

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Aluminium

Aluminium pertama kali ditemukan oleh Sir Humphrey Davy pada tahun 1809 sebagai suatu unsur dan pertama kali direduksi sebagai logam oleh H. C. Oersted pada tahun 1825. Secara Industri tahun 1886, Paul Heroul di Prancis dan C. M. Hall di Amerika Serikat secara terpisah telah memperoleh logam aluminium dari alumina dengan cara elektrolisa dari garam yang terfusi. Penggunaan aluminium sebagai logam setiap tahunnya adalah pada urutan yang kedua setelah baja dan besi, yang tertinggi diantara logam *non ferro*. Aluminium tahan terhadap korosi karena fenomena pasivasi. Pasivasi adalah pembentukan lapisan pelindung akibat reaksi logam terhadap komponen udara sehingga lapisan tersebut melindungi lapisan dalam logam dari korosi.

Selama 50 tahun terakhir, Aluminium telah menjadi logam yang luas penggunaannya setelah baja. Perkembangan ini didasarkan pada sifat-sifatnya yang ringan, tahan korosi, kekuatan dan *ductility* yang cukup baik (Aluminium paduan), mudah diproduksi dan cukup ekonomis (Aluminium daur ulang). Yang paling terkenal adalah penggunaan Aluminium sebagai bahan pembuat komponen pesawat terbang, yang memanfaatkan sifat ringan dan kuatnya. Aluminium murni adalah logam yang lunak, tahan lama, ringan, dan dapat

ditempa dengan penampilan luar bervariasi antara keperakan hingga abu-abu, tergantung kekasaran permukaannya. Aluminium memiliki berat sekitar satu pertiga baja, mudah ditekuk, diperlakukan dengan mesin, dicor, ditarik (*drawing*), dan diekstrusi. Resistansi terhadap korosi terjadi akibat fenomena pasivasi, yaitu terbentuknya lapisan Aluminium Oksida ketika Aluminium terpapar dengan udara bebas. Lapisan Aluminium Oksida ini mencegah terjadinya oksidasi lebih jauh. Aluminium paduan dengan tembaga kurang tahan terhadap korosi akibat reaksi galvanik dengan paduan Tembaga.

Aluminium juga merupakan konduktor panas dan elektrik yang baik. Jika dibandingkan dengan massanya, Aluminium memiliki keunggulan dibandingkan dengan Tembaga, yang saat ini merupakan logam konduktor panas dan listrik yang cukup baik, namun cukup berat. Aluminium murni 100% tidak memiliki kandungan unsur apapun selain Aluminium itu sendiri, namun Aluminium murni yang dijual di pasaran tidak pernah mengandung 100% Aluminium, melainkan selalu ada pengotor yang terkandung di dalamnya. Pengotor yang mungkin berada di dalam Aluminium murni biasanya adalah gelembung gas di dalam yang masuk akibat proses peleburan dan pendinginan/pegecoran yang tidak sempurna, material cetakan akibat kualitas cetakan yang tidak baik, atau pengotor lainnya akibat kualitas bahan baku yang tidak baik (misalnya pada proses daur ulang Aluminium). Umumnya Aluminium murni yang dijual di pasaran adalah Aluminium murni 99%, misalnya Aluminium Foil. Pada Aluminium paduan, kandungan unsur yang berada di dalamnya dapat bervariasi tergantung jenis paduannya. Pada paduan 7075, yang merupakan bahan baku pembuatan pesawat terbang, memiliki

kandungan sebesar 5,5% Zn, 2,5% Mg, 1,5% Cu, dan 0,3% Cr. Aluminium 2014, yang umum digunakan dalam penempaan, memiliki kandungan 4,5% Cu, 0,8% Si, 0,8% Mn, dan 1,5% Mg. Aluminium 5086 yang umum digunakan sebagai bahan pembuat badan kapal pesiar, memiliki kandungan 4,5% Mg, 0,7% Mn, 0,4% Si, 0,25% Cr, 0,25% Zn, dan 0,1% Cu. Metoda pengolahan logam Aluminium adalah dengan cara mengelektrolisis Alumina yang terlarut dalam Cryolite. Metoda ini ditemukan oleh *Hall* di AS pada tahun 1886 dan pada saat yang bersamaan oleh *Heroult* di Perancis. *Cryolite*, bijih alami yang ditemukan di *Greenland* sekarang ini tidak lagi digunakan untuk memproduksi Aluminium secara komersil. Penggantinya adalah cariran buatan yang merupakan campuran Natrium, Aluminium dan Kalsium Fluorida. Aluminium murni, logam putih keperak-perakan memiliki karakteristik yang diinginkan pada logam. Unsur ini ringan, tidak magnetik dan tidak mudah terpercik, merupakan logam kedua termudah dalam soal pembentukan, dan keenam dalam soal *ductility*. Aluminium banyak digunakan sebagai peralatan dapur, bahan konstruksi bangunan dan ribuan aplikasi lainnya. (Surdia, T. dan Shinroku, 1992)

B. Unsur-unsur paduan aluminium

Aluminium murni mempunyai kemurnian hingga 99,96% dan minimal 99%. Zat pengotornya berupa unsur Fe dan Si. Aluminium paduan memiliki berbagai kandungan atom-atom atau unsur-unsur utama (mayor) dan minor. Unsur mayor seperti Mg, Mn, Zn, Cu, dan Si sedangkan unsur minor seperti Cr, Ca,

Pb, Ag, Fe, Sn, Zr, Ti, Sn, dan lain-lain. Unsur- unsur paduan yang utama dalam Aluminium antara lain:

1. Silikon (Si) Dengan atau tanpa paduan lainnya silikon mempunyai ketahanan terhadap korosi. Bila bersama aluminium ia akan mempunyai kekuatan yang tinggi setelah perlakuan panas, tetapi silikon mempunyai kualitas pengerjaan mesin yang jelek, selain itu juga mempunyai ketahanan koefisien panas yang rendah. Silikon (Si), menyebabkan paduan aluminium tersebut bisa diperlakukan panas untuk menaikkan kekerasannya.
2. Tembaga (Cu) Dengan unsur tembaga pada aluminium akan meningkatkan kekerasannya dan kekuatannya karena tembaga bisa memperhalus struktur butir dan akan mempunyai kualitas pengerjaan mesin yang baik, mampu tempa, keuletan yang baik dan mudah dibentuk.
3. Magnesium (Mg) Dengan unsur magnesium pada aluminium akan mempunyai ketahanan korosi yang baik dan kualitas pengerjaan mesin yang baik, mampu las serta kekuatannya cukup.
4. Nikel (Ni) Dengan unsur nikel aluminium dapat bekerja pada temperature tinggi, misalnya piston dan *silinder head* untuk motor.
5. Mangan (Mn) Dengan unsur mangan aluminium sangat mudah dibentuk, tahan korosi baik, sifat dan mampu lasnya baik.
6. Seng (Zn) Umumnya seng ditambahkan bersama-sama dengan unsur tembaga dalam prosentase kecil. Dengan penambahan ini akan meningkatkan sifat-sifat mekanik pada perlakuan panas, juga kemampuan mesin. Zink atau Seng (Zn), menaikkan nilai tensile.

7. *Ferro* (Fe) Penambahan *ferro* dimaksud untuk mengurangi penyusutan, tapi penambahan *ferro* (Fe) yang besar akan menyebabkan struktur perubahan butir yang kasar, namun hal ini dapat diperbaiki dengan Mg atau Cr.
8. Titanium (Ti) Penambahan titanium pada aluminium dimaksud untuk mendapat struktur butir yang halus. Biasanya penambahan bersama-sama dengan Cr dalam prosentase 0,1%, titanium juga dapat meningkatkan mampu mesin.
9. Bismuth Digunakan untuk meningkatkan sifat mampu mesin dari aluminium.

C. Mekanisme penguatan aluminium

Pada umumnya tingkat kekuatan logam ditentukan oleh kemampuan atomatom dalam kristal mengalami pergeseran (dislokasi) ketika diberikan beban secara plastis. Semakin besar energi yang dibutuhkan untuk melakukan pergeseran atom-atom, berarti semakin kuat logam tersebut. Terbentuknya dislokasi tidak hanya ditentukan oleh kerapatan atom-atom, akan tetapi ditentukan juga oleh faktor rintangan (*barrier*) yang terjadi dalam kristal. Semakin besar rintangan, maka semakin besar energi yang dibutuhkan untuk menggerakkan dislokasi, yang berarti semakin kuat logam tersebut.

Penguatan aluminium bisa dilakukan dengan proses pemuatan dengan elemen-elemen lain (*solid solution hardening*), penguatan dari batas kristal (*grain boundary hardening*), penguatan karena efek pengerjaan dingin (*cold work*),

dan penguatan dengan pembentukan partikel halus dalam kristal (*precipitation hardening*).

1. Penguatan Aluminium Karena Pemaduan (*Solid Solution Hardening*)

Logam aluminium murni mempunyai kekuatan yang rendah, untuk menambah kekuatan maka perlu ditambahkan elemen-elemen padu kedalam logam aluminium tersebut agar kekuatannya dapat ditingkatkan. Elemen-elemen padu tersebut dapat menambah efek rintangan terhadap pergeseran atom-atom dalam kristal. Apabila atom terlarut (*solute*) kira-kira sama besarnya dengan atom pelarut (*solvent*) yang dalam hal ini aluminium maka atom terlarut akan menduduki tempat kisi (*lattice point*) dalam kisi kristal atom aluminium. Hal ini disebut larutan padat substitusi (*substitutional solid solution*). Akan tetapi apabila atom terlarut jauh lebih kecil dari atom pelarut, maka atom terlarut menduduki posisi sisipan (*interstitial solid solution*) dalam kisi pelarut. Hasil penambahan unsur terlarut pada umumnya adalah meningkatkan tegangan luluh, karena atom terlarut memberikan tahanan yang lebih besar terhadap gerakan dislokasi dari pada terhadap penguncian statis.

2. Penguatan Aluminium Akibat Batas Kristal (*Grain Boundary Hardening*)

Batas kristal atau batas butir dari struktur logam merupakan daerah pertemuan antara kristal, sehingga pada daerah tersebut susunan atom-atomnya menjadi tidak teratur. Akibatnya atom-atom pada batas kristal mempunyai mobilitas atau tingkat energi yang lebih tinggi dibandingkan dengan atom-atom didalam kristalnya. Karena itu apabila terjadi deformasi

plastis maka dislokasi pada umumnya terjadi dari batas kristal dan kemudian bergerak didalam dan berhenti pada batas kristal berikutnya. Hal ini berarti disamping sebagai tempat awal terjadinya dislokasi, batas kristal juga berlaku sebagai penghalang dislokasi. Jadi untuk logam yang mempunyai kristal tunggal, tidak memberikan halangan yang berarti terhadap pergerakan dislokasi, sehingga kekuatannya rendah. Karena itu agar aluminium mempunyai kekuatan yang lebih besar maka perlu dilakukan penambahan elemen-elemen lain yang memungkinkan terbentuknya kristal majemuk. Pada logam dengan kristal yang besar, jumlah batas kristal (batas butir) tidak sebanyak jika dibandingkan logam dengan kristal yang kecil (butirannya halus), yang berarti semakin banyak batas kristal (kristal nya semakin halus) maka semakin besar tingkat rintangan yang terjadi terhadap gerakan dislokasi, yang berarti semakin kuat logam tersebut. (Murtadho, Ali. 2010)

3. Penguatan Aluminium Karena Efek Pengerjaan Dingin (*Strain Hardening*)

Untuk meningkatkan kekuatan lembaran aluminium, setelah proses pengerolan panas (*hot rolling*) lalu dilanjutkan dengan proses pengerolan dingin (*cold rolling*). Hasil pengerolan panas belum memberikan kekuatan yang tinggi terhadap pelat, tetapi setelah dilakukan pengerolan dingin maka lembaran/pelat tersebut akan mengalami peningkatan kekuatan. Efek pengerolan dingin ini sering disebut sebagai efek *strain hardening* atau efek pengerasan akibat regangan. Mekanisme penguatan ini terjadi karena peningkatan kerapatan dislokasi dalam kristal logam dimana dislokasi yang

telah terbentuk tersebut dapat berfungsi sebagai penghalang terhadap gerakan dislokasi pada deformasi berikutnya. Pada pengerjaan dingin kondisi energi intern logam lebih tinggi dibandingkan dengan logam yang tidak terdeformasi. Walaupun struktur sel dislokasi hasil pengerjaan dingin stabil secara mekanis, namun secara termodinamis struktur sel ini tidak stabil. Oleh karena itu, dengan meningkatnya temperatur, maka keadaan pengerjaan dingin menjadi semakin tidak stabil. Akibatnya logam menjadi lunak dan kembali ke kondisi bebas regangan.

4. Penguatan Aluminium Dengan Pembentukan Partikel Halus Dalam Kristal (*Precipitation Hardening*)

Dengan pengaturan komposisi kimia dan proses pengerjaan/perlakuan panas, paduan logam dapat memberikan struktur yang mengandung partikel-partikel halus didalam kristal. Pembentukan partikel halus tersebut dapat dicapai melalui pengubahan tingkat kelarutan dari suatu unsur atau senyawa dari suatu paduan atau menambahkan partikel-partikel yang keras seperti oksida atau karbida kedalam logam. Cara ini menghasilkan *precipitation hardening* atau *age hardening* dan *dispersion hardening*. Pengerasan presipitasi atau endapan (*precipitation hardening*) dihasilkan dengan perlakuan pelarutan dan pencelupan suatu paduan. Agar terjadi pengerasan endapan, fasa kedua harus dapat dilarutkan pada temperatur tinggi, tetapi harus memperlihatkan kemampuan larut yang berkurang dengan turunnya temperatur. Sebaliknya, fasa kedua dalam sistem pengerasan dispersi memiliki kemampuan larut yang sangat kecil di dalam matriksnya.

5. Deformasi plastis menyeluruh (*Severe Plastic Deformation*)

Deformasi plastis menyeluruh adalah salah satu proses untuk memperoleh struktur kristal yang sangat halus dalam logam, yang memiliki struktur kristalografi yang berbeda. Proses deformasi plastis menyeluruh dapat didefinisikan sebagai proses-proses yang menyebabkan regangan plastis yang sangat tinggi di logam untuk menghasilkan penghalusan butir. (Purwanto, Helmy. 2007)

D. Sifat-Sifat Aluminium

Sifat teknik bahan aluminium murni dan aluminium paduan dipengaruhi oleh konsentrasi bahan dan perlakuan yang diberikan terhadap bahan tersebut. Aluminium terkenal sebagai bahan yang tahan terhadap korosi. Hal ini disebabkan oleh fenomena pasivasi, yaitu proses pembentukan lapisan aluminium oksida di permukaan logam aluminium segera setelah logamterpapar oleh udara bebas. Lapisan aluminium oksida ini mencegah terjadinya oksidasi lebih jauh. Namun, pasivasi dapat terjadi lebih lambat jika dipadukan dengan logam yang bersifat lebih katodik, karena dapat mencegah oksidasi aluminium.

E. Sifat Fisik Aluminium

Alumunium memiliki beberapa sifat fisik. Hal ini berpengaruh kepada keunggulan alumunium untuk dapat dipakai pada berbagai kegunaan.Sifat fisik dari aluminium dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1 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 | 933,47 K, 660,32 °C, 1220,58 °F |
| Titik didih | 2792 K, 2519 °C, 4566 °F |
| Kalor jenis (25 °C) | 24,2 J/mol K |
| Resistansi listrik (20 °C) | 28.2 nΩ m |
| Konduktivitas termal (300 K) | 237 W/m K |
| Pemuaian termal (25 °C) | 23.1 μm/m K |
| Modulus Young | 70 Gpa |
| Modulus geser | 26 Gpa |
| Poisson ratio | 0,35 |
| Kekerasan skala Mohs | 2,75 |
| Kekerasan skala Vickers | 167 Mpa |
| Kekerasan skala Brinell | 245 Mpa |

Sumber : (<http://id.wikipedia.org/wiki/aluminium>)

F. Sifat Mekanik Aluminium

Adapun sifat-sifat mekanik dari aluminium adalah sebagai berikut:

1. Kekuatan tensile

Kekuatan tensile adalah besar tegangan yang didapatkan ketika dilakukan pengujian tensile. Kekuatan tensil ditunjukkan oleh nilai tertinggi dari tegangan pada kurva tegangan-regangan hasil pengujian, dan biasanya terjadi ketika terjadinya necking. Kekuatan tensile bukanlah ukuran kekuatan yang sebenarnya dapat terjadi di lapangan, namun dapat dijadikan sebagai suatu acuan terhadap kekuatan bahan. Kekuatan tensile pada aluminium murni pada berbagai perlakuan umumnya sangat rendah, yaitu sekitar 90 MPa, sehingga untuk penggunaan yang memerlukan kekuatan tensil yang tinggi, aluminium perlu dipadukan. Dengan dipadukan dengan logam lain, ditambah dengan berbagai perlakuan termal.

2. Kekerasan

Kekerasan gabungan dari berbagai sifat yang terdapat dalam suatu bahan yang mencegah terjadinya suatu deformasi terhadap bahan tersebut ketika diaplikasikan suatu gaya. Kekerasan suatu bahan dipengaruhi oleh elastisitas, plastisitas, viskoelastisitas, kekuatan tensil, *ductility*, dan sebagainya. Kekerasan dapat diuji dan diukur dengan berbagai metode. Yang paling umum adalah metode Brinell, Vickers, Mohs, dan Rockwell. Kekerasan bahan aluminium murni sangatlah kecil, yaitu sekitar 65 skala Brinell, sehingga dengan sedikit gaya saja dapat mengubah bentuk logam. Untuk kebutuhan aplikasi yang membutuhkan kekerasan, aluminium perlu dipadukan dengan logam lain dan/atau diberi perlakuan termal atau fisik. Aluminium dengan 4,4% Cu dan diperlakukan *quenching*, lalu disimpan pada temperatur tinggi dapat memiliki tingkat kekerasan Brinell sebesar 135.

3. *Ductility*

Ductility didefinisikan sebagai sifat mekanis dari suatu bahan untuk menerangkan seberapa jauh bahan dapat diubah bentuknya secara plastis tanpa terjadinya retakan. Dalam suatu pengujian tensil, *ductility* ditunjukkan dengan bentuk *neckingnya*; material dengan *ductility* yang tinggi akan mengalami *necking* yang sangat sempit, sedangkan bahan yang memiliki *ductility* rendah, hampir tidak mengalami *necking*. Sedangkan dalam hasil pengujian tensil, *ductility* diukur dengan skala yang disebut elongasi. Elongasi adalah seberapa besar pertambahan panjang suatu bahan ketika dilakukan uji kekuatan tensil. Elongasi ditulis dalam persentase

pertambahan panjang per panjang awal bahan yang diujikan. Aluminium murni memiliki *ductility* yang tinggi. Aluminium paduan memiliki *ductility* yang bervariasi, tergantung konsentrasinya, namun pada umumnya memiliki *ductility* yang lebih rendah dari pada aluminium murni, karena *ductility* berbanding terbalik dengan kekuatan tensil, serta hampir semua aluminium paduan memiliki kekuatan tensil yang lebih tinggi dari pada aluminium murni.

4. Modulus Elastisitas

Aluminium memiliki modulus elastisitas yang lebih rendah bila dibandingkan dengan baja maupun besi, tetapi dari sisi *strength to weight ratio*, aluminium lebih baik. Aluminium yang elastis memiliki titik lebur yang lebih rendah dan kepadatan. Dalam kondisi yang dicairkan dapat diproses dalam berbagai cara. Hal ini yang memungkinkan produk-produk dari aluminium yang akan dibentuk pada dasarnya dekat dengan akhir dari desain produk.

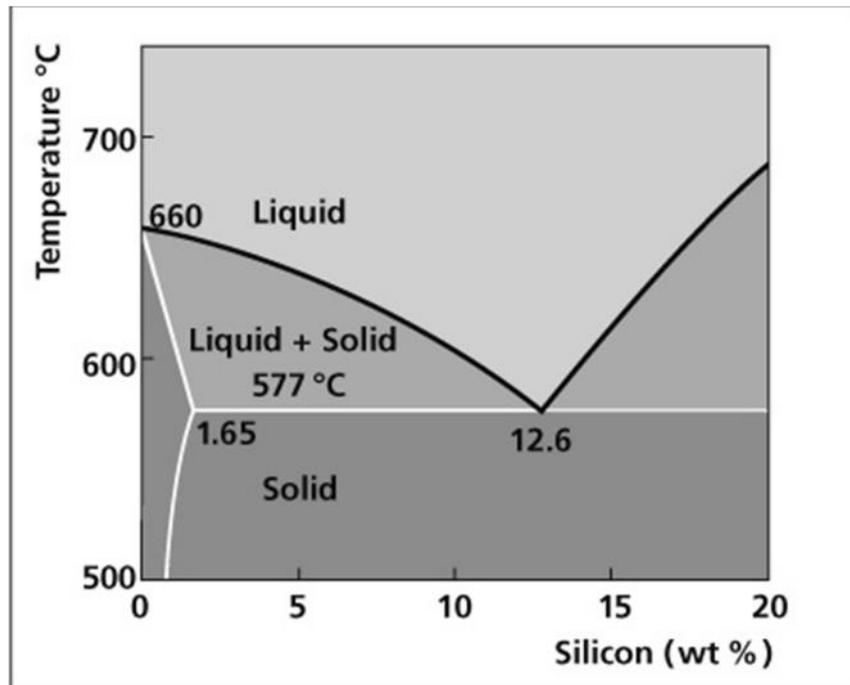
5. *Recyclability* (daya untuk didaur ulang)

Aluminium adalah 100% bahan yang didaur ulang tanpa downgrading dari kualitas. Yang kembali dari aluminium, peleburannya memerlukan sedikit energy, hanya sekitar 5% dari energy yang diperlukan untuk memproduksi logam utama yang pada awalnya diperlukan dalam proses daur ulang.

6. *Reflectivity* (daya pemantulan)

Aluminium adalah reflektor yang terlihat cahaya serta panas, dan yang bersama-sama dengan berat rendah, membuatnya ideal untuk bahan reflektor misalnya perabotan ringan. (Japan International Standard. 1970)

G. Diagram fasa



Gambar 1. Diagram Fasa Al-Si

Gambar di atas, memperlihatkan diagram fasa dari sistem Al-Si. Tampak fasa yang ada untuk semua paduan Al-Si pada rentang suhu 300°C-1500°C, gambar sebelah kiri, dan pada rentang 400°C-1400°C gambar sebelah kanan untuk berbagai macam variasi komposisi. Pada diagram fase di atas, (struktur kristal fcc) dan (struktur kristal bcc) digunakan untuk menunjukkan dua fasa yang berbeda masing-masing digunakan untuk menunjukkan fasa Al dan Si. Dari diagram fasa di atas kita dapat menganalisa, bahwa suatu paduan senyawa yang terdiri dari kira-kira 98% Al dan 2%Si dipanaskan secara perlahan dari suhu ruang hingga 1500°C. Maka fasa yang terjadi selama proses pemanasan berlangsung adalah:

Suhu ruang hingga 550°C = +

550°C hingga 600°C =

600°C hingga 660°C = + liquid

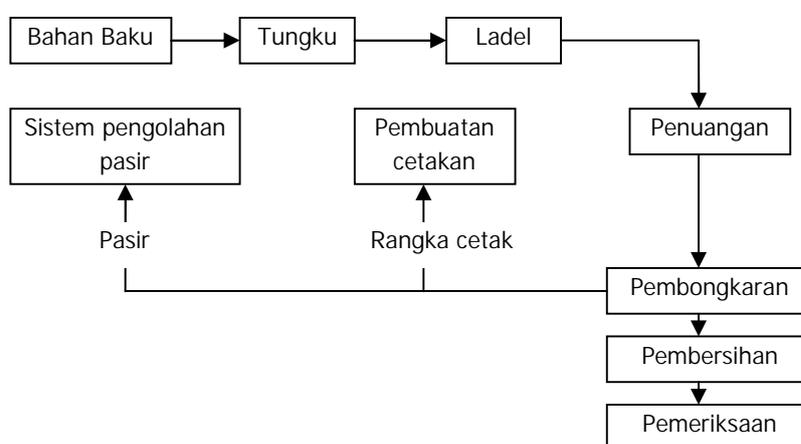
660°C hingga 1500°C = cairan

Kristal tunggal terbentuk hanya pada fase liquid. Jadi dari analisa di atas, dapat disimpulkan bahwa kristal tunggal terbentuk dengan mengkombinasikan Al dan Si masing-masing sebesar 98% dan 2%, kemudian dipanaskan pada rentang suhu kira-kira antara suhu kamar sampai 700°C, hingga terbentuk fasa liquid. Setelah itu, untuk memisahkan komponen kristal tunggal (kemungkinan terbesar, didapatkan kristal tunggal Al dengan perbandingan 98:2) dapat dilakukan proses sintesis.

Polikristal merupakan material yang memiliki banyak kristal dengan batas butir (grain boundary) yang menyertainya serta memiliki orientasi yang acak. Dari analisa diagram fase di atas, dapat diketahui bahwa untuk membentuk polikristal dari campuran Al dan Si, dapat diperoleh melalui paduan komposisi Al dan Si masing-masing 98% dan 2% dengan suhu sintering pada rentang kira-kira pemanasan dari suhu ruang sampai suhu 550°C. Sehingga pada kondisi ini akan didapatkan akan dua fase secara bersamaan yaitu fase dan . Polikristal terorientasi adalah polikristal yang memiliki spin (domain) searah. Hal ini dapat diperoleh, dengan memberikan *magnetic field* pada material polikristal. Hingga pada akhirnya akan didapatkan polikristal yang memiliki spin (domain searah). Arah spin pada material polikristal dapat dilihat melalui AFM (*Atomic Force Microscope*). Polikristal terorientasi, dapat kita temukan pada fasa (+L) atau (+L), jadi jika kita mengkombinasikan komponen Al:Si 98%:2% maka dapat kita sintering dari rentang suhu antara suhu kamar sampai kira-kira pada suhu 660°C.

H. Proses pengecoran aluminium

Pengecoran logam adalah proses pembuatan benda dengan mencairkan logam dan menuangkan ke dalam rongga cetakan. Proses ini dapat digunakan untuk membuat benda-benda dengan bentuk rumit. Benda berlubang yang sangat besar yang sangat sulit atau sangat mahal jika dibuat dengan metode lain, dapat diproduksi massal secara ekonomis menggunakan teknik pengecoran yang tepat. Pengecoran logam dapat dilakukan untuk bermacam-macam logam seperti, besi, baja paduan tembaga (perunggu, kuningan, perunggu aluminium dan lain sebagainya), paduan ringan (paduan aluminium, paduan magnesium, dan sebagainya), serta paduan lain, semisal paduan seng, monel (paduan nikel dengan sedikit tembaga), hasteloy (paduan yang mengandung molibdenum, khrom, dan silikon), dan sebagainya.



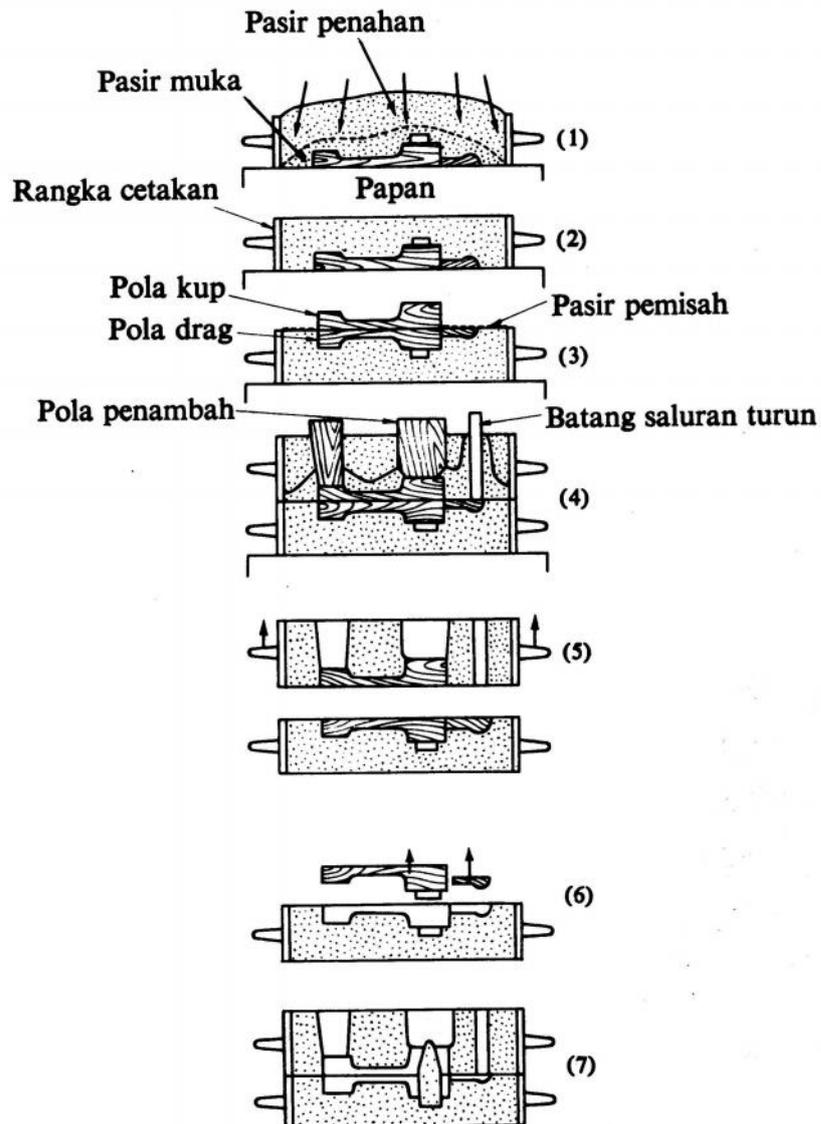
Gambar 2. Diagram alir pengecoran

Diagram di atas menjelaskan tentang proses-proses pengecoran seperti: pencairan logam, membuat cetakan, menuang, membongkar, membersihkan dan memeriksa coran. Pencairan logam dapat dilakukan dengan bermacam-macam cara, misal dengan tanur induksi, kupola, atau lainnya. Cetakan

biasanya dibuat dengan memadatkan pasir yang diperoleh dari alam atau pasir buatan yang mengandung tanah lempung. Cetakan pasir mudah dibuat dan tidak mahal asal dipakai pasir yang sesuai. Cetakan dapat juga terbuat dari logam, biasanya besi dan digunakan untuk mengecor logam-logam yang titik leburnya di bawah titik lebur besi.

Pada pengecoran logam, dibutuhkan pola yang merupakan tiruan dari benda yang hendak dibuat dengan pengecoran. Pola dapat terbuat dari logam, kayu, stereofom, lilin, dan sebagainya. Pola mempunyai ukuran sedikit lebih besar dari ukuran benda yang akan dibuat dengan maksud untuk mengantisipasi penyusutan selama pendinginan dan pengerjaan finishing setelah pengecoran. Selain itu, pada pola juga dibuat kemiringan pada sisinya supaya memudahkan pengangkatan pola dari pasir cetak.

Cetakan adalah rongga atau ruang di dalam pasir cetak yang akan diisi dengan logam cair. Pembuatan cetakan dari pasir cetak dilakukan pada sebuah rangka cetak. Cetakan terdiri dari kup dan drag. Kup adalah cetakan yang terletak di atas dan drag adalah cetakan yang terletak di bawah. Hal yang perlu diperhatikan pada kup dan drag adalah penentuan permukaan pisah yang tepat.



Gambar 3. Proses pembuatan cetakan

Rangka cetak yang dapat terbuat dari kayu ataupun logam adalah tempat untuk memadatkan pasir cetak yang sebelumnya telah diletakkan pola di dalamnya. Pada proses pengecoran dibutuhkan dua buah rangka cetak yaitu rangka cetak untuk kup dan rangka cetak untuk drag. Proses pembuatan cetakan dari pasir dengan tangan dapat dilihat pada gambar 3.

I. Proses Termomekanikal

Proses termomekanikal pertama kali dikemukakan oleh *Lips dan Van Zulein* pada tahun 1954. Mereka menghasilkan sumbangan besar dalam prospek meningkatkan sifat mekanis material dengan macam-macam kombinasi antara perlakuan panas dan mekanik. Untuk beberapa alasan, proses ini tidak diadopsi secara luas di bidang industri pada masa itu, tetapi sekarang proses ini menjadi sebuah pilihan untuk meningkatkan kekuatan suatu material. Adapun proses termomekanikal adalah suatu proses dimana terdapat dua perlakuan pada suatu material. Proses pertama adalah proses termal, dimana material dipanaskan yang dapat membuat material tersebut menjadi lebih keras ataupun lebih lunak. Proses kedua adalah proses mekanik, dimana proses ini merupakan pemberian suatu penempaan, pengerolan atau pemotongan. Secara umum proses termomekanikal pada baja merupakan proses deformasi yang sangat panas pada kondisi austenik yang kemudian dilanjutkan dengan pendinginan yang terkontrol. Proses termomekanikal ini merupakan salah satu cara untuk mengurangi ukuran butir dan menambah jumlahnya. Dengan ukuran butir yang kecil dan banyak akan mempengaruhi kekerasan. Kekerasan aluminium akan meningkat akibat diameter butir kecil dan banyak tersebut. Butir yang kecil dan banyak akan menghambat pergerakan dislokasi, sehingga dengan terhambatnya dislokasi maka material akan sulit untuk terdeformasi. (Neff, D.V.,2002.)

J. Pengujian Kekerasan (*Hardness Test*)

Pengujian kekerasan Brinell merupakan pengujian standar skala industri, tetapi karena penekannya terbuat dari bola baja yang berukuran besar dan beban besar maka bahan yang sangat lunak atau sangat keras tidak dapat diukur kekerasannya. Di dalam aplikasi manufaktur, material diuji untuk dua pertimbangan, sebagai riset karakteristik suatu material baru dan juga sebagai suatu analisa mutu untuk memastikan bahwa contoh material tersebut menghasilkan spesifikasi kualitas tertentu. Pengujian yang paling banyak dipakai adalah dengan menekan alat penekan tertentu kepada benda uji dengan beban tertentu dan dengan mengukur ukuran bekas penekanan yang terbentuk di atasnya, cara ini dinamakan cara kekerasan dengan penekanan (*brinell*). Kekerasan suatu material harus diketahui khususnya untuk material yang dalam penggunaannya akan mengalami gesekan (*Frictional force*), dalam hal ini bidang keilmuan yang berperan penting mempelajarinya adalah Ilmu Bahan Teknik (*Engineering Materials*). Kekerasan didefinisikan sebagai kemampuan suatu material untuk menahan beban indentasi atau penetrasi (penekanan). Didunia teknik, umumnya pengujian kekerasan menggunakan 4 macam metode pengujian kekerasan, yakni :

1. *Brinell* (HB/BHN)
2. *Rockwell* (HR/RHN)
3. *Vickers* (HV/VHN)
4. *Micro Hardness* (Namun jarang sekali dipakai-red)

Pemilihan masing-masing skala (metode pengujian) tergantung pada :

1. Permukaan material
2. Jenis dan dimensi material
3. Jenis data yang diinginkan
4. Ketersediaan alat uji



Gambar 4. Alat uji kekerasan material logam

1. Metode *Brinell*

Pengujian kekerasan dengan metode *Brinell* bertujuan untuk menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap bola baja (*identor*) yang ditekankan pada permukaan material uji tersebut (*speciment*). Idealnya, pengujian *Brinell* diperuntukan bagi material yang memiliki kekerasan *Brinell* sampai 400 HB, jika lebih dari nilai tersebut maka disarankan menggunakan metode pengujian *Rockwell* ataupun *Vickers*. Angka Kekerasan *Brinell* (HB) didefinisikan sebagai hasil bagi (Koefisien) dari beban uji (F) dalam *Newton* yang dikalikan dengan angka

faktor 0,102 dan luas permukaan bekas luka tekan (injakan) bola baja (A) dalam milimeter persegi. Rumus perhitungan *Brinell Hardness Number* (BHN)

$$\text{BHN} = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1)$$

Dimana: P = beban penekan (Kg)

D = diameter bola penekan (mm)

d = diameter lekukan (mm)

2. Metode *Vickers*

Pengujian kekerasan dengan metode *Vickers* bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap intan berbentuk piramida dengan sudut puncak 136 Derajat yang ditekan pada permukaan material uji tersebut. Angka kekerasan *Vickers* (HV) didefinisikan sebagai hasil bagi (koefisien) dari beban uji (F) dalam *Newton* yang dikalikan dengan angka faktor 0,102 dan luas permukaan bekas luka tekan (injakan) bola baja (A) dalam milimeter persegi.

3. Metode *Rockwell*

Rockwell Hardness Test adalah pengukuran kekerasan berdasarkan kenaikan bersih kedalaman kesan sebagai beban diterapkan. Kekerasan tidak memiliki nomor unit. Semakin tinggi jumlah di setiap skala berarti bahan lebih keras.

Skala yang umum dipakai dalam pengujian Rockwell adalah :

1. HRa (Untuk material yang lunak).

2. HRb (Untuk material yang kekerasan sedang).
3. HRc (Untuk material yang sangat keras).

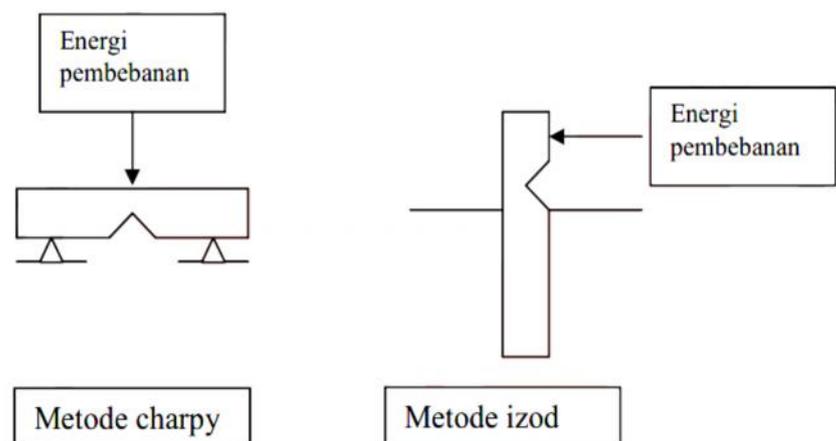
4. Metode *Micro Hardness*

Pada pengujian ini identornya menggunakan intan kasar yang di bentuk menjadi piramida. Bentuk lekukan intan tersebut adalah perbandingan diagonal panjang dan pendek dengan skala 7:1. Pengujian ini untuk menguji suatu material adalah dengan menggunakan beban statis. Bentuk identor yang khusus berupa knoop memberikan kemungkinan membuat kekuatan yang lebih rapat di dibandingkan dengan lekukan Vickers. Hal ini sangat berguna khususnya bila mengukur kekerasan lapisan tipis atau mengukur kekerasan bahan getas dimana kecenderungan menjadi patah sebanding dengan volume bahan yang ditegangkan. (Harsono, Kharis Sonny.2006)

K. Pengujian Ketangguhan Impak (*impact toughness*)

Menurut Dieter, George E (1988) uji impak digunakan dalam menentukan kecenderungan material untuk rapuh atau ulet berdasarkan sifat ketangguhannya. Uji ini akan mendeteksi perbedaan yang tidak diperoleh dari pengujian tegangan regangan. Hasil uji impak juga tidak dapat membaca secara langsung kondisi perpatahan batang uji, sebab tidak dapat mengukur komponen gaya-gaya tegangan tiga dimensi yang terjadi pada batang uji. Hasil yang diperoleh dari pengujian impak ini, juga tidak ada persetujuan secara umum mengenai interpretasi atau pemanfaatannya. Sejumlah uji impak batang uji bertakik dengan berbagai desain telah dilakukan dalam

menentukan perpatahan rapuh pada logam. Metode yang telah menjadi standar untuk uji impak ini ada 2, yaitu uji impak metode Charpy dan metode Izod. Metode Charpy banyak digunakan di Amerika Serikat, sedangkan metode Izod lebih sering digunakan di sebagian besar dataran Eropa. Batang uji metode Charpy memiliki spesifikasi, luas penampang 10 mm x 10 mm, takik berbentuk V. Proses pembebanan uji impak pada metode Charpy dan metode Izod dengan sudut 45°, kedalaman takik 2 mm dengan radius pusat 0.25 mm. Batang uji Charpy kemudian diletakkan horizontal pada batang penumpu dan diberi beban secara tiba-tiba di belakang sisi takik oleh pendulum berat berayun pada ujung batang. Dua metode ini juga memiliki perbedaan (kecepatan pembebanan ± 5 m/s). Batang uji Izod, lebih banyak dipergunakan saat ini, memiliki luas penampang berbeda dan takik berbentuk v yang lebih dekat pada ujung batang. Dua metode ini juga memiliki perbedaan pada proses pembebanan. (Dieter, George E., 1988). Metode pembebanan impak ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5. Metode pembebanan impak

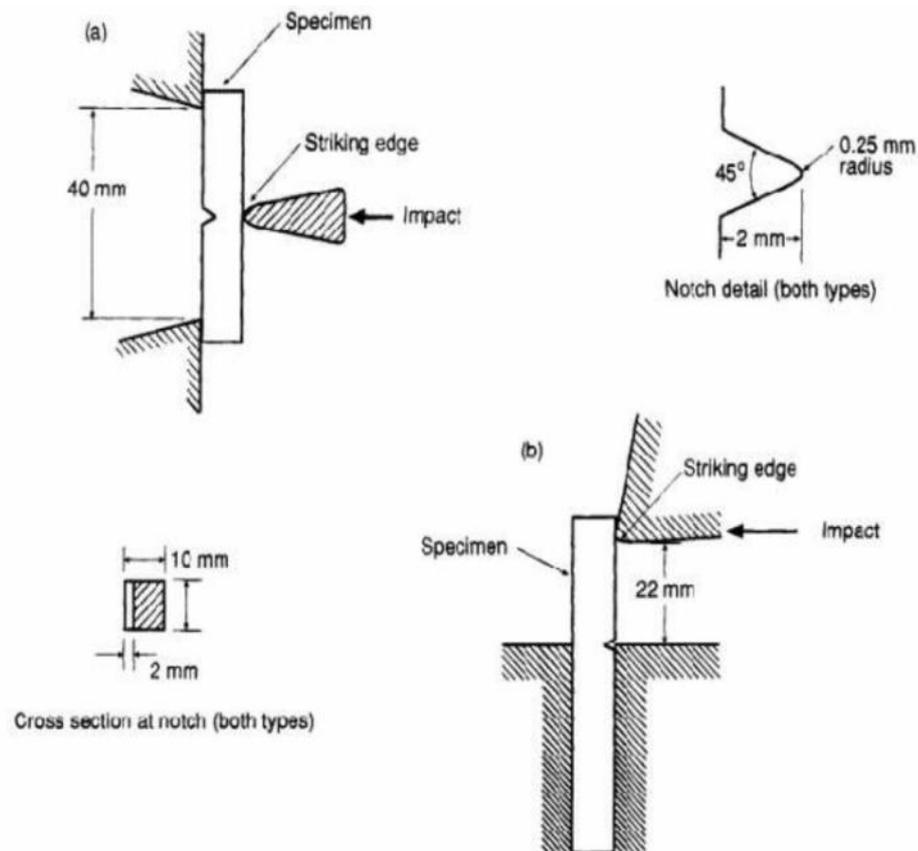
Dari gambar diatas kita dapat membedakan dua metode dalam pengujian impak, dimana perbedaannya berada pada peletakan spesimen serta ukuran dan ASTM yang digunakan. Pengujian impak Charpy (juga dikenal sebagai tes Charpy *v-notch*) merupakan standar pengujian laju regangan tinggi yang menentukan jumlah energi yang diserap oleh bahan selama terjadi patahan. Energi yang diserap adalah ukuran ketangguhan bahan tertentu dan bertindak sebagai alat untuk belajar bergantung pada suhu transisi ulet getas. Metode ini banyak digunakan pada industri dengan keselamatan yang kritis, karena mudah untuk dipersiapkan dan dilakukan. Tes ini dikembangkan pada 1905 oleh ilmuwan Perancis Georges Charpy. Pengujian ini penting dilakukan dalam memahami masalah patahan kapal selama Perang Dunia II. Metode pengujian material ini sekarang digunakan di banyak industri untuk menguji material yang digunakan dalam pembangunan kapal, jembatan, dan untuk menentukan bagaimana keadaan alam (badai, gempa bumi, dan lainnya) akan mempengaruhi bahan yang digunakan dalam berbagai macam aplikasi industri. Tujuan uji impact charpy adalah untuk mengetahui kegetasan atau keuletan suatu bahan (spesimen) yang akan diuji dengan cara pembebanan secara tiba-tiba terhadap benda yang akan diuji secara statik. Dimana benda uji dibuat takikan terlebih dahulu sesuai dengan standar ASTM E23 05 dan hasil pengujian pada benda uji tersebut akan terjadi perubahan bentuk seperti bengkokan atau patahan sesuai dengan keuletan atau kegetasan terhadap benda uji tersebut. Percobaan uji impact charpy dilakukan dengan cara pembebanan secara tiba-tiba terhadap benda uji yang akan diuji secara statik, dimana pada benda uji dibuat takikan terlebih dahulu sesuai dengan ukuran standar ASTM E23 05.

Mesin uji bentur (impact) yang digunakan untuk mengetahui harga impak suatu bahan yang diakibatkan oleh gaya kejut pada bahan uji tersebut. Tipe dan bentuk konstruksi mesin uji bentur beraneka ragam mulai dari jenis konvensional sampai dengan sistem digital yang lebih maju. Dalam pembebanan statis dapat juga terjadi laju deformasi yang tinggi kalau bahan diberi takikan, maka tajam takikan makin besar deformasi yang terkonsentrasikan pada takikan, yang memungkinkan meningkatkan laju regangan beberapa kali lipat. Patah getas menjadi permasalahan penting pada baja dan besi. Pengujian impact charpy banyak dipergunakan untuk menentukan kualitas bahan. Benda uji takikan berbentuk V yang mempunyai keadaan takikan 2 mm banyak dipakai. Permukaan benda uji pada impact charpy dikerjakan halus pada semua permukaan. Mesin uji impak ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 6. Mesin uji impak

Takikan dibuat dengan mesin freis atau alat notch khusus takik. Semua dikerjakan menurut standar yang ditetapkan. Pada pengujian adalah suatu bahan uji yang ditakikan, dipukul oleh pendulum (bandul) yang mengayun. Dengan pengujian ini dapat diketahui sifat kegetasan suatu bahan. Berikut ini merupakan salah satu mesin uji impact. Cara ini dapat dilakukan dengan cara charpy. Pada pengujian kegetasan bahan dengan cara impact charpy, pendulum diarahkan pada bagian belakang takik dari batang uji. Sedangkan pada pengujian impact cara izod adalah pukulan pukulan pendulum diarahkan pada jarak 22 mm dari penjepit dan takikannya menghadap pendulum. Standar ASTM untuk pengujian impact ditunjukkan pada gambar 7.



Gambar 7. Standar ASTM untuk pengujian impact

Perbedaan Charpy dengan Izod adalah peletakan spesimen. Pengujian dengan menggunakan Charpy lebih akurat karena pada Izod, pemegang spesimen juga turut menyerap energi, sehingga energi yang terukur bukanlah energi yang mampu di serap material seutuhnya. (Surdia, Tata dan Kenji Chijiiwa. 2000.)