi
- Penghantar listrik dan panas yang baik
- Mudah di fabrikasi/di bentuk
- Kekuatannya rendah tetapi paduan (*alloying*) kekuatannya bisa ditingkatkan.

Tabel 2.1 Karakteristik Aluminium

Sifat-sifat	Aluminium Murni Tinggi
Struktur Kristal	FCC
Densitas pada 20°C (sat. 103kg/m ³)	2.698
Titik Cair °C	660.1
Koefisien mulur panas kawat 20° - 100°C (10-6/K)	23.9
Konduktivitas panas 20° - 400°C (W/(m K))	238

Tahanan listrik 20°C (10^{-8} KΩ m)	2.69
Sifat-sifat	Aluminium Murni Tinggi
Modulus elastisitas (GPa)	70.5
Modulus kekakuan (GPa)	26.0

Sumber: Irawan, 2013

2.2. Klasifikasi Pengecoran Aluminium

2.2.1. Aluminium Murni

Aluminium 99% tanpa tambahan logam paduan apapun dan dicetak dalam keadaan biasa, hanya memiliki kekuatan tensil sebesar 90 Mpa, terlalu lunak untuk penggunaan yang luas sehingga seringkali aluminium di padukan dengan logam lain.

2.2.2. Aluminium Paduan

Secara umum penambahan logam paduan hingga konsentrasi tertentu akan meningkatkan kekuatan tensil dan kekerasan, serta menurunkan titik lebur. Jika melebihi konsentrasi tersebut, umumnya titik lebur akan naik disertai meningkatnya kerapuhan akibat terbentuknya senyawa, Kristal atau granula dalam logam. Namun, kekuatan bahan paduan aluminium tidak hanya bergantung pada konsentrasi logam paduannya saja, tetapi juga proses perlakuannya hingga aluminium siap digunakan.

2.3. Standar dan Kodefikasi Aluminium

Pengkodean aluminium tempa berdasarkan *International Alloy Designation System* adalah sebagai berikut:

1. Seri 1xxx merupakan aluminium murni dengan kandungan minimum 99,00% aluminium berdasarkan beratnya.
2. Seri 2xxx adalah paduan dengan tembaga. Terdiri dari paduan bernomor 2010 hingga 2029.
3. Seri 3xxx adalah paduan dengan mangan. Terdiri dari paduan bernomor 3003 hingga 3009.
4. Seri 4xxx adalah paduan dengan silikon. Terdiri dari paduan bernomor 4030 hingga 4039
5. Seri 5xxx adalah paduan dengan magnesium. Terdiri dari paduan dengan nomor 5050 hingga 5086.
6. Seri 6xxx adalah paduan dengan silikon dan magnesium. Terdiri dari paduan dengan nomor 6061 hingga 6069
7. Seri 7xxx adalah paduan dengan seng. Terdiri dari paduan dengan nomor 7070 hingga 7079.
8. Seri 8xxx adalah paduan dengan lithium.

Perlu diperhatikan bahwa pengkodean aluminium untuk keperluan penempatan seperti di atas tidak berdasarkan pada komposisi paduannya, tetapi berdasarkan pada sistem pengkodean terdahulu yaitu sistem Alcoa yang menggunakan urutan 1 sampai 79 dengan akhiran S, sehingga dua digit di

belakang setiap kode pada pengkodean di atas diberi angka sesuai urutan Alcoa terdahulu. Pengecualian ada pada paduan magnesium dan lithium.

Pengkodean untuk aluminium cor berdasarkan *Aluminium Association* adalah sebagai berikut:

1. Seri 1xx.x adalah aluminium dengan kandungan minimal 99% aluminium.
2. Seri 2xx.x adalah paduan dengan tembaga.
3. Seri 3xx.x adalah paduan dengan silikon, tembaga dan atau magnesium.
4. Seri 4xx.x adalah paduan dengan silikon.
5. Seri 5xx.x adalah paduan dengan magnesium.
6. Seri 7xx.x adalah paduan dengan seng.
7. Seri 8xx.x adalah paduan dengan lithium.

Perlu diperhatikan bahwa pada digit kedua dan ketiga menunjukkan persentase aluminiumnya, sedangkan digit terakhir setelah titik adalah keterangan apakah aluminium dicor setelah dilakukan pelelehan pada produk aslinya atau dicor segera setelah aluminium cair dengan paduan tertentu. Ditulis hanya dengan dua angka, yaitu 1 atau 0.

2.4. Sifat fisik Aluminium

Tabel 2.2 Sifat Fisik Aluminium

Nama, Simbol, dan Nomor	Aluminium, Al, 13
Sifat Fisik	
Wujud	Padat
Massa jenis	2,70 gram/cm ³
Massa jenis pada wujud cair	2,375 gram/cm ³
Titik lebur	660,32°C
Titik didih	2792 K, 2519°C, 4566°F
Modulus Young	70 Gpa
Modulus geser	26 Gpa
Kekerasan skala Vickers	167 Mpa
Kekerasan skala Brinnel	245 Mpa

Sumber: Abdul Hafizh, 2009

Tabel 2.3 Pengkodean Aluminium

Series Number	Primary Alloying Element	Relative Corrosion Resistance
1 xxx	None	Excellent
2 xxx	Copper	Fair
3 xxx	Manganese	Good
4 xxx	Silicon	-
5 xxx	Magnesium	Good
6 xxx	Magnesium and Silicon	Good
7 xxx	Zinc	Fair

Sumber: Aluminium Structures, 2002

Sedangkan komposisi dari aluminium seri 1xxx adalah sebagai berikut:

Tabel 2.4 Komposisi Aluminium seri 1xxx

Alloy group	Nominal chemical composition ^(a) , wt%										
	Mg	Si	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Zr	Other
Wrought alloys											
1xxx (Al > 99,00%)	0.006–0.25	0.006–0.7	0.002–0.06	0.01–0.03	0.002–0.05	0.006–0.6	...	0.006–0.35	0.006–0.05
2xxx (Cu)	0.02–0.8	0.10–1.3	0.02–0.3	0.05–0.2	0.05–1.3	0.12–1.3	0.05–2.3	0.8–6.8	0.10–0.80	0.05–0.5	...
3xxx (Mn)	0.05–1.3	0.3–1.8	0.05–0.10	0.05–0.40	0.05–1.8	0.1–1.0	0.05–0.50	0.05–1.0	0.05–0.5	0.1–0.5	...
4xxx (Si)	0.05–2.0	0.8–13.5	0.04–0.30	0.05–0.25	0.03–1.5	0.20–1.0	0.15–1.3	0.05–1.5	0.05–0.25
5xxx (Mg)	0.2–5.6	0.08–0.7	0.05–0.20	0.05–0.35	0.03–1.4	0.10–0.7	0.03–0.05	0.03–0.35	0.05–2.8
6xxx (Mg + Si)	0.05–1.5	0.20–1.8	0.08–0.20	0.03–0.035	0.03–1.0	0.08–1.0	0.2–1.0	0.10–1.2	0.05–2.4	0.05–0.20	...

(ASM Metal Handbook Volume 9, 2004)

2.5 Eutectic Al-Cu

1. Eutectic Al-Cu

Daerah Eutectic Paduan Al-Cu disebut *Eutectic* yaitu apabila pada paduan tersebut terdapat kandungan Cu sekitar 32,7%. Pada komposisi ini paduan Al-Cu dapat membeku secara langsung (dari fasa cair ke fasa padat).

2. Hypereutectic Al-Cu

Daerah Hypereutectic Paduan Al-Si disebut *Hypereutectic* yaitu apabila pada paduan tersebut terdapat kandungan silikon lebih dari 32,7% sehingga kaya akan kandungan tembaga dengan fasa eutektik sebagai fasa tambahan.

3. Hypoeutectic Al-Cu

Daerah Hypoeutectic Paduan Al-Cu disebut *Hypoeutectic* yaitu apabila pada paduan tersebut terdapat kandungan Cu < 32,7% .

2.6 Pengaruh Unsur Paduan

Unsur paduan di dalam paduan aluminium memberikan sifat-sifat khusus dalam paduan aluminium tersebut, pengaruh-pengaruh unsur paduan yaitu:

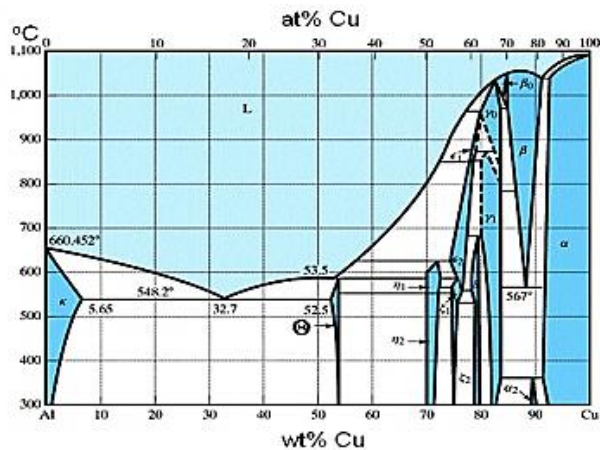
2.6.1. Tembaga (Cu)

Dicampur dengan aluminium, tembaga menambah kekuatan dan kekerasan, dan meningkatkan kemampuan permesinan sampai kira-kira 12%Cu. Diatas tingkat ini campuran dasar aluminium (Al-Cu) terlalu rapuh untuk keperluan teknik. Dibawah kondisi keseimbangan sampai 5,65%Cu dapat larut dalam aluminium pada suhu paduan (Al-Cu) binner (1019⁰F). Kelarutan padat ini turun sampai kurang dari 0,1% pada suhu ruang dan inilah berkurangnya pelarutan padat yang menerangkan endapan yang baik sekali paduan Al-Cu untuk perlakuan panas. Meningkatkan kadar Cu menghasilkan ketahanan rendah terhadap korosi.

Tembaga membentuk eutektik yang benar dengan aluminium pada kadar tembaga sebesar 33%. Paduan berbasis tembaga (Al-Cu) berisi 10-20% Al menunjukkan kekuatan pengecualian, untuk kekerasan dan pemakaian, menyesuaikan yang dari beberapa paduan baja.

2.7 Aluminium Paduan Tembaga

Paduan aluminium tembaga adalah yang mengandung tembaga 4,5% memiliki sifat-sifat mekanik dan mampu mesin yang baik sedangkan mampu cornya jelek. Paduan aluminium tembaga-silisium dibuat dengan menambahkan 4-5 % silisium pada paduan aluminium tembaga untuk memperbaiki sifat mampu cornya. Paduan ini dipakai untuk bagian-bagian motor, mobil, meteran dan rangkai utama dari katup.



Gambar 2.1 Fase Paduan Al-Cu

Sumber: http://www.tf.uni-kiel.de/matwis/amat/iss/kap_8/illustr/i8_2_1.html
(diakses 10 April 2017)

2.8 Proses Pengecoran

Pengecoran logam adalah suatu proses manufaktur yang menggunakan logam cair dan cetakan untuk menghasilkan bentuk yang mendekati bentuk geometri akhir produk jadi. Logam cair akan dituangkan atau ditekan ke dalam cetakan yang memiliki rongga cetak (*cavity*) sesuai dengan bentuk atau desain yang diinginkan. Setelah logam cair memenuhi rongga cetak dan tersolidifikasi, selanjutnya cetakan disingkirkan dan hasil cor dapat digunakan untuk proses sekunder.

2.8.1. Proses Pengecoran Aluminium (R.Widodo , 2009)

Pokok-pokok penting proses peleburan Al/Al paduan.

1. Pemanasan tidak lebih dari 770 °C. Diatas temperatur tersebut akan terjadi kontaminasi gas H₂ yang besar sehingga menjadi porositas pada produk cor.
2. Gunakan selalu bahan baku dan alat-alat yang bersih dan kering. Al-ingot dari dari pabrik Aluminium sekunder bersertifikat hasil analisa merupakan pilihan terbaik pada proses ini. Untuk penggunaan bahan daur ulang maupun skrap, perhatikan kebersihannya (pasir cetak, oli, air, sampah dll).
3. Krusibel harus bebas retak dan bersih dari dari sisa-sisa cairan maupun kotoran lainnya sebelum proses dimulai. Sisa cairan yang umumnya berupa oksida akan mengakibatkan terbentuknya inklusi-inklusi keras didalam produk serta menjadi tempat gas-gas menempel atau terjebak. Sedangkan retak rambut sekalipun tidak tertembus cairan namun akibat tekanan yang tinggi diruang bakar (terutama pada tanur berbahan bakar minyak) akan dapat dilalui oleh gas-gas sisa pembakaran (khususnya H₂) sehingga masuk kedalam cairan.
4. Bahan baku hanya dimuatkan kedalam krusibel yang telah panas. Demikian halnya peralatan, harus dipanaskan terlebih dahulu sebelum digunakan.
5. Perhatikan bahwa Aluminium paduan bebas Cu dilarang dilebur menggunakan krusibel bekas Aluminium berpaduan Cu. Pada umumnya Cu akan mengendap didasar dan atau tersisa pada dinding krusibel sehingga selalu akan menaikkan kandungan Cu pada bahan hasil proses peleburan selanjutnya. Untuk kasus seperti diatas, sebaiknya sebelum melakukan proses peleburan Al paduan non Cu, terlebih dahulu dilakukan proses peleburan antara dengan tujuan untuk membersihkan sisa-sisa dan endapan Cu dari dalam krusibel.
6. Kontrol temperatur setelah pencairan harus sangat diperhatikan serta serendah mungkin sehingga kontaminasi gas dapat ditekan. Holding temperatur dianjurkan hanya sedikit diatas suhu liquidusnya. Barulah menjelang proses penuangan, temperatur dinaikkan hingga temperatur tapping secepat mungkin.
7. Perbandingan ramuan antara ingot dengan bahan daur ulang yang baik adalah 40 : 60. Dengan catatan perbandingan dapat berbeda hanya dengan menambahkan persentase ingot. Perbandingan ramuan sebaiknya dipertahankan tetap, sebab perubahan yang sering dilakukan hanya akan menurunkan kualitas hasil peleburan.
8. Bila proses peleburan disertai dengan pembubuhan bahan aditiv (modifikasi, grain refining dll) perhatikan bahwa bahan-bahan tersebut harus kering (kelembaban maksimum 0.1%). Pengeringan dapat dilakukan dengan cara pemanasan awal baik didalam tungku

pemanas ataupun memanfaatkan udara panas buangan dari tanur krusibel. Perlu diketahui, bahwa pada umumnya bahan-bahan tersebut bersifat higroskopis. Pada penyimpanan dalam waktu lama serta akibat dari kelembaban udara biasanya memiliki kelembaban 0.5%-1%.

9. Permukaan cairan Aluminium selalu diselimuti oleh Al_2O_3 . Selimut ini penting bagi pencegahan kontaminasi gas lainnya sehingga harus selalu dijaga utuh. Bila selimut ini rusak, akan segera terbentuk selimut baru sebagai hasil reaksi antara cairan Al dengan udara. Hasil sampingan dari reaksi tersebut adalah gas H_2 yang masuk kedalam cairan. Disamping itu, mengingat berat jenis oksida aluminium mirip dengan Aluminium itu sendiri, maka pada saat rusak oksida ini dapat tenggelam dan menjadi inklusi.

2.9 Cetakan Logam

Cetakan Logam adalah sebuah media pembentuk logam di dalam proses pengecoran logam.

2.9.1. Jenis-Jenis Cetakan :

1. Cetakan Tidak Permanen (*Expendable Mold*)
Cetakan tidak permanen (*Expendable mold*) hanya dapat digunakan satu kali saja. Contoh : Cetakan pasir (*sand casting*), cetakan kulit (*shell mold casting*), dan cetakan presisi (*precision casting*).
2. Cetakan Permanen (*Permanent Mold*)
Cetakan permanen (*permanent mold*) dapat digunakan berulang-ulang (biasanya dibuat dari logam). *Permanent mold casting* adalah pembuatan logam dengan cetakan yang dipadukan dengan tekanan hidrostastik. Cara ini tidak praktis untuk pengecoran yang berukuran besar dan ketika menggunakan logam dengan titik didih tinggi. Logam bukan baja seperti aluminium, seng, timah, magnesium, perunggu bila dibuat dengan cara ini hasilnya baik.
Cetakan ini terdiri atas dua atau lebih bagian yang digabung dengan sekrup, klem, plat atau alat lain yang dapat dilepas setelah produk mengeras. Pada umumnya, *permanent molds* dibuat dari *close-grain* dan dijepit satu sama lain. Cetakan ini biasanya dilapisi dengan bahan perekat tahan panas (*heatresistingwet mixture*) dan jelaga yang akan menjaga cetakan agar tidak lengket dan mengurangi efek dingin pada logam.
Setelah cetakan disiapkan, kemudian ditutup dan seluruh bagian inti atau bagian yang bebas dikunci ditempat. Kedua biji besi dan biji baja dapat digunakan dalam cetakan jenis ini. Untuk mengantisipasi suhu logam dilakukan dengan menuangkan air

kedalam cetakan melalui pintu yang terbuka. Setelah hasil cetakan cukup dingin, bagian yang bebas ditarik dan cetakan dibuka dan hasil cetakan diangkat. Cetakan tersebut kemudian dibersihkan dan disusun kembali bagian-bagian cetakan, cetakan pun siap dituangi lagi (digunakan lagi).

Alat ini sebagian besar digunakan untuk mencetak piston dan bagian-bagian mesin kendaraan, mesin disel dan mesin kapal. Penerapan lainnya banyak ditemukan di industri yang membuat beberapa materi seperti gear pada mesin cuci, bagian-bagian pada *vacuum cleaner*, tutup kipas angin, bagian untuk alat-alat portable, perlengkapan lampu luar ruangan, dan lain-lain.

Permanent mold casting mempunyai hasil akhir permukaan yang bagus dan detail yang tajam. Diperoleh keseragaman hasil dengan berat 1 ons sampai 50 pound. Toleransinya berkisar dari 0,0025 inchi sampai 0,010 inchi.

Permanent mold casting termasuk otomatis, sehingga dapat diperoleh produk yang cukup banyak.

Contoh *Permanent Mold* :

- *Gravity permanent mold casting*
- *Pressure die casting*
- *Centrifugal die casting*

2.10 Struktur Mikro

Struktur mikro adalah gambaran dari kumpulan fasa-fasa yang dapat diamati melalui teknik metalografi. Struktur mikro suatu logam dapat dilihat dengan menggunakan mikroskop. Mikroskop yang dapat digunakan yaitu mikroskop optik dan mikroskop elektron. Sebelum dilihat dengan mikroskop, permukaan logam harus dibersihkan terlebih dahulu, kemudian reaksi dengan reagen kimia untuk mempermudah pengamatan. Proses ini dinamakan *etching*.

Untuk mengetahui sifat dari suatu logam, kita dapat melihat struktur mikronya. Setiap logam dengan jenis berbeda memiliki struktur mikro yang berbeda. Dengan melalui diagram fasa, kita dapat meramalkan struktur mikronya dan dapat mengetahui fasa yang akan diperoleh pada komposisi dan temperatur tertentu. Dan dari struktur mikro kita dapat melihat:

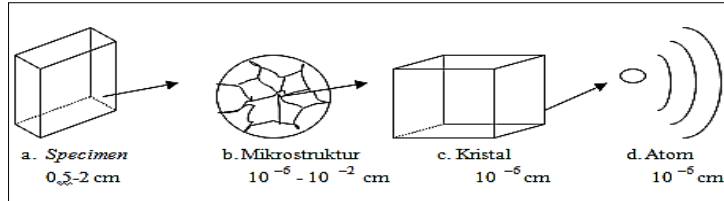
- a. Ukuran dan bentuk butir
- b. Distribusi fasa yang terdapat dalam material khususnya logam
- c. Pengotor yang terdapat dalam material

Dari struktur mikro kita juga dapat memprediksi sifat mekanik dari suatu material sesuai dengan yang kita inginkan.

2.10.1. Analisa Struktur Mikro/Uji Metalografi

Metalografi merupakan suatu metode untuk menyelidiki struktur logam dengan menggunakan mikroskop optik dan mikroskop

elektron. Sedangkan struktur yang terlihat pada mikroskop tersebut tersebut disebut mikrostruktur. Pengamatan tersebut dilakukan terhadap spesimen yang telah diproses sehingga bisa diamati dengan pembesaran tertentu. Gambar 2.2 berikut menjelaskan spesimen dengan pembesaran dan lingkup pengamatannya.



Gambar 2.2 Spesimen, ukuran dan bentuk objek pembesaran

Sumber: Dokumentasi

Dari Gambar di atas dapat diketahui bahwa penyelidikan mikrostruktur berkisar 10 cm (batas kemampuan elektron mikroskop hingga 10 cm batas kemampuan mata manusia). Biasanya objek pengamatan yang digunakan 10 cm atau pembesaran 5000-30000 kali untuk mikroskop elektron dan 10 cm atau order pembesaran 100-1000 kali mikroskop optik.

Agar permukaan logam dapat diamati secara metalografi, maka terlebih dahulu dilakukan persiapan sebagai berikut :

- Pematangan spesimen

Pada tahap ini, diharapkan spesimen dalam keadaan datar, sehingga memudahkan dalam pengamatan.

1. *Mounting* spesimen (bila diperlukan)

Tahap *mounting* ini, spesimen hanya dilakukan untuk material yang kecil atau tipis saja. Sedangkan untuk material yang tebal, tidak memerlukan proses *mounting*.

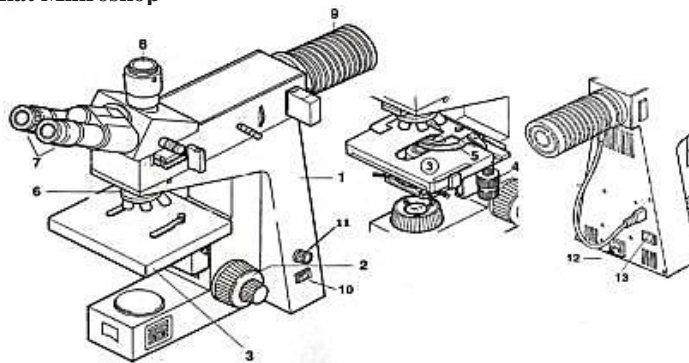
2. *Grinding* dan *polishing*

Tahap *grinding* dan *polishing* ini bertujuan untuk membentuk permukaan spesimen agar benar-benar rata. *Grinding* dilakukan dengan cara menggosok spesimen pada mesin *hand grinding* yang diberi kertas gosok dengan ukuran *grid* yang paling kasar (*grid* 320) sampai yang paling halus. Sedangkan *polishing* sendiri dilakukan dengan menggosokkan spesimen diatas mesin *polishing machine* yang dilengkapi dengan kain wool yang diberi serbuk alumina dengan kehalusan 1-0,05 mikron. Panambahan serbuk alumina ini bertujuan untuk lebih mengahluskan permukaan spesimen sehingga akan lebih mudah melakukan metalografi.

3. *Etsa (etching)*

Proses etsa ini pada dasarnya adalah proses korosi atau mengerosikan permukaan spesimen yang telah rata karena proses *grinding* dan *polishing* menjadi tidak rata lagi. Ketidakrataan permukaan spesimen ini dikarenakan mikrostruktur yang berbeda akan dilarutkan dengan kecepatan yang berbeda, sehingga meninggalkan bekas permukaan dengan orientasi sudut yang berbeda pula. Pada pelaksanaannya, proses etsa ini dilakukan dengan cara mencelupkan spesimen pada cairan etsa dimana tiap jenis logam mempunyai cairan etsa (*etching reagent*) sendiri-sendiri. Perhatikan gambar 4.2 yang menunjukkan pengaruh efek proses etsa permukaan spesimen yang telah mengalami proses *grinding* dan *polishing*.

2.10.2. Alat Mikroskop



Gambar 2.3 Alat mikroskop merk Axiolab
Sumber: Dokumentasi

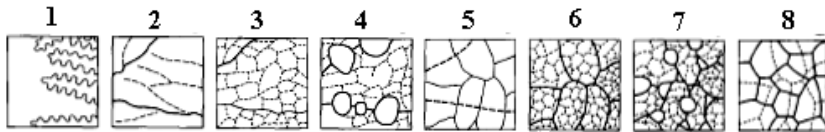
Keterangan:

1. Batang mikroskop	6. Lensa obyektif	11. Pengatur terang lampu
2. Pengatur fokus	7. Lensa binokuler	12. Tempat kabel AC
3. Meja sampel	8. Tempat kamera	13. Saklar pemindah arah nyala lampu
4. Penggeser meja sampel	9. Tempat lampu halogen	
5. Penjepit sampel	10. Saklar on-off	

2.11 Pembekuan Logam (Tata Surdia, 1980)

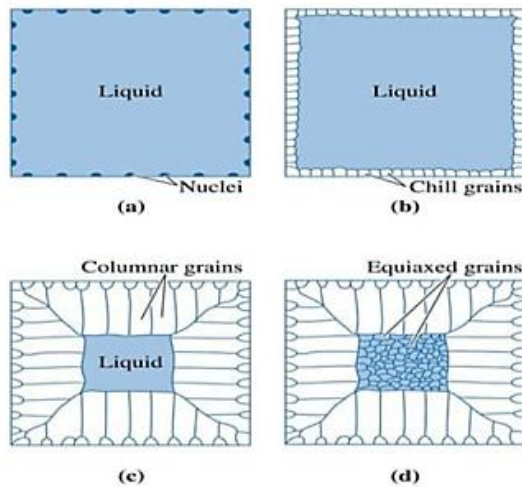
Proses logam cair dimulai dari bagian logam cair yang bersentuhan dengan dinding cetakan, yaitu ketika panas dari logam cair diambil oleh cetakan sehingga bagian logam yang bersentuhan dengan cetakan itu mendingin sampai

titik beku. Selama proses pembekuan berlangsung, inti-inti Kristal tumbuh. Bagian dalam coran mendingin lebih lambat daripada bagian luarnya sehingga Kristal-kristal tumbuh dari inti asal mengarah kebagian dalam coran dan buti-butir Kristal tersebut membentuk panjang-panjang seperti kolom. Struktur ini muncul dengan jelas apabila gradien temperatur yang besar terjadi pada permukaan coran besar. Akibat adanya perbedaan kecepatan pembekuan, terbentuklah arah pembekuan yang disebut dendritik. Proses pembekuan logam cair diilustrasikan sebagaimana pada gambar berikut:



Gambar 2.4 Proses pembekuan logam cair

Sumber: Dokumentasi



Gambar 2.5 Pembekuan logam coran dalam cetakan

Sumber: Dokumentasi

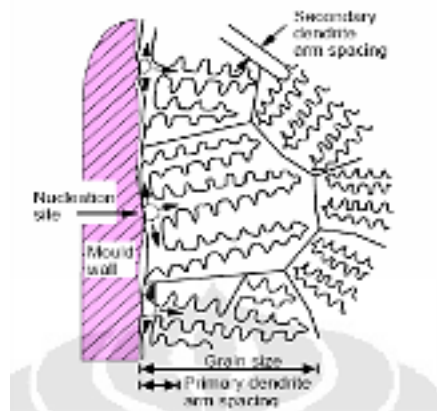
Permukaan logam hasil coran yang halus merupakan efek dari logam yang mempunyai daerah beku yang sempit, sedangkan permukaan logam hasil cor yang kasar merupakan efek dari logam yang mempunyai daerah beku yang lebar. Cetakan logam akan menghasilkan hasil coran dengan permukaan yang lebih halus dibandingkan dengan cetakan pasir. Aluminium murni membeku pada temperatur tetap, tetapi panas pembekuan yang dibebaskan pada waktu membeku begitu besar sehingga permukaan bagian dalam menjadi kasar apabila dicor pada

cetakan pasir, sedangkan pada baja karbon dengan kadar karbon rendah mempunyai daerah beku yang sempit.

2.11.1 Proses Pembentukan Dendrite (Lukfawan Trijati , 2008)

Ukuran butir selama proses pembekuan paduan aluminium tuang dipengaruhi oleh beberapa factor diantaranya yang paling berpengaruh adalah kecepatan pendinginan dengan catatan proses pengecoran tanpa penambahan penghalus butir dan *modifier* .

Di tiap butir terdapat kumpulan *dendrite* aluminium yang semuanya mula-mula berasal dari inti yang sama. *Dendrite* dalam inti yang sama tentunya memiliki arah orientasi kristalografi yang sama dan batas butir terbentuk jika ada kumpulan *dendrite* dengan orientasi kristalografi yang berbeda bertemu. *Dendrite arm spacing* (DAS) atau jarak lengan *dendrite* banyak terdapat fasa Si eutektik. Pada mikrostruktur paduan aluminium tuang umumnya memiliki 1-10 mm, nilai DAS bervariasi dari 10-150 μm dan Si eutektik memiliki panjang 2 mm atau dalam bentuk bulatan memiliki diameter kurang dari 1 μm .



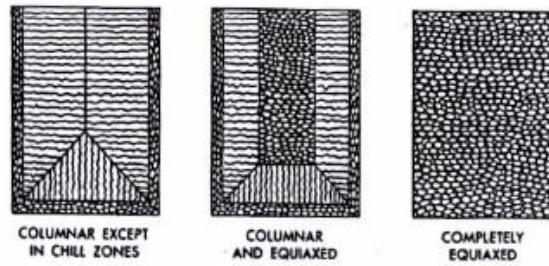
Gambar 2.6 Formasi pembentukan *dendrite*

Sumber: Dokumentasi

2.11.2 Proses Pembekuan Logam (Lukfawan Trijati , 2008)

Paduan Al seperti kebanyakan paduan logam ringan yang lain, secara normal akan memiliki struktur butir yang kasar, yaitu butir kristal *equiaxed* dan *columnar* selama proses pembekuan. Tingkat kekasaran atau Panjang dari kristal *columnar* tergantung dari temperature penuangan. Paduan yang memiliki kelarutan tinggi dalam aluminium (Cu, Mg, Zn) secara alami membentuk fasa padat yang

halus, yaitu butir dengan struktur *equiaxed* yang berukuran kecil, dibandingkan dengan paduan yang memiliki kelarutan kurang seperti Si. Jadi paduan aluminium Al-Cu ($A_{2xx.x}$) lebih mudah membentuk butir yang halus dari pada aluminium yang mengandung Si dalam jumlah yang banyak.



Gambar 2.7 Struktur butir pada aluminium tuang
Sumber: Dokumentasi