

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Terashima dan Yano (2009) dalam penelitiannya menjelaskan tentang system kontrol pengawasan untuk proses penuangan otomatis logam cair yang mereplikasi keterampilan ahli penuang. Hasil yang disampaikan bahwa dapat meningkatkan produktivitas pengecoran, keselamatan pekerja, dan kualitas produk. Dengan menggunakan sistem penuangan kontrol *feed forward* adaptif, *Sprue Cup* mampu menahan cairan didalamnya pada tingkat yang konstan. Sistem kontrol ini cukup bergerak miring dengan menggunakan model kontrol prediktif secara *real time* untuk mencapai kuantitas dituangkan yang akurat sesuai dengan kuantitas yang diinginkan.

Paranjape dan P .D. Chaubal (2010) memberikan penjelasan tentang manfaat sistem penuangan secara otomatis. Pada proses pengecoran dengan sistem penuangan otomatis, dapat mengatur logam cair saat produksi massal, dapat mencegah meluber dan tumpahnya logam cair pada cetakan, Penuangan kedalam cetakan dapat berjalan dengan stabil. Jika menggunakan sistem penuangan manual banyak kekurangan yang dihasilkan antara lain, logam cair tidak mengisi dengan sempurna pada cetakan, penuangan yang terjadi bisa terlalu cepat yang menyebabkan terjadinya turbulensi yang mengakibatkan terjadinya cacat hasil coran. Sehingga dapat disimpulkan bahwa manfaat sistem penuangan secara otomatis dapat meningkatkan produksi, kualitas pengecoran yang lebih tinggi, meningkatkan keamanan, mengurangi biaya tenaga kerja dan cepat.

Siswanto (2011) dalam penelitiannya bertujuan untuk mengetahui pengaruh temperatur cair dan waktu peleburan pada stuktur mikro pada hasil coran Al-21% Mg. Metode pengecoran yang digunakan dengan menuangkan logam cair dalam cetakan cetakan pada temperatur pendinginan. Paduan Al-Mg dalam tungku dengan variasi suhu 650 °C, 700 °C dan 750 °C dengan waktu peleburan 10 dan 15 menit dan dituang dalam cetakan logam pada suhu 200 °C. Langkah selanjutnya pendinginan dalam cetakan. Setelah itu produk pengecoran dibuat spesimen untuk pengujian struktur mikro. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Semakin tinggi temperatur peleburan akan meningkatkan kehalusan struktur butir α - Al dan fasa eutektoid β - Al₃Mg₂. Semakin

lama waktu peleburan akan menurunkan kehalusan struktur butir α - Al dan fasa eutectoid β - Al_3Mg_2 .

Siswanto (2014) dalam penelitiannya didapat pengaruh temperatur dan waktu peleburan terhadap komposisi Al dan Mg dalam paduan. Metode pengecoran yang digunakan adalah pengecoran tuang dimana suatu logam cair dituang ke dalam cetakan tanpa adanya tekanan, selanjutnya dibiarkan membeku dalam cetakan dengan pendinginan temperatur ruang. Tungku untuk peleburan menggunakan tungku jenis krusibel dan cetakan dari logam. Material untuk pengecoran digunakan paduan aluminium magnesium (Al-17%Mg) sekrup. Paduan Al-Mg dilebur dalam tungku pada variasi temperatur 650 °C, 700 °C dan 750 °C dengan waktu peleburan 5, 10 dan 15 menit, kemudian dituang dalam cetakan logam (temperatur 200 °C), dan selanjutnya dibiarkan membeku dan dingin dalam cetakan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur peleburan komposisi Al dalam paduan cenderung semakin meningkat, sedangkan komposisi Mg semakin menurun. Semakin lama waktu peleburan komposisi Al dalam paduan cenderung semakin meningkat, sedangkan komposisi Mg semakin menurun. Temperatur dan waktu peleburan optimum adalah 650 °C waktu 5-10 menit, 700 °C waktu 5 menit.

Chen (2014) menyatakan dalam penelitiannya tentang perubahan mikrostruktur dan sifat mekanik magnesium paduan pada *squeeze casting* didapat bahwa pada suhu 580°C untuk proses *remelting* dengan variasi *melt holding* 5, 10, 20, dan 40 menit pada proses peleburan konvensional maupun dengan *squeeze casting*, pada awal holding (5 menit), cairan itu tersebar dan terdapat butiran padat yang belum mencair. Hal ini dapat dikaitkan dengan keterbatasan fraksi cair dan temperature lingkungan yang belum seragam. Dengan waktu *holding* yang semakin meningkat dari 10 sampai 20 menit, struktur padat secara bertahap menjadi individu butir padat poligonal. Sementara itu, jumlah cairan juga meningkat, dan butiran menjadi kecil. Namun, ketika waktu penahanan diperpanjang sampai 40 menit, tidak terdapat cairan yang terperangkap dalam butiran namun butiran menjadi kasar. Jadi, semakin lama waktu *holding* maka akan menurunkan tingkat kehalusan struktur mikro,

2.2 Aluminium

Aluminium merupakan logam *non ferous* ringan mempunyai ketahanan korosi yang baik dan hantaran listrik yang baik. Aluminium paling banyak terdapat di kerak

bumi, dan unsur ketiga terbanyak setelah oksigen dan silikon. Aluminium memiliki titik cair 660°C dengan densitas 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. Konduktifitas 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 dll. Dalam sektor perindustrian, aluminium dikembangkan dengan begitu pesat. Dan dapat diolah menjadi berbagai macam produk dengan lebih ekonomis.

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.

Aluminium bersifat 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 aluminanya menurun. Penambahan Mg, Mn tidak mempengaruhi sifat tahan korosinya. Aluminium dengan paduannya banyak digunakan karena memiliki *strength-to-weight* yang tinggi, serta ketahanan korosi yang lebih baik dibandingkan dengan baja maupun material lainnya. Aluminium (Al) tergolong logam ringan dan mempunyai daya hantar listrik/panas yang cukup baik. Logam aluminium mempunyai struktur kristal FCC. Logam ini tahan terhadap korosi pada media yang berubah-ubah dan juga mempunyai duktilitas yang tinggi.

Semua sifat-sifat dasar aluminium, tentu saja, dipengaruhi oleh efek dari berbagai elemen aluminium paduan. Unsur-unsur paduan utama dalam pengecoran aluminium paduan dasar adalah tembaga, silikon, magnesium, seng, kromium, mangan, timah dan titanium. Aluminium dasar paduan mungkin secara umum akan ditandai

sebagai sistem eutektik, mengandung bahan intermetalik atau unsur-unsur sebagai fase berlebih.

Aluminium telah menjadi salah satu logam industri yang paling luas penggunaannya di dunia. Aluminium banyak digunakan di dalam semua sektor utama industri seperti transportasi, konstruksi, listrik, peti kemas dan kemasan, alat rumah tangga serta peralatan mekanis. Adapun sifat-sifat umum aluminium antara lain sebagai berikut:

1. Tahan terhadap korosi karena mudah teroksidasi dengan oksigen membentuk lapisan aluminium oksida, alumina (Al_2O_3)
2. Kekuatan Tarik rendah yaitu 90 MPa.
3. Konduktor listrik dan panas.
4. Non magnetik.
5. Tidak beracun.
6. Memiliki ketangguhan yang baik.
7. Dapat diproses ulang (*recycling*)
8. Berat jenis rendah.

Aluminium memiliki berat sekitar satu pertiga baja, mudah ditebuk, diperlakukan dengan mesin, dicor, ditarik (*drawing*), dan diekstrusi. Standarisasi aluminium digunakan untuk menggolongkan logam aluminium paduan berdasarkan komposisi kimia, penetapan standarisasi logam aluminium menurut *American Society for Testing and Materials* (ASTM) mempergunakan angka dalam menetapkan penggolongan aluminium paduan. Adapun cara-cara yang ditentukan ASTM dalam menetapkan penggolongan aluminium paduan pada tabel 2.1:

Tabel 2.1 Sistem Paduan Aluminium Tuang

| No. Seri | Komposisi Paduan |
|----------|--|
| 1xx.x | Aluminium murni |
| 2xx.x | Paduan aluminium – tembaga |
| 3xx.x | Paduan aluminium – silicon – magnesium |
| 4xx.x | Paduan aluminium – silicon |
| 5xx.x | Paduan aluminium – magnesium |
| 6xx.x | Jarang digunakan |
| 7xx.x | Paduan aluminium – zinc – magnesium |
| 8xx.x | Paduan aluminium – timah |
| 9xx.x | Belum digunakan |

Sumber : ASM Handbook Vol. 2. 2004

Keterangan kode:

1. Angka pertama menunjukkan jenis – jenis unsur paduan yang terdapat pada logam aluminium.
2. Angka kedua menunjukkan sifat khusus misalnya : angka kedua menunjukkan bilangan nol (0) maka tidak memerlukan perhatian khusus dan jika angka kedua menunjukkan angka satu (1) sampai dengan sembilan (9) memerlukan perhatian khusus.
3. Dua angka terakhir tidak mempunyai pengertian, tetapi hanya menunjukkan modifikasi dari paduan dalam perdagangan.

Dari tiap no. Seri atau tiap paduan aluminium, memiliki manfaat masing-masing antara lain :

➤ **Paduan Aluminium – Tembaga (2xxx)**

1. Meningkatkan kekuatan dan kekerasan
2. Tahan terhadap korosi
3. Memiliki keuletan yang baik
4. Konduktivitas listrik yang baik
5. Ketangguhan dan ketahanan fatik yang tinggi

➤ **Paduan Aluminium – Silikon – Magnesium (3xxx)**

1. Mampu cor yang baik
2. Tahan terhadap korosi
3. Meningkatkan keuletan
4. Menurunkan konduktivitas termal

➤ **Paduan Aluminium – Silikon (4xxx)**

1. Memiliki fluiditas yang baik
2. Mampu cor yang baik
3. Tahan terhadap korosi
4. Meningkatkan keuletan
5. Menurunkan sifat mampu mesin

- **Paduan Aluminium – Magnesium (5xxx)**
 1. *Moderate to high strength and toughness*
 2. Tahan terhadap korosi
 3. Mampu Las dan mampu mesin yang baik

- **Paduan Aluminium – Zinc – Magnesium (7xxx)**
 1. Mampu mesin dan ketahanan korosi yang baik
 2. Mampu cor yang buruk
 3. Menurunkan tingkat penyusutan

2.3 Magnesium

Magnesium adalah unsur kedelapan yang paling berlimpah dan merupakan sekitar 2% dari berat kerak bumi dan merupakan unsur yang paling banyak ketiga terlarut dalam air laut. Magnesium sangat melimpah di alam dan ditemukan dalam bentuk mineral penting didalam bebatuan, seperti dolomit, magnetit, dan olivin. Ini juga ditemukan dalam air laut, air asin bawah tanah dan lapisan asin. Ini adalah logam struktural ketiga yang paling melimpah di kerak bumi, hanya dilampaui oleh aluminium dan besi. Amerika Serikat secara umum menjadi pemasok utama dunia logam ini. Amerika Serikat memasok 45% dari produksi dunia, bahkan pada tahun 1995 Dolomit dan magnesit ditambang sampai sebatas 10 juta ton per tahun, di negara-negara seperti Cina, Turki, Korea Utara, Slowakia, Austria, Rusia dan Yunani. Aplikasi senyawa Magnesium digunakan sebagai bahan tahan api dalam lapisan dapur api untuk menghasilkan logam (besi dan baja, logam nonferrous), kaca, dan semen. Dengan kepadatan hanya dua pertiga dari aluminium, magnesium memiliki banyak aplikasi dalam kasus di mana berat yang ringan sangat penting, yaitu dalam konstruksi pesawat terbang dan rudal. Ia juga memiliki banyak kegunaan kimia dan sifat metalurgi yang baik, sehingga membuatnya sesuai untuk berbagai aplikasi non-struktural lainnya. Magnesium banyak digunakan dalam industri dan pertanian. Kegunaan lain meliputi: penghapusan bentuk belerang besi dan baja, pelat *photoengraved* dalam industri percetakan, mengurangi agen untuk produksi uranium murni dan logam lainnya dari garamnya, fotografi senter, *flare*, dan kembang api.

Magnesium adalah unsur logam, berwarna putih dengan titik lebur $651\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan titik didih 1.107°C . Logam ini adalah yang paling ringan diantara logam yang ada serta sifatnya sangat mudah dicor dan di mesin tetapi lebih getas dari pada aluminium. Selain itu logam ini juga mempunyai ketahanan korosi yang cukup baik dan sangat mudah terbakar jika saat peleburan kontak dengan oksigen dan reaktif. Magnesium lebih mudah bereaksi dengan oksigen (teroksidasi) daripada aluminium karena memiliki nilai potensial elektroda $-2,372\text{ V}$ sedangkan aluminium $-1,66\text{ V}$, semakin rendah nilai potensial elektroda semakin mudah teroksidasi

Magnesium paduan banyak digunakan pada komponen struktur pesawat, otomotif dan elektronik. Pemanfaatan magnesium pada industri otomotif adalah untuk menghasilkan produk kendaraan ringan, sehingga pemakaian bahan bakar lebih hemat dan mengurangi emisi gas buang. Magnesium memiliki warna putih keperak-perakan dan cukup kuat. Magnesium yang terbelah-belah secara halus dapat dengan mudah terbakar di udara dan mengeluarkan lidah api putih yang menakutkan. Logam magnesium mempunyai struktur Kristal HCP. Paduan Magnesium dapat dituang pada cetakan pasir dan juga dapat dilas dan dimesin. Bijih magnesium yang banyak kita kenal adalah magnesit (Magnesium karbonat).

Surdia dan Saito (1975) menyebutkan bahwa magnesium mempunyai susunan atom heksagonal dan mempunyai kekuatan tarik 19 kgf/mm^2 setelah dianil, kekuatan mulur $9,8\text{ kgf/mm}^2$ dan perpanjangannya 16% . Sudarsono (2008) menyatakan bahwa magnesium mempunyai titik cair pada temperatur $650\text{ }^{\circ}\text{C}$, cairan magnesium harus terlindungi dari kontak dengan oksigen yang ada di udara, karena mudah bereaksi dan langsung terbakar jika terkena dengan oksigen, sedangkan massa jenis paduan magnesium $1,8\text{ gram/cm}^3$. Longworth (2001) dalam Arifin (2008) menyatakan magnesium adalah logam yang paling ringan diantara logam yang biasa digunakan dalam suatu struktur.

Menurut Shigley dan Mitchell (1991) semakin tinggi temperatur peleburan berpengaruh pada penurunan volume dan berat hasil pengecoran. Magnesium (Mg) tergolong logam ringan, dan tahan terhadap karat berkat lapisan oksida magnesium.

Mordike (2001) menyatakan magnesium memiliki kelebihan dan kelemahan. Kelebihan magnesium yaitu ; masa jenis terendah dibanding material lainnya, mampu cor dan dapat dimesin pada kecepatan tinggi. Dibanding dengan polimer magnesium paduan memiliki kelebihan yaitu ; sifat mekanik yang baik, tahan terhadap penuaan

(aging), sifat konduktor listrik dan panas yang baik dan dapat didaur ulang (recycleable). Sedangkan kelemahan magnesium antara lain ; modulus elastisitas rendah, terbatasnya dalam pengerjaan dingin dan ketangguhan, terbatasnya ketahanan mulur dan kekuatan pada temperatur tinggi, penyusutan yang cukup besar pada waktu pembekuan dan mudah reaktif. Campuran magnesium digunakan sebagai bahan konstruksi pesawat dan *missile*.

2.4 Paduan Aluminium Magnesium (Al-Mg)

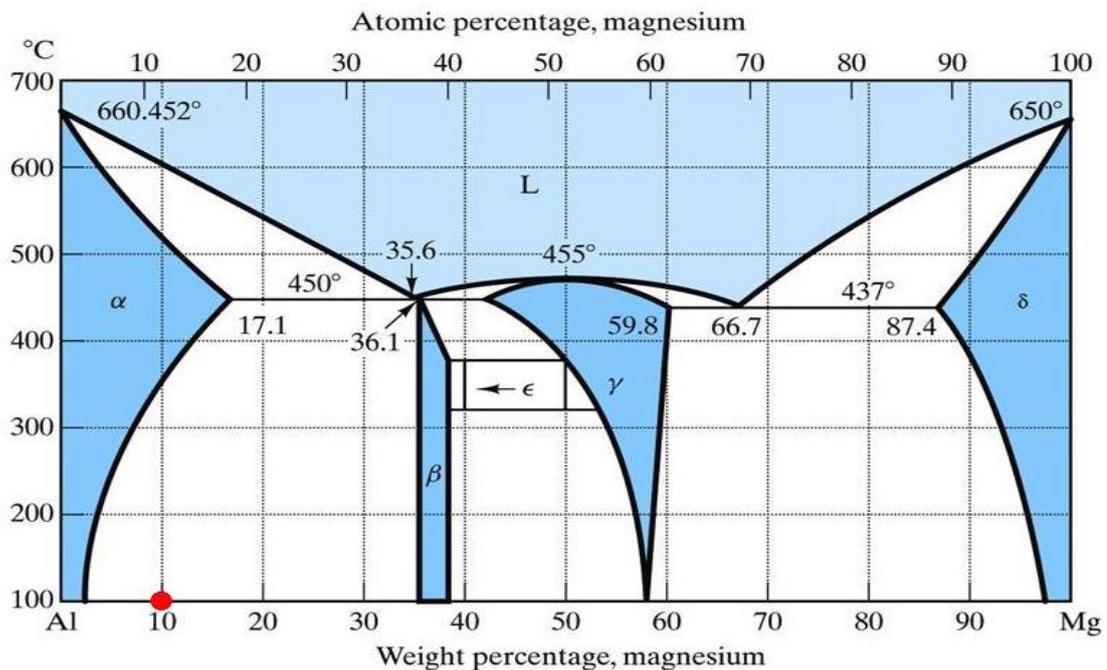
Paduan Al-Mg (5xxx) merupakan material utama yang saat ini digunakan dibanyak industri terutama industri pesawat terbang karena memiliki sifat ringan dan kekuatan dan ketangguhan yang cukup, mampu las dan mampu mesin yang baik serta tahan terhadap korosi.

Dalam paduan biner Al-Mg satu fasa yang ada dalam keseimbangan dengan larutan padat Al adalah larutan padat yang merupakan senyawa antar logam. Paduan dengan 2–3% Mg dapat mudah ditempa, dirol dan diekstrusi, paduan Al 5052 adalah paduan yang biasa dipakai sebagai bahan tempaan. Paduan Al 5052 adalah paduan yang paling kuat dalam sistem ini, dipakai setelah dikeraskan oleh pengerasan regangan apabila diperlukan kekerasan tinggi. Paduan Al 5083 yang dianil adalah paduan antara (4,5% Mg) kuat dan mudah dilas oleh karena itu, sekarang dipakai sebagai bahan untuk tangki LNG. Paduan Al – Mg mempunyai ketahanan korosi yang sangat baik, sejak lama disebut hidronalium dan dikenal sebagai paduan yang tahan korosi. Cu dan Fe sangat berbahaya bagi ketahanan korosi, terutama Cu sangat memberikan pengaruhnya maka perlu perhatian khusus terhadap tercampurnya unsur pengotor pada hasil coran. (Surdia, 1992). Unsur Magnesium memberikan pengaruh baik yaitu:

1. Mempermudah proses penuangan, karena sifat mampu alir yang baik
2. Meningkatkan dan mempermudah kemampuan pengerjaan mesin
3. Sifat daya tahan terhadap korosi yang cukup baik
4. Meningkatkan kekuatan mekanik
5. Menghaluskan butiran kristal secara efektif
6. Meningkatkan ketahanan beban kejut atau impact.

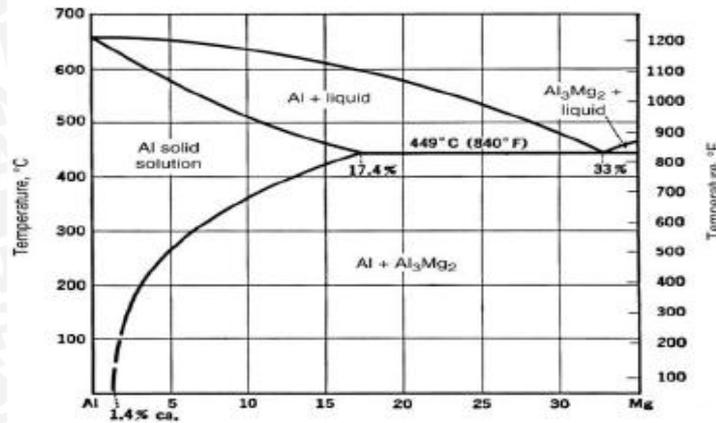
Pengaruh buruk yang ditimbulkan oleh unsur Mg yaitu meningkatkan kemungkinan timbulnya cacat pada hasil coran

Diagram fasa adalah grafik yang digunakan untuk menunjukkan kondisi kesetimbangan antara fase-fase yang berbeda dari suatu zat yang sama. Komponen komponen umum diagram fase adalah *garis kesetimbangan*, yang merujuk pada garis yang menandakan terjadinya transisi fase. Titik tripel adalah titik potong dari garis-garis kesetimbangan antara tiga fase benda, (padat, cair, dan gas). Solidus adalah temperatur di mana zat tersebut stabil dalam keadaan padat. *Liquidus* adalah temperatur di mana zat tersebut stabil dalam keadaan cair. Diagram fasa paduan Al-Mg ditunjukkan sebagaimana pada gambar 2.1 dan 2.2



Gambar 2.1 Diagram Fasa Paduan Al-Mg
Sumber : ASM Handbook (2004)

Terlihat dari gambar 2.2 menunjukkan bahwa keberadaan magnesium hingga 15,35% dapat menurunkan titik lebur logam paduan yang cukup drastis, dari 660°C hingga 450°C. Namun, hal ini tidak menjadikan aluminium paduan dapat ditempa menggunakan panas dengan mudah karena korosi akan terjadi pada suhu di atas 600 °C. Keberadaan magnesium juga menjadikan logam paduan dapat bekerja dengan baik pada temperatur yang sangat rendah, di mana kebanyakan logam akan mengalami failure pada temperatur tersebut.



Gambar 2.2 Potongan Diagram Fasa Al-Mg
 Sumber: ASM Handbook (2004)

Berikut ini adalah contoh dari beberapa titik cair dan temperatur dari paduan aluminium seperti tabel 2.2 berikut ini:

Tabel 2.2 Titik Cair dan Temperatur dari Paduan Aluminium

| Paduan dan Komposisi | Temperatur Mulai cair (°C) | Temperatur Akhir cair (°C) | Temperatur Penuangan (°C) |
|---------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|
| Al – 4.5 Cu | 521 | 644 | 700-780 |
| Al-4Cu-3Si | 521 | 627 | 700-780 |
| Al-4.5Cu-5Si | 521 | 613 | 700-780 |
| Al-12Si | 574 | 582 | 670-750 |
| Al-9.5Si-0.5Mg | 557 | 596 | 670-740 |
| Al-3.5Cu-8.5Si | 538 | 593 | 700-780 |
| Al-7Si-0.3Mg | 557 | 613 | 700-780 |
| Al-4Cu-1.5Mg-2Ni | 532 | 635 | 700-760 |
| Al-3.8Mg | 599 | 641 | 700-760 |
| Al-10Mg | 499 | 604 | 700-760 |
| Al-12Si-0.8Cu-1.7Mg-2.5Ni | 538 | 566 | 670-740 |
| Al-9Si-3.5Cu-0.8Mg-0.8Ni | 520 | 582 | 670-740 |

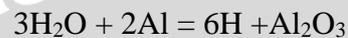
Sumber :Surdia dan Chijiwa, 1975 : 237



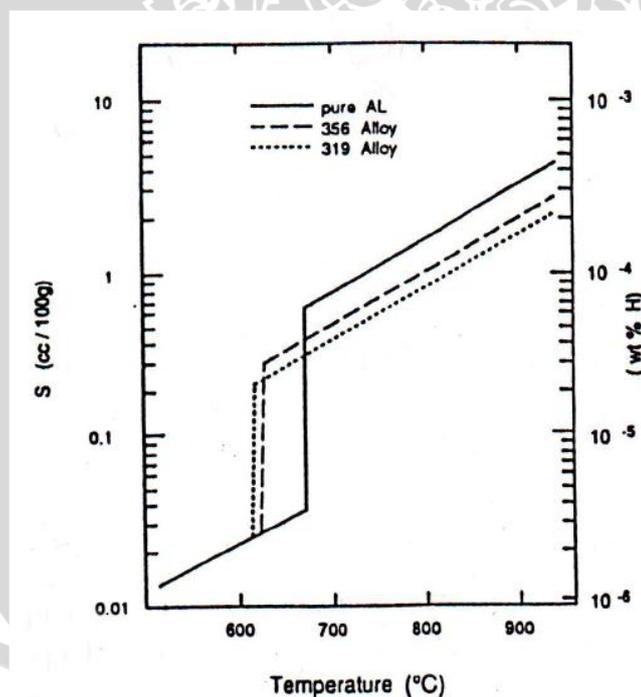
2.5 Kelarutan Gas pada Cairan Aluminium dan Paduan

Pada proses pengecoran aluminium dan paduannya sering kali gas-gas hidrogen, oksigen, dan nitrogen terlarut karena fenomena difusi. Variasi kelarutan gas-gas tersebut secara langsung dipengaruhi oleh temperature dan akar kuadrat tekanan dalam *liquidus* dan *solidus*. Cacat aluminium bertambah dengan meningkatnya kelarutan gas dalam *liquidus* dari peleburan sampai solidifikasi. Control dalam kondisi lebur dan perlakuan lebur dapat mengurangi tingkat kelarutan gas. (Wahyono, 2012)

Pada peleburan aluminium, hanya sedikit hidrogen yang diserap dari atmosfer. Sumber utama hidrogen didalam Al adalah uap air, uap panas, atau hasil dari reaksi kimia sebagai berikut :



Pada grafik 2.3 memperlihatkan betapa cepatnya kandungan hidrogen naik ketika temperatur aluminium cair naik. Paduan yang mengandung hidrogen $\pm 0,01\text{cm}^3/100$ gram relatif bebas dari porositas.



Gambar 2.3 Pengaruh temperature terhadap kelarutan hydrogen dalam aluminium
Sumber: Abrianto, 2010

Ketika temperatur logam cair turun, gas hidrogen akan terdesak keluar dengan cepat dan ini menyebabkan terjadinya porositas. Penambahan unsur paduan dalam

logam Alumunium, dapat merubah kelarutan gas Hidrogen. Beberapa unsur paduan yang dapat menurunkan kelarutan gas Hidrogen, diantara: Si, Zn, Cu, dan Mn. Sedangkan unsur paduan lainnya yang dapat menaikkan kelarutan gas Hidrogen, diantaranya: Mg, Fe, Ni, dan Li. Dari faktor tersebut diatas maka penambahan unsur paduan merupakan hal penting dalam proses pengecoran, khususnya pada cairan logam Alumunium paduan.

2.6 Pengecoran logam

Sejarah pengecoran dimulai ketika orang-orang mengetahui bagaimana mencairkan logam dan bagaimana membuat cetakan. Sekitar 4000 tahun sebelum masehi pengecoran logam sudah dilakukan, dimana coran dibuat dari logam yang dicairkan setelah itu dituang ke dalam cetakan yang telah disediakan. Awal penggunaan logam ialah ketika orang membuat perhiasan dari emas atau perak tempaan, dan kemudian berlanjut ke pembuatan senjata dan mata bajak dengan menempa tambaga. Hal itu dilakukan karena logam-logam ini terdapat di alam dalam keadaan murni sehingga orang dapat mudah menemukannya. Proses penemuan tersebut berlanjut dengan ditemukannya tembaga mencair, sehingga mengetahui bagaimana cara menuang logam cair ke dalam cetakan. Dengan demikian untuk pertama kalinya orang dapat membuat coran dengan bentuk yang rumit. Pengecoran perunggu dilakukan pertama di mesopotamia kira-kira 3000 tahun sebelum masehi, teknik tersebut diteruskan ke asia tengah, india dan cina.

Pengecoran masuk ke cina kira-kira 2000 tahun sebelum masehi pada zaman cina kuno semasa Yin pada masa itu tangki-tangki besar yang halus buaatannya dibuat dengan jalan pengecoran. Masuk ke eropa sekitar 1500 sebelum masehi pengecoran tersebut dilakukan untuk membuat barang-barang seperti mata bajak, pedang, perhiasan dan perhiasan makam. Setelah dari india, cina dan eropa perngecoran perunggu masuk ke wilayah asia tenggara dan jepang untuk membuat arca-arca Budha teknik produksi tersebut berlangsung secara terus menerus keberbagai negara-negara lain. (Tata Surdia, 1975)

Pengecoran (*casting*) adalah proses penuangan logam cair dengan gaya gravitasi atau gaya lain ke dalam suatu cetakan, kemudian dibiarkan membeku, sehingga terbentuk logam padat sesuai dengan bentuk cetakannya. Teknik pengecoran logam sudah banyak digunakan dikalangan industri-industri saat ini. Pengecoran logam tidak

hanya digunakan untuk membuat produk dengan komposisi logam murni, namun juga digunakan untuk membuat logam paduan untuk meningkatkan karakteristik dari logam tersebut.

Proses pengecoran logam merupakan suatu proses produksi yang mencakup beberapa elemen kerja di dalamnya yaitu desain dan perencanaan, pola, cetakan, inti, peleburan sampai finishing dan produk siap dipakai. Masing – masing elemen sistem produksi diatas saling berkaitan didalam proses produksi pengecoran logam. Proses pengecoran sendiri dibedakan menjadi dua macam, yaitu *Traditional casting* dan *Non-traditional/contemporary casting*.

a. Teknik Tradisional :

1. Pengecoran dengan cetakan pasir (*Sand-Mold Casting*).
2. Pengecoran dengan menggunakan Pasir Basah (*Dry-Sand Casting*).
3. *Full-Mold Casting*.
4. *Shell-Mold Casting*.
5. Pengecoran dengan sistim vacum (*Vacuum-Mold Casting*).
6. Pengecoran dengan cetakan semen (*Cement-Mold Casting*).

b. Sedangkan teknik *non-traditional* terbagi atas :

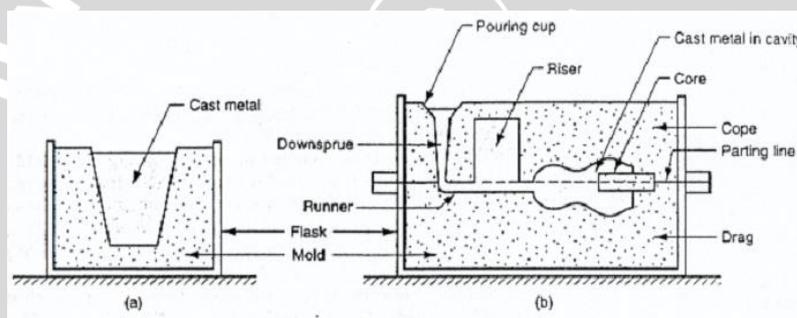
1. Pengecoran dengan pengaruh gaya sentrifugal (*Centrifugal Casting*)
2. Pengecoran dengan Tekanan Tinggi (*High-Pressure Die Casting*).
3. Pengecoran dengan Tekanan Rendah (*Low- Pressure Die Casting*)
4. Pengecoran dengan sistim *inject* (*Injection-Mold Casting*).
5. Pengecoran dengan perpaduan antara casting dengan forging (*Squeeze casting*)
6. Pengecoran dengan cara pola cetakan lilin (*Investment Casting*).
7. Pengecoran dengan sistim tiup, biasa digunakan untuk cetakan plastic (*Blow-mold casting*).

Perbedaan keduanya yaitu pada proses dan hasil jadi coran yang dihasilkan. Proses pengecoran dengan gaya gravitasi dengan menggunakan cetakan pasir masih banyak digunakan karena biaya yang digunakan relatif rendah dibandingkan dengan yang lainnya. Sedangkan pada produk jadi yang dihasilkan biasanya pada proses pengecoran menggunakan metode gravitasi, cacat produk yang dihasilkan relatif banyak dan waktu yang digunakan pada proses finising juga banyak. Pada proses pengecoran non tradisional dimana proses yang digunakan sangat cepat, karena peralatan yang

digunakan sudah digerakan dengan mesin mesin yang terkontrol oleh progam yang ada. Dari hasil coran tidak perlu adanya proses finishing kerana tingkat kepressisian hasil coran sudah baik dengan adanya gaya tekan yang diberikan. Waktu proses produksi yang digunakan pun juga singkat.

Proses pengecoran logam memiliki beberapa tahap yaitu sebagai berikut :

- (1) Pembuatan cetakan;
- (2) Persiapan dan peleburan logam;
- (3) Penuangan logam cair ke dalam cetakan :
 - a. untuk cetakan terbuka (lihat gambar 2.4.a) logam cair dituang hingga memenuhi rongga yang terbuka,
 - b. untuk cetakan tertutup (lihat gambar 2.4.b) logam cair dituang hingga memenuhi beberapa rongga seperti *Riser*, *Ingate*, *Runner* dan sebagainya.



Gambar 2.4 Dua macam bentuk cetakan yaitu (a) cetakan terbuka, (b) cetakan tertutup
Sumber: M. P. Groover, 2002.

- (4) Setelah dingin benda cor dilepaskan dari cetakannya;
- (5) Untuk beberapa metode pengecoran diperlukan proses pengerjaan lanjut :
 - memotong logam yang berlebihan,
 - membersihkan permukaan,
 - memeriksa produk cor,
 - memperbaiki sifat mekanik dengan perlakuan panas (*heat treatment*),
 - menyesuaikan ukuran dengan proses pemesinan.

Ada beberapa jenis cetakan dalam proses pengecoran logam yaitu :

1. Cetakan tidak permanen (*expendable mold*); hanya dapat digunakan satu kali saja.
Contohnya : cetakan pasir (*sand casting*), cetakan kulit (*shell mold casting*), cetakan presisi (*precisian casting*).

2. Cetakan permanen (*permanent mold*); dapat digunakan berulang-ulang (biasanya dibuat dari logam). Contoh : *gravity permanent mold casting, pressure die casting, centrifugal die casting*.

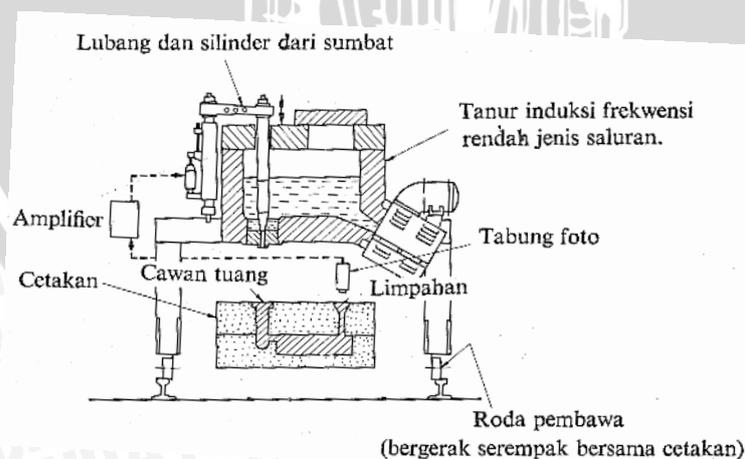
2.7 *Automatic Pouring System (APS)*

Automatic Pouring System (APS) adalah sistem penuangan logam cair dari tungku peleburan ke cetakan yang dikerjakan secara otomatis (tidak menggunakan ladle yang dikerjakan oleh manusia) yang telah banyak dilakukan untuk pengecoran cetak, dan pengecoran dengan cetakan logam bagi logam-logam yang titik cairnya rendah, tetapi tidak banyak dipergunakan untuk besi cor mengingat titik cairnya yang tinggi.

Lingkungan kerja dalam penuangan bersifat buruk yang disebabkan oleh panas, debu dan asap. Pembuatan cetakan yang makin cepat pada akhir-akhir ini menyebabkan menjadi sukarnya penuangan dengan mempergunakan orang. Namun, untuk besi cor dan logam lainnya biasanya dipergunakan empat cara dalam penuangan otomatis yaitu:

1. Jenis sumbat

Pada jenis ini tanur induksi frekuensi rendah dipergunakan sebagai ladle penuang. Pada dasar ladle terdapat sumbat yang dapat diajalkan secara hidrolis. Seluruh tanur bergerak seremoak bersama dengan gerak aliran cetakan diatas yang sejajar dengan rel pembuat cetaan. Pada akhir penuangan sianr infra merah dari cairan logam yang meluap ditangkap oleh lubang fotosel dan signalnya diampplifikasikan untuk menutup sumbat. Seperti pada gambar 2.5 berikut ini.

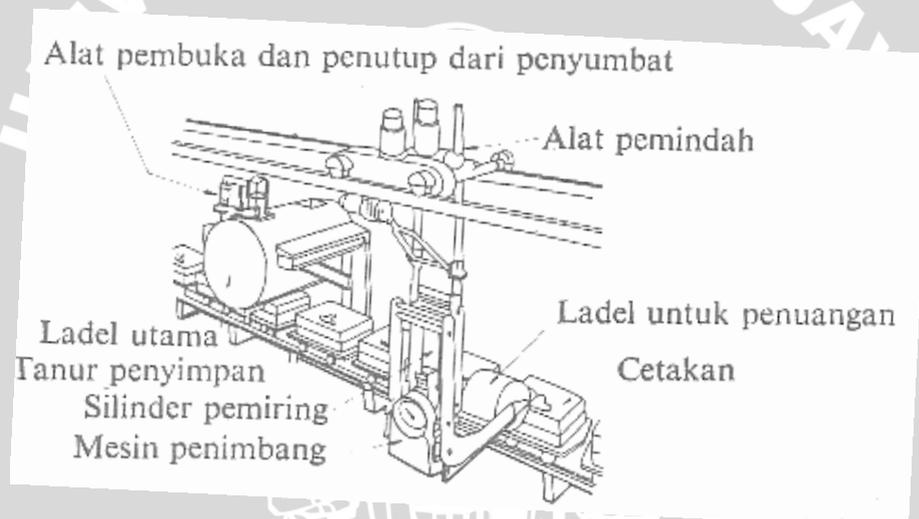


Gambar 2.5 Jenis sumbat dari peralatan penuangan otomatis dengan pemanasan induksi.

Sumber : Surdia dan Chijiwa, 1975.

2. Jenis ladell yang dapat miring

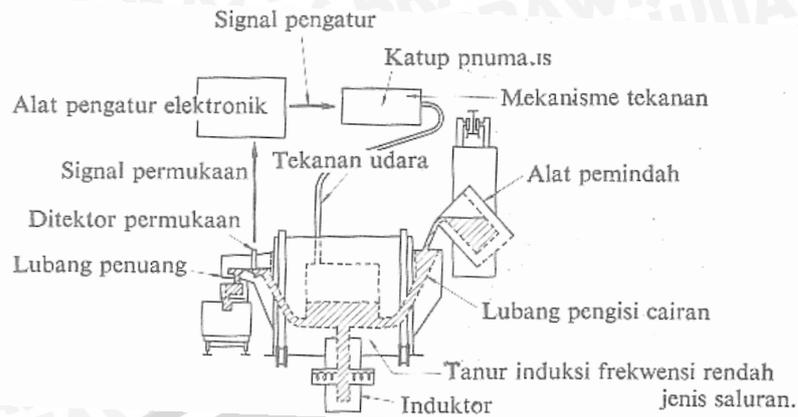
Ladell yang biasanya dijalankan dengan tangan, pada jenis ini dirubah menjadi mesin penuang otomatis. Dalam hal ini termasuk ladell jenis tunggal dan jenis gabungan yang menggabungkan satu tanur penyimpan dengan beberapa ladell. Pada gambar 2.6 Menunjukkan ladell jenis tersebut. Penuangan dilakukan secara otomatis dengan memiringkan ladell, mengikuti gerak dari cetakan. Untuk mengisi ladell, ladell bergerak mendekati tanur penyimpan yang mempunyai penyumbat. Cairan logam dikeluarkan secara otomatis dan terputus-putus dengan membuka dan menutup sumbat. Jumlah caian logam yang diberikan diatur secara otomatis dengan mesin penimbang yang dipasang pada ladell. Tanur penyimpn berkapasitas dua atau tiga ton dan didampingi oleh dua atau tiga ladell. Mesin penuang otomatis ini dapat dipakai bersama mesin pembuat cetakan yang berkecepatan tinggi.



Gambar 2.6 Peralatan penuangan otomatis jenis ladell yang dapat dimiringkan
Sumber : Surdia dan Chijiwa, 1975.

3. Jenis tekanan

Pada jenis peralatan ini, logam cair dalam tanur penyimpanan dituangkan melalui lubang penuang dengan perantaran tekanan udara. Pada gambar 2.7 menunjukkan salah satu dari mesin jenis ini yang mempunyai tanur induksi frekuensi rendah jenis saluran dimana termasuk saluran pemberi, saluran penuang dan mekanisme penkan. Dalam gambar tersebut diperlihatkan penuangan dimana sedang menerima cairan dari alat pembawa otomatis.



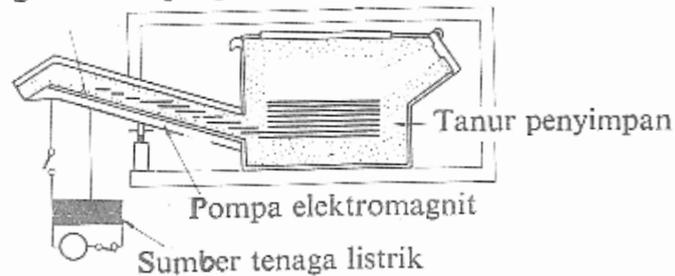
Gambar 2.7 Peralatan penuangan otomatis jenis tekanan

Sumber : Surdia dan Chijiwa, 1975

4. Jenis pompa elektromagnet

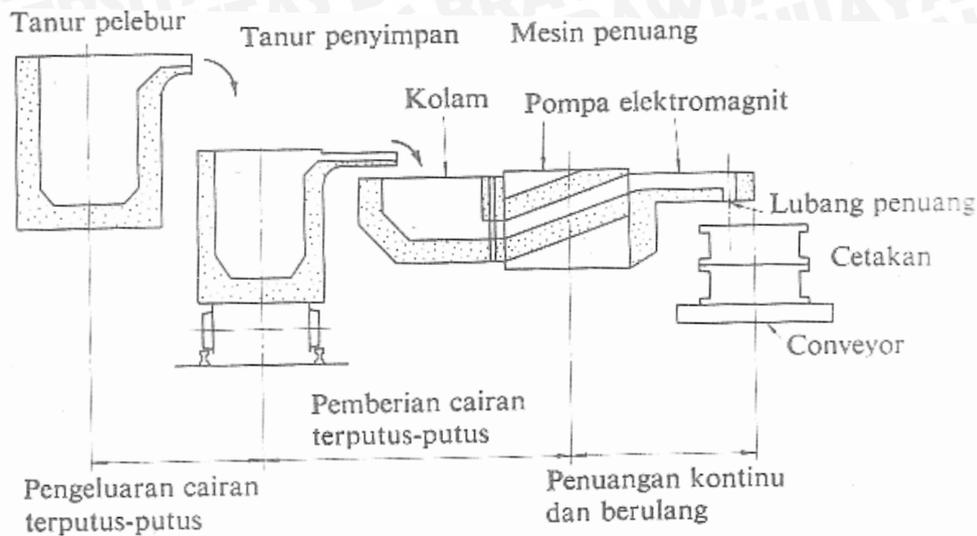
Pompa electromagnet adalah pompa yang memberikan gaya orong pada cairan logam yang timbul dari aksi electromagnet antara lapangan magnet yang bergerak dan arus induksi pada cairan. Cairan diangkat melalui saluran gradient angka dan dituangkan melalui lubang penuangan. Mesin penuang terdiri dari cawan tuang, sebuah pompa elektromagnetis dan saluran pengeluaran. Mesin ini dapat memberikan respon cepat pada signal pengatur, dapat diatur dari jauh dan baik untuk pembawa secara otomatis, karena pengaturan penuangan yaitu membawa cairan dan menghentikan penuangan, dijalankan secara listrik. Pada gambar 2.8 Menunjukkan salah satu jenis mesin penuang pompa electromagnet dan gambar 2.9 Menunjukkan aliran dari logam.

Pompa elektromagnet untuk pengukuran kwanitas.



Gambar 2.8 Alat penuang jenis pompa elektrik

Sumber : Surdia dan Chijiwa, 1975

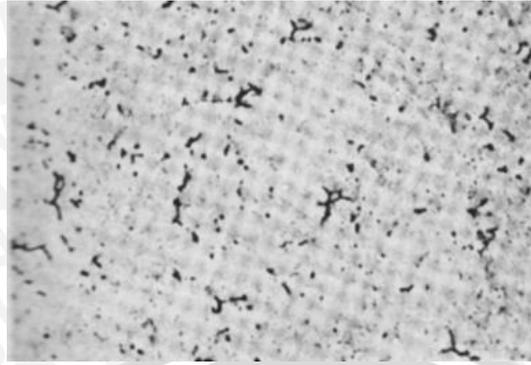


Gambar 2.9 Aliran dari cairan logam pada alat penuangan jenis pompa elektromagnet.
Sumber : Surdia dan Chijiwa, 1975

2.8 Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro adalah salah satu cara untuk mengetahui struktur kristal dalam coran sehingga kita dapat mengetahui sifat fisis dari coran tersebut. Pengamatan struktur mikro dengan menggunakan bantuan alat pembesar, misalnya lope dan mikroskop optik. Mikroskop dengan pembesaran yang cukup dapat dilihat susunannya dan dapat ditentukan secara fotografis. Benda uji harus diratakan dan dihaluskan terlebih dulu dengan mesin, misalnya dikikir, digerinda, diasah dan dipoles.

Rudi Siswanto (2011) dalam penelitiannya mengatakan bahwa pengasahan dan pemolesan harus berarah saling tegak lurus dengan bahan poles oksida chrom. Bila permukaan sudah mengkilap cermin disापukan bahan etsa yang dapat melarutkan dengan cepat bagian-bagian tertentu dari bahan benda uji atau akan memberi warna tertentu. Sebagai bahan etsa dapat dipergunakan antara lain : baja ($\text{HNO}_3 = 15 \text{ cc}$, alkohol = 100 cc), Cu ($\text{CrO}_3 = 50 \text{ cc}$, $\text{HCl} = 2 \text{ tetes}$), Al ($\text{HF} = 10 \text{ cc}$, $\text{HCl} = 15 \text{ cc}$, Air = 90 cc), paduan Al (NaOH).



Gambar 2.10 Strukturmikro hasil coran paduan Al-Mg (100x)
Sumber : Surdia dan Chijiwa, 1975.

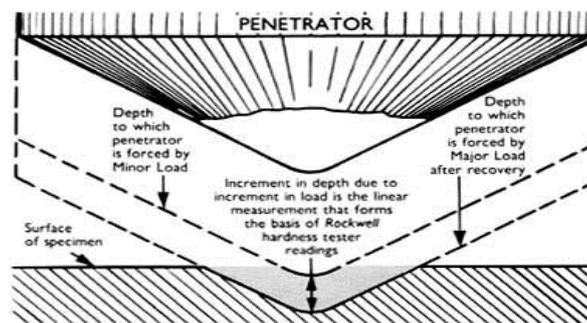
Pada gambar 2.10 merupakan gambar struktur mikro paduan Al-Mg . Matriks adalah α -Al, titik hitam adalah MgSi dengan komposisi ; Mg 3,86% ; Si 0,18% ; Mn 0,39 % ; Fe 0,29% ; Cu 0,07% ; Al sisanya. Paduan aluminium yang mengandung magnesium sekitar 4% atau 10% mempunyai ketahanan korosi dan sifat-sifat mekanis yang baik. Mempunyai kekuatan tarik diatas 30 Kg/mm² dan perpanjangan diatas 12% setelah perlakuan panas. Paduan ini disebut hidronalium dan dipakai untuk bagian-bagian dari alat-alat industri kimia, kapal laut, kapal terbang, dan sebagainya yang membutuhkan ketahanan korosi, (Surdia, dan Chijiwa 1975).

2.9 Kekerasan dan Pengujian Kekerasan Rockwell

Kekerasan (Hardness) adalah sebagai kemampuan suatu material untuk menahan beban indentasi atau penetrasi (penekanan). Pengujian kekerasan diklasifikasikan berdasarkan kriteria-kriteria tertentu, termasuk dari tipe pengukurannya, besar beban indentasi, dan sifat pengujiannya. Dari tipe pengukurannya, pengujian kekerasan dapat diklasifikasikan menjadi 2, yaitu yang mengukur dimensi dari indentasi (brinell dan vicker) dan yang satu lagi mengukur dari kedalaman indentasi (Rockwell dan nano indentasi). Berdasarkan besar beban indentasi yang diberikan, pengujian kekerasan dapat dibagi menjadi 3, yaitu macrohardness(≥ 1 kgf), microhardness(1gf sampai 1kgf), dan yang terbaru adalah nanohardness(sekitar 0,1mN). Berdasarkan sifat pengujiannya, pengujian kekerasan dapat dibagi menjadi 3, yaitu statis, dinamis, dan goresan. Pengujian statis sama seperti brinell, vicker, atau Rockwell. Pada pengukuran dinamis, indenter dipantulkan pada permukaan benda kerja, dan tinggi pantulan indenter digunakan sebagai pengukuran kekerasannya. Pada

pengujian dengan goresan material yang sudah diketahui nilai kekerasannya digunakan sebagai indentor yang digoreskan pada permukaan material yang diuji untuk menentukan bahwa material yang diuji tersebut lebih keras atau tidak dibandingkan indentor yang digunakan.

Pengujian kekerasan dengan metode Rockwell bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap indentor berupa bola baja ataupun kerucut intan yang ditekan pada permukaan material uji tersebut.



Gambar 2.11 Metode Pengujian Rockwell

Sumber : *ASM Handbook Volume 8*

Dibawah ini merupakan rumus yang digunakan untuk mencari besarnya kekerasan dengan metode Rockwell.

$$\text{Depth} = (E - \text{HR}) \times 0,002$$

$$\text{HR} = E - e \quad \text{ASM HANDBOOK Vol. 08 (2004)}$$

Dimana :

e = Jarak antara kondisi 1 dan kondisi 3 (*Depth*) yang dibagi dengan 0.002 mm (multiplied)

E = Jarak antara indentor saat diberi minor load dan zero reference line yang untuk tiap jenis indentor berbeda-beda

HR = Besarnya nilai kekerasan dengan metode hardness

Pengujian dengan metode Rockwell sesuai dengan material dari yang terkeras hingga yang ter lunak dikarenakan indentor yang bermacam-macam yang dapat disesuaikan dengan jenis materialnya. Berikut jenis indentor dan macam-macam materialnya.

Tabel 2.3 Skala *Rockwell Hardness Tester*

| Scale symbol | Indenter | Major load (kgf) | Typical applications |
|--------------|-----------------------------|------------------|---|
| A | Diamond (carbide and Steel) | 60 | Cemented carbides, thin steel, and shallow case-hardened steel |
| B | 1/16 in. (1,588 mm) ball | 100 | Copper alloys, soft steel, aluminium alloys, malleable iron |
| C | Diamond | 150 | Steel, hard cast irons, pearlitic malleable iron, titanium, deep case-hardened steel, and other materials harder than 100 HRB |
| D | Diamond | 100 | Thin steel and medium case-hardened steel and pearlitic malleable iron |
| E | 1/8 in. (3,175 mm) ball | 100 | Cast iron, aluminium and magnesium alloys, bearing metals |
| F | 1/16 in. (1,588 mm) ball | 60 | Annealed copper alloys, thin soft sheet metals |
| G | 1/16 in. (1,588 mm) ball | 150 | Phosphor bronze, beryllium copper, malleable irons, Upper limit 92 HRG to avoid possible flattening of ball |
| H | 1/8 in. (3,175 mm) ball | 60 | Aluminium, zinc, lead |
| K | 1/8 in. (3,175 mm) ball | 150 | Bearing metals and very soft or thin materials. Use smallest ball and heaviest load that do not produce anvil effect. |
| L | 1/4 in. (6,350 mm) ball | 60 | Bearing metals and very soft or thin materials. Use smallest ball and heaviest load that do not produce anvil effect. |
| M | 1/4 in. (6,350 mm) ball | 100 | Bearing metals and very soft or thin materials. Use smallest ball and heaviest load that do not produce anvil effect. |
| P | 1/4 in. (6,350 mm) ball | 150 | Bearing metals and very soft or thin materials. Use smallest ball and heaviest load that do not produce anvil effect. |
| R | 1/2 in. (12,70 mm) ball | 60 | Bearing metals and very soft or thin materials. Use smallest ball and heaviest load that do not produce anvil effect. |
| S | 1/2 in. (12,70 mm) ball | 100 | Bearing metals and very soft or thin materials. Use smallest ball and heaviest load that do not produce anvil effect. |
| V | 1/2 in. (12,70 mm) ball | 150 | Bearing metals and very soft or thin materials. Use smallest ball and heaviest load that do not produce anvil effect. |

Sumber *ASM Handbook Volume 8*

2.10 Hipotesa

Berdasarkan tinjauan pustaka maka dapat diambil hipotesa bahwa semakin lama waktu peleburan paduan Al-Mg akan menurunkan tingkat kehalusan pada strukturmikro dan menurunkan tingkat komposisi Mg maka akan menurunkan tingkat kekerasan.