

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Karakteristik Sepatu Rem (*Brake Shoe*)

Rem merupakan salah satu komponen mesin mekanik yang sangat vital keberadaannya. Rem berfungsi mengurangi kecepatan atau menghentikan kendaraan melalui gesekan antara sepatu rem dengan tromol dengan mekanisme tertentu. Salah satu komponen pada rem yang memiliki peran sangat penting dalam sistem pengereman adalah sepatu rem. Sepatu rem berbentuk busur yang disesuaikan dengan lingkaran drum dan dilengkapi dengan kanvas yang dikeling ataupun direkatkan pada bagian permukaan dalam sepatu rem. Salah satu ujung sepatu rem dihubungkan pada anchor pin atau pada baut silinder penyetel sepatu rem. Ujung lainnya dipasangkan pada roda silinder yang berfungsi untuk mendorong sepatu ke drum dan juga sepatu rem ini berhubungan dengan mekanisme rem tangan. Bentuk sepatu rem dapat dilihat pada Gambar 2.1.

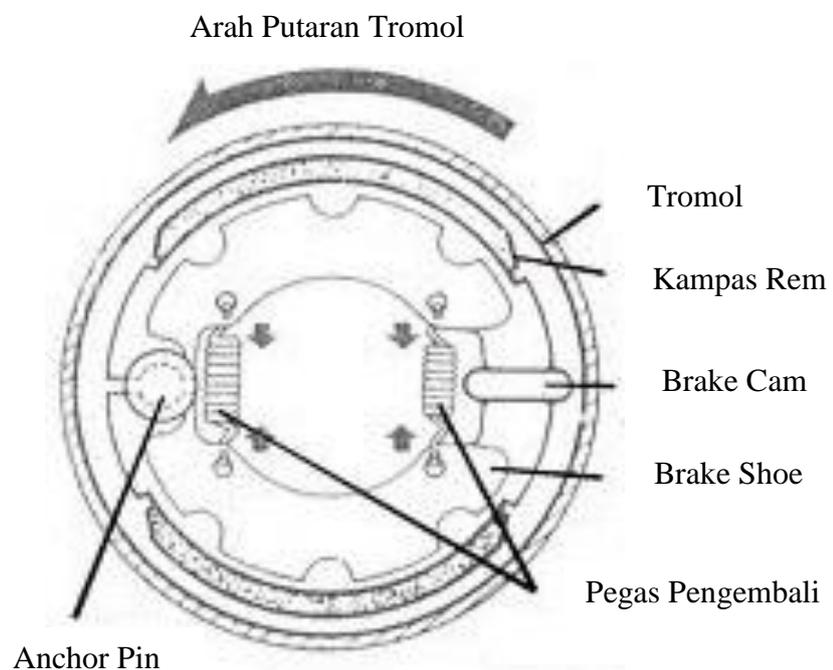


Gambar 2.1. Sepatu Rem [1].

Sepatu rem merupakan komponen yang relatif cukup tahan lama dan jarang mengalami kegagalan. Sepatu rem (*brake shoe*) terbuat dari material ADC12 dan silikon 12%. Pemilihan material ini karena ADC12 mempunyai beberapa kelebihan antara lain :

1. Mempunyai berat yang relatif ringan.
2. Tahan terhadap korosi.
3. Mempunyai konduktivitas termal tinggi.
4. Lunak tapi kuat sehingga apabila kampas rem habis, sepatu rem tidak merusak drum.
5. Memiliki sifat ulet

Letak sepatu rem pada komponen rem tromol sepeda motor dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Letak Sepatu Rem pada Komponen Rem Tromol [2].

Rem tromol digunakan pada kendaraan tipe terdahulu, tetapi biasanya juga digunakan untuk rem bagian belakang kendaraan. Rem tromol terdiri dari komponen rumah rem atau drum dan kampas rem, cara kerja rem tromol adalah rem bekerja atas dasar gesekan antara sepatu rem dengan drum yang ikut berputar dengan putaran roda kendaraan. Agar gesekan dapat memperlambat kendaraan dengan baik, sepatu rem dibuat dari bahan yang mempunyai koefisien gesek yang tinggi. Keuntungan dan kerugian rem tromol adalah sebagai berikut:

1. Keuntungan

- a. Rem tromol digunakan untuk kendaraan yang memerlukan kerja ekstra dalam pengereman contoh : kendaraan operasional seperti bis, truk, minibus, dsb. Rem. Jadi rem tromol dapat digunakan pada beban angkut yang berat (heavy duty) dengan bekerja [2].

2. Kekurangan

- a. Rem tromol yang masih menerapkan sistem tertutup dalam prosesnya. Dengan system ini membuat partikel kotoran pada ruang tromol tersebut. Jadi untuk perawatan membersihkannya harus membuka roda agar rumah rem dapat dibersihkan dari debu atau kotoran [2].

2.2 Aluminium

Aluminium merupakan logam *non ferro* yang memiliki sifat 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 ditebuk, 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. Unsur-unsur paduan tembaga, silikon, magnesium, mangan, nikel, dapat merubah sifat paduan aluminium [4].

Logam Aluminium menduduki tempat kedua sebagai logam terpenting setelah besi dan mempunyai kelebihan dibanding logam lain, sehingga penggunaan aluminium sangat luas. Kelebihan logam aluminium di antaranya :

1. Ringan (*light in weight*) [4].

Aluminium memiliki sifat ringan, bahkan lebih ringan dari magnesium dengan densitas sekitar 1/3 dari densitas besi. Kekuatan dari paduan aluminium dapat mendekati dari kekuatan baja karbon dengan kekuatan tarik 700 Mpa (100 Ksi). Kombinasi ringan dengan kekuatan yang cukup baik membuat aluminium

sering diaplikasikan pada kendaraan bermotor, pesawat terbang, alat-alat konstruksi seperti tangga, *scaffolding*, maupun pada roket.

2. Mudah dalam pembentukannya (*easy fabrication*) [4]

Aluminium merupakan salah satu logam yang mudah untuk dibentuk dan mudah dalam fabrikasi seperti ekstrusi, *forging*, *bending*, *rolling*, *casting*, *drawing*, dan *machining*. Struktur kristal yang dimiliki aluminium adalah struktur kristal *FCC* (*Face Centered Cubic*), sehingga aluminium tetap ulet meskipun pada temperatur yang sangat rendah. Bahan aluminium mudah dibentuk menjadi bentuk yang kompleks dan tipis sekalipun, seperti bingkai jendela, lembaran aluminium foil, rel, gording, dan lain sebagainya.

3. Tahan terhadap korosi (*corrosion resistance*) [4].

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. Hal tersebut dapat terjadi karena permukaan aluminium mampu membentuk lapisan alumina (Al_2O_3) bila bereaksi dengan oksigen.

4. Konduktifitas listrik tinggi (*high electrical conductivity*) [4].

Konduktifitas listrik dari aluminium dua kali lebih besar dari pada tembaga dengan perbandingan berat yang sama. Sehingga sangat cocok digunakan dalam kabel transmisi listrik.

5. Tidak beracun (*non toxic*) [4].

Aluminium tidak memiliki sifat racun pada tubuh manusia, sehingga sering digunakan dalam industri makanan seperti kaleng makanan dan minuman, serta pipa-pipa penyalur pada industri makanan dan minuman.

6. Mudah didaur ulang (*recyclability*) [4].

Aluminium mudah untuk didaur ulang, bahkan 30% produksi aluminium di Amerika berasal dari aluminium yang didaur ulang. Pembentukan kembali aluminium dari material bekas hanya membutuhkan 5% energy dari pemisahan aluminium dari bauksit.

Dengan berbagai keunggulan dari aluminium tersebut, saat ini penggunaan aluminium sangat berkembang pesat terutama pada industri pesawat terbang dan

otomotif. Masih banyak pengembangan yang dilakukan sehingga dapat menciptakan paduan aluminium baru yang memiliki sifat dan karakteristik yang berbeda.

2.2.1 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) [4].

Dengan atau tanpa paduan lainnya silikon mempunyai ketahanan terhadap korosi. Bila bersama aluminium ia akan mempunyai kekuatan yang tinggi setelah dilakukan perlakuan panas, tetapi silikon mempunyai kualitas pengerjaan mesin yang jelek, selain itu juga mempunyai ketahanan koefisien panas yang rendah.

2. Tembaga (Cu) [4].

Dengan unsur tembaga pada aluminium akan meningkatkan kekerasan 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) [4].

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) [4].

Dengan unsur nikel aluminium dapat bekerja pada temperatur tinggi, misalnya piston dan *silinder head* untuk motor.

5. Mangan (Mn) [4].

Dengan unsur mangan aluminium sangat mudah dibentuk, tahan korosi baik sifat dan mampu lasnya baik.

6. Seng (Zn) [4].

Umumnya seng ditambahkan bersama-sama dengan unsur tembaga dalam

prosentase kecil. Dengan penambahan ini akan meningkatkan sifat-sifat mekanik pada perlakuan panas dan juga kemampuan mesin.

7. *Ferro* (Fe) [4].

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 [4].

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 [4].

Bismuth digunakan untuk meningkatkan sifat mampu mesin dari aluminium.

2.2.2 Sifat Aluminium

Aluminium mempunyai sifat yang unggul dibanding dengan logam – logam yang lain, di antaranya adalah :

1. Berat jenis [5].

Berat jenis aluminium pada suhu kamar sekitar $2,7 \text{ gr/cm}^3$, berarti sepertiga dari berat jenis besi yaitu $7,87 \text{ gr/cm}^3$. Sifat ringan ini merupakan faktor yang sangat penting dalam alat – alat transportasi seperti kapal motor, kereta api dan bidang lainnya. Inilah yang menjadi alasan mengapa aluminium digunakan dalam banyak hal.

2. Anti karat [5].

Dalam hal ini aluminium tidak dapat diserang oleh karat seperti yang terjadi pada logam atau tembaga. Aluminium tahan karat diudara terbuka karena terbentuk lapisan oksida yang tahan karat yaitu Al_2O_3 . Karena sifat ini maka aluminium banyak digunakan sebagai pembungkus bahan makanan, minuman dan obat – obatan.

3. Konduktivitas listrik [5].

Daya hantar (konduktivitas) adalah suatu ciri khas dari logam. Adapun konduktivitas listrik yang dimiliki aluminium sekitar 60% lebih besar dari tembaga. Oleh karena itu untuk mengalirkan sejumlah arus listrik yang sama

hanya diperlukan kira – kira 0,5 kg aluminium, sedangkan bila digunakan tembaga diperlukan 1kg. Dari sifat ini dapat kita lihat bahwa aluminium lambat laun akan digunakan secara meluas dalam jaringan transmisi distribusi dan keperluan listrik bila dibandingkan dengan tembaga.

4. Kemampuan olah [5].

Logam aluminium dapat dikerjakan dengan baik sehingga mudah terbentuk pada mesin ekstrusi (mesin pencetak) menjadi berbagai dan sifat aluminium sesuai dengan pesanan konsumen.

5. Dapat membentuk padatan [5].

Untuk kebutuhan tertentu, aluminium dapat dipadukan dengan logam-logam lain, seperti : Cu, Mg, Si, dan Zn. Setelah dilakukan pengolahan panas dan pengerasan tarik, dapat dihasilkan campuran (paduan) yang mempunyai tegangan tarik yang tinggi sebagai bahan struktur karena sifatnya yang ringan. Paduan aluminium banyak digunakan dalam industri pesawat terbang, konstruksi mobil dan sebagainya.

6. Dapat dilebur kembali [5].

Karena titik lebur aluminium cukup rendah yaitu 600° celcius dibandingkan dengan logam lain, maka aluminium dapat diperoleh kembali dari rongsokan aluminium dengan jalan peleburan kembali sehingga dapat dicetak sesuai dengan yang diinginkan. Hal ini dapat mencegah polusi lingkungan dari sisa-sisa aluminium yang telah digunakan.

7. Konduktivitas panas [5].

Konduktivitas panas aluminium lebih besar dari logam-logam lainnya. Oleh sebab itu aluminium tidak hanya digunakan untuk peralatan pemindah panas, tetapi juga digunakan untuk keperluan sehari-hari seperti ketel, panci, dan lain-lain.

8. Pemantulan cahaya [5].

Aluminium mempunyai sifat memantulkan panas yang tinggi sesuai dengan sifatnya yang baik dalam memantulkan sinar ultra-violet sampai infra-merah. Oleh karena itu, maka aluminium digunakan pada alat pemanas dan alat pengering infra-merah. Selain itu aluminium yang mempunyai sifat radiasi

kecil digunakan juga pada atap-atap rumah dan bagian-bagian pengisolasi panas.

9. Tidak bersifat magnetik [5].

Pada suhu kamar aluminium tidak terpengaruh oleh medan magnetik, karena sifat ini maka aluminium dapat digunakan sebagai bahan inti magnet yang mengelilingi kompas aluminium yang dipakai pada kapal laut.

Dari sifat-sifat aluminium diatas dapat kita lihat bahwa aluminium sangat penting dalam kehidupan manusia. Oleh karena itu untuk memenuhi kebutuhan diatas perlu diadakan rekayasa teknologi metalurgi untuk mengolah bahan-bahan logam yang semakin baik. (Davis J.R., 1980)

2.3 Aluminium Oksida (Al_2O_3)

Satu-satunya oksida aluminium adalah alumina (Al_2O_3). Terdapat dua bentuk anhidrat Al_2O_3 yaitu $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ dan $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$. Alumina adalah bahan baku utama dalam industry peleburan aluminium. Alumina ini berasal dari bermacam-macam bahan baku seperti : bauksit, dowsit, kaolinit, anorthosit, dan lain-lain. Bentuk wujud serbuk aluminium oksida bisa dilihat pada Gambar 2.3 berikut.



Gambar 2.3. Serbuk Aluminium Oksida.

Karena sifat kekerasannya aluminium oksida dipakai sebagai bahan abrasif dan sebagai komponen dalam alat pemotong. Aluminium oksida berperan penting dalam ketahanan logam aluminium terhadap pengkaratan dengan udara. Logam aluminium sebenarnya amat mudah bereaksi dengan oksigen di udara. Aluminium

bereaksi dengan oksigen membentuk aluminium oksida, yang terbentuk sebagai lapisan tipis yang dengan cepat menutupi permukaan aluminium. Lapisan ini melindungi logam aluminium dari oksida lebih lanjut. Alumina yang dihasilkan melalui anodisasi bersifat amorf, namun beberapa proses oksidasi seperti *plasma electrolytic oxydation* menghasilkan sebagian besar alumina dalam bentuk kristalin, yang meningkatkan kekerasan. Adapun sifat – sifat kimianya adalah sebagai berikut [6].

1. Subtansi alpha – alumina sangat inert
2. Umumnya menahan cairan asam dan alkali
3. Untuk analisa digunakan boraks atau sodium peroksida agar kecepatan dan komposisi yang lengkap terjamin
4. Gamma – alumina sangat lebih reaktif daripada alpha alumina

Adapun untuk sifat fisis aluminium oksida dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut ini [7].

Tabel 2.1. Sifat Fisis Aluminium Oksida

Sifat Fisis	Nilai*
Massa Jenis (g/cm^3)	3,8
Titik Lebur ($^{\circ}\text{C}$)	2050
Gaya Tekan pada 20°C (Nm^{-2})	$2,76 \times 10^{11}$
Modulus elastis pada 20°C (Nm^{-2})	$3,45 \times 10^{17}$
Konduktivitas panas pada 20°C ($\text{W metode}^{-1} \text{K}^{-1}$)	83,75
Ekspansi muai linier pada 20°C ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)	7×10^6
Koefisien konduktivitas termal 20°C ($\text{Wm}^{-1} \text{K}^{-1}$)	0,419

- Nilai sudah dikonversikan dari bentuk aslinya. Konversinya adalah sebagai berikut : $1 \text{ psi} = 6900 \text{ Nm}^{-2}$ dan $1 \text{ cal cm}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ K}^{-1} = 418,760 \text{ Wm}^{-1} \text{ K}^{-1}$

2.4 Material Komposit

Komposit merupakan gabungan material multifasa yang memiliki interface makroskopis yang dapat dibedakan secara makro dan memiliki sifat-sifat yang merupakan penggabungan sifat positif material penyusunnya. Komposit berdasarkan jenis penguatnya dibagi menjadi 3 macam yaitu komposit partikulat, komposit fiber dan komposit structural [8].

Jika berdasarkan sifat penguatnya, maka komposit dibagi menjadi dua yaitu komposit isotropik dan anisotropik. Komposit isotropik adalah komposit yang penguatnya memberikan penguatan yang sama untuk berbagai arah (baik dalam arah transversal maupun longitudinal) sehingga segala pengaruh tegangan atau regangan dari luar akan mempunyai nilai kekuatan yang sama. Sebaliknya komposit anisotropik adalah komposit yang penguatnya memberikan penguatan tidak sama terhadap arah yang berbeda, sehingga segala pengaruh tegangan atau regangan dari luar akan mempunyai nilai kekuatan yang tidak sama (baik arah transversal maupun longitudinal). Komposit dapat digolongkan berdasarkan jenis matrik dan bentuk penguatnya [8].

Klasifikasi Komposit Berdasarkan Matrik [9].

1. *Metal matrix composites* (MMCs), yaitu komposit yang memiliki matrik berupa logam.
2. *Ceramic Matrix Composites* (CMCs), yaitu komposit dengan matrik dari bahan keramik.
3. *Polymer Matrix Composites* (PMCs), yaitu jenis komposit dengan matrik dari bahan polimer.

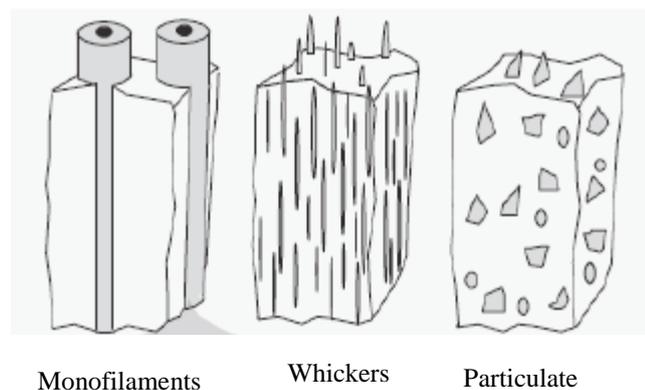
Klasifikasi Komposit Berdasarkan Penguat / *reinforcement* [9].

1. *Fibrous composite*
2. *Particulate composite*
3. *Flake composite*
4. *Fillet composite*

2.4.1 Komposit Matrik Logam (MMCs)

Istilah MMCs mencakup berbagai jenis sistem, skala dan mikrostruktur yang luas dari komposit berbasis logam. Komposit MMCs berbasis logam dan biasanya berpenguat keramik, meskipun kadang berpenguat dengan material yang lebih ulet seperti grafit ataupun timbal. Kadang menggunakan logam refraktori, intermetalik atau semikonduktor disamping keramik yang sebenarnya. MMCs pada umumnya termasuk dalam jenis komposit partikulit. Berdasarkan bentuk partikel penguatnya MMCs dibagi menjadi 3 yaitu partikel, jika perbandingan panjang dan lebarnya mendekati satu, short fiber dan fiber [7]. MMCs memiliki beberapa keuntungan yaitu memiliki konduktifitas panas yang baik, tahan terhadap tegangan geser dan tahan terhadap temperatur tinggi sedangkan kerugiannya yaitu biaya mahal dan densitas yang tinggi. Contoh material MMCs adalah komposit isotropik Al/SiC dan Al/Al₂O₃.

Pilihan dalam mengkombinasikan matrik dan penguat, menjadi salah satu yang menentukan kespesifikan komposit dalam proses sintesis dan bagain dari isu teknologi komposit. Gambar 2.4 menunjukkan klasifikasi MMCs berdasarkan bentuk penguat [10].



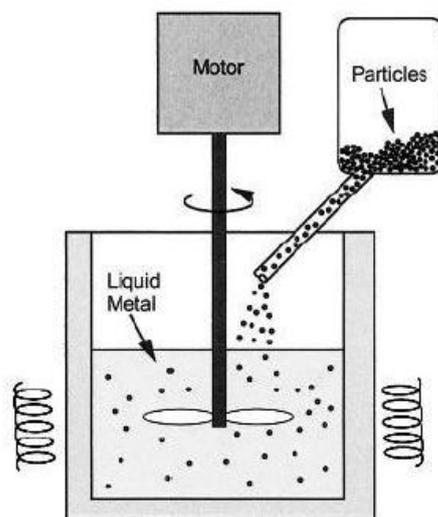
Gambar 2.4. Klasifikasi MMCs berdasarkan bentuk penguat [10].

2.5 Metode *Stir Casting*

Metode *stir casting* merupakan proses utama dalam produksi material komposit, dimana material penguat disatukan bersama logam cair dengan cara diaduk (*stirring*). Untuk menghasilkan kualitas komposit yang baik, proses *stirring*

harus berlangsung kontinyu untuk mempertahankan partikel penguat tetap terdispersi merata dalam logam cair (matriks). Dalam proses ini, campuran dilebur dan temperturnya dikontrol dengan menggunakan *thermocontroller*, lalu dimasukkan partikel penguatnya. Temperatur dari campuran harus dikontrol dibawah suhu kritis untuk menghindari pembentukan senyawa lain yang dapat mengakibatkan fluiditas yang buruk pada cairan. Adanya *vortex* pada saat proses pengadukan meyebabkan partikel partikel penguat yang ringan terdispersi merata dalam matriks sampai campuran tersebut dipindah kedalam cawan tuang dan dituang kedalam cetakan permanen [11].

Keuntungan dari proses ini adalah mampu untuk menggabungkan partikel penguat yang memiliki kemampuan membasahi (*wetability*) yang rendah. Bahan yang tidak terbatas tersebut dapat terdispersi oleh adanya gaya pengadukan secara mekanik yang menyebabkan partikel padatan terperangkap dalam logam cair. Secara skematis rangkaian proses dan peralatan yang digunakan dalam proses *stir casting*, dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. Skema Proses *Stircasting* [11].

Kesulitan yang dihadapi dalam pembuatan komposit matrik logam dengan metode teknik metalurgi cair, khususnya pada proses *stir casting*, adalah pada kurangnya penyusutan logam cair akibat dari kemampuan basah (*wettability*) dari

penguat partikel. Umumnya penguat partikel senyawa keramik, seperti ; SiC, Al₂O₃, B₄C dan C memiliki kemampuan basah yang kurang baik terhadap logam cair. Hal ini disebabkan karena penguat partikel tersebut memiliki energi permukaan yang relatif rendah, sehingga tidak memberikan pembasahan yang sempurna terhadap logam cair. Energi permukaan adalah energi yang dimiliki suatu material yang dibasahi antara dua fasa yang berdekatan sebagai daerah yang tidak homogen. Untuk mendapatkan sifat mampu basah yang baik, energi permukaan yang rendah tersebut harus dirubah menjadi energi permukaan yang tinggi. Biasanya penggunaan logam magnesium (Mg) dalam tingkat tertentu dapat memberikan pengaktifan permukaan partikel menjadi basah. Semakin basah partikel penguat akan semakin mudah partikel tersebut mengendap [11].

Ada tiga faktor penting yang harus dipertimbangkan dalam proses pembuatan komposit yang diperkuat partikel, antara lain :

1. Penambahan partikel ke dalam logam cair. Semakin banyak partikel yang ditambahkan, menyebabkan peningkatan viskositas (mampu alir logam cair menjadi berkurang) [11].
2. Adanya perbedaan berat jenis partikel dengan logam cair (matriks). Semakin besar perbedaan berat jenis partikel dan matriks akan semakin mudah mengendap [11].
3. Kereaktifan partikel dan logam cair. Pada kasus penguat partikel Al₂O₃ akan bereaksi dengan cairan aluminium membentuk fasa MgAl₂O₄, sedangkan pada kasus penguat partikel SiC akan bereaksi dengan cairan aluminium membentuk fasa Al₄C₃ dan 3Si [11].

Pada proses *stir casting*, adanya gas dan udara di atas permukaan partikel akan mengalami difusi ke dalam logam cair yang menyebabkan terbentuknya oksida. Hal ini akan mengakibatkan partikel-partikel mengelompok dan akan menghambat terbentuknya partikel yang menyebar.

2.6 Pengecoran Aluminium

Pengecoran adalah suatu proses manufaktur yang menggunakan logam cair dan cetakan untuk menghasilkan bagian dengan bentuk yang mendekati bentuk

geometri akhir produk jadi. Logam cair akan dituangkan atau ditekan ke dalam cetakan yang memiliki rongga sesuai dengan bentuk yang diinginkan. Setelah logam cair memenuhi rongga dan kembali ke bentuk padat, selanjutnya cetakan dipisahkan dan hasil cor dapat digunakan untuk proses sekunder.

Proses pengecoran sendiri dibedakan menjadi dua macam, yaitu *traditional casting* dan *non-traditional / contemporary casting*.

Teknik tradisional

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

Sedangkan teknik *non-traditional* terbagi atas :

1. Pengecoran dengan injeksi bertekanan (*High-Pressure Die Casting*).
2. Pengecoran dengan cara diputar (*Centrifugal Casting*).
3. pengecoran dengan sistim suntik (*Injection-Mold Casting*).
4. Pengecoran dengan cetakan keramik (*Investment Casting*).
5. Pengecoran dengan sistim tiup, biasa digunakan untuk cetakan plastik (*Blow-mold casting*).

Perbedaan secara mendasar diantara keduanya adalah bahwa *contemporary casting* tidak bergantung pada pasir dalam pembuatan cetakannya. Perbedaan lainnya adalah bahwa *contemporary casting* biasanya digunakan untuk menghasilkan produk dengan geometri yang relatif kecil dibandingkan bila menggunakan *traditional casting*. Hasil coran *non-traditional casting* juga tidak memerlukan proses tambahan untuk penyelesaian permukaan [3].

2.7 Die Casting

Die casting adalah suatu proses pengecoran dengan menggunakan cetakan logam. Proses *die casting* dapat menghasilkan produk yang lebih baik dibandingkan proses pengecoran lainnya. Hal ini disebabkan karena produk yang dihasilkan

mempunyai sifat-sifat yang sangat baik, seperti dimensi yang sangat presisi, dapat memproduksi masal dan dapat menghasilkan permukaan coran yang halus. Dalam proses *die casting* ada tiga parameter keberhasilan terhadap proses yang dilakukan, yaitu cetakan, mesin *die casting* dan materialnya sendiri. Salah satu keterbatasan *die casting* adalah harga mesin dan cetakan yang mahal. Dasar dari proses *die casting* terdiri dari injeksi logam cair dalam tekanan yang tinggi ke dalam cetakan yang disebut *die* dan dibiarkan membeku. Tipe Mesin *die casting* umumnya berdasarkan besarnya jumlah tekanan yang bisa diinjeksikan ke dalam *dies*. Ukuran mesin berkisar antara 400 tons sampai 4000 tons. Selain dari ukuran, perbedaan yang paling mendasar dalam mesin die casting adalah metode yang digunakan untuk menginjeksikan logam cair ke dalam die [12].

Proses *die casting* mempunyai keunggulan dan kerugian di antaranya sebagai berikut :

Keuntungan *die casting* :

1. Ukuran dan bentuk benda sangat tepat.
2. Jarang menggunakan proses finishing.
3. Baik untuk produksi masal.
4. Waste material rendah.

Kerugian *die casting*

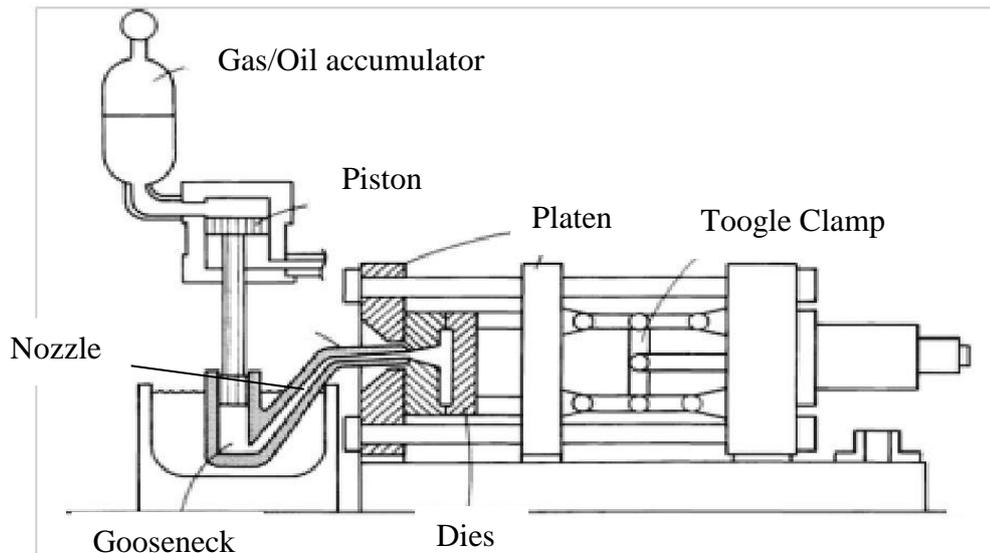
1. Harga mesin dan cetakan mahal.
2. Bentuk benda kerja sederhana.
3. Benda kerja harus segera dikeluarkan.
4. Berat dan ukuran produk terbatas.
5. Umur cetakan menurun seiring pemakaian *dies*.

Berdasarkan prosesnya, *die casting* dikelompokkan menjadi dua jenis, yaitu *hot chamber* dan *cold chamber*.

1. *Hot chamber machine*

Hot chamber machine umumnya digunakan untuk material seng, tembaga, magnesium, dan material lainnya yang memiliki titik lebur rendah yang tidak merusak dan mengikis cetakan, silinder, dan plunger. Mekanisme injeksi dari *hot chamber machine* adalah tungku pencair logam jadi satu

dengan mesin cetak dan silinder injeksi terendam dalam logam cair. Silinder injeksi digerakkan secara pneumatic atau hidrolik. Tungku dihubungkan ke mesin dengan model yang disebut *gooseneck* atau leher angsa. Gambar mesin *hot chamber* diperlihatkan oleh Gambar 2.6 seperti di bawah ini [13].



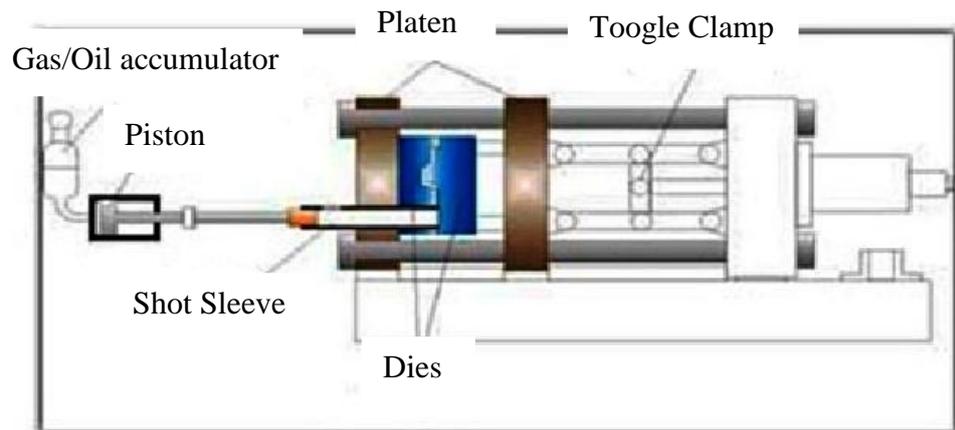
Gambar 2.6. Mesin *Hot Chamber Die Casting* [13].

Proses *hot chamber* memiliki kekurangan, yaitu biaya perawatan sistem yang mahal dan kontaminasi logam cair oleh kontainer atau sebaliknya. Kontak yang terlalu lama antara material cair dan komponen dari mesin *die casting* akan menimbulkan banyak masalah pada proses produksi yang berlangsung. Masalah ini dapat diatasi pada proses kamar dingin (*cold chamber*) dimana sumber logam cair dipisahkan dari mesin selama proses berlangsung. Hal ini memungkinkan material – material yang memiliki titik lebur tinggi seperti paduan aluminium, tembaga, dan beberapa jenis paduan besi yang dapat dicor dengan menggunakan metode ini.

2. *Cold chamber machine*

Cold chamber machine digunakan untuk material alloy yang memiliki titik lebur tinggi seperti aluminium. Logam cair dituangkan ke dalam sistem *cold chamber* atau yang biasa disebut cylinder sleeve atau plunger sleeve

dengan menggunakan gayung manual ataupun otomatis. Kerja hydraulic mendorong plunger tip dan mendorong material masuk ke dalam cetakan dengan tekanan yang tinggi. Berikut ini ditunjukkan tipe *cold chamber die casting* [13].



Gambar 2.7. *Cold Chamber Die Casting* [13].

Proses *Cold Chamber Die Casting* mempunyai keunggulan dan kerugian di antaranya sebagai berikut :

Keuntungan *cold chamber die casting* [13].

1. Tidak terjadi serangan logam panas dari logam cair pada bagian mesin
2. Dapat dioperasikan pada tekanan tinggi
3. Kualitas benda kerja dapat dikontrol

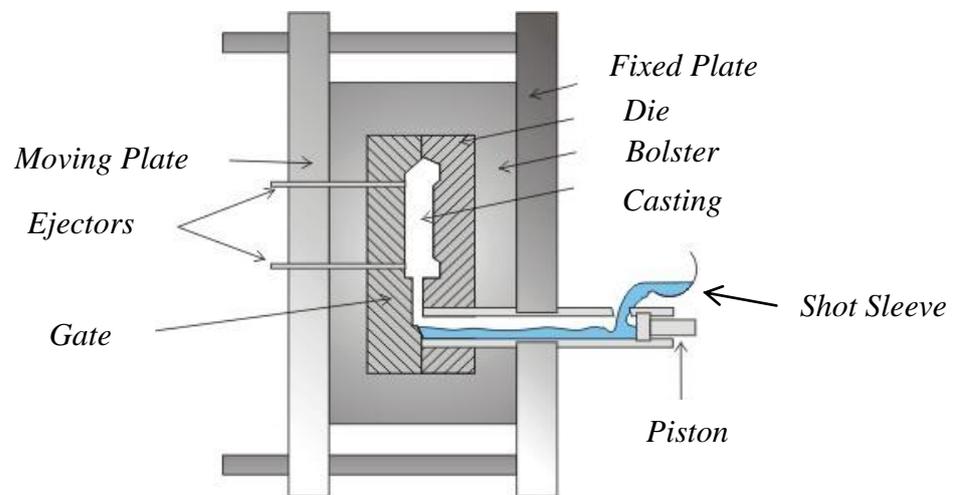
Kerugian *cold chamber die casting* [13].

1. Diperlukan alat bantu
2. Siklus kerja cukup lama
3. Kemungkinan cacat cukup besar

2.7.1 *High Pressure Die Casting (HPDC)*

Proses ini merupakan proses pengecoran dimana logam cair diinjeksikan ke dalam rongga cetakan (*die*) dengan kecepatan dan tekanan tinggi. Tekanan yang diaplikasikan cukup tinggi (dapat mencapai 200 bar), sehingga gas-gas yang

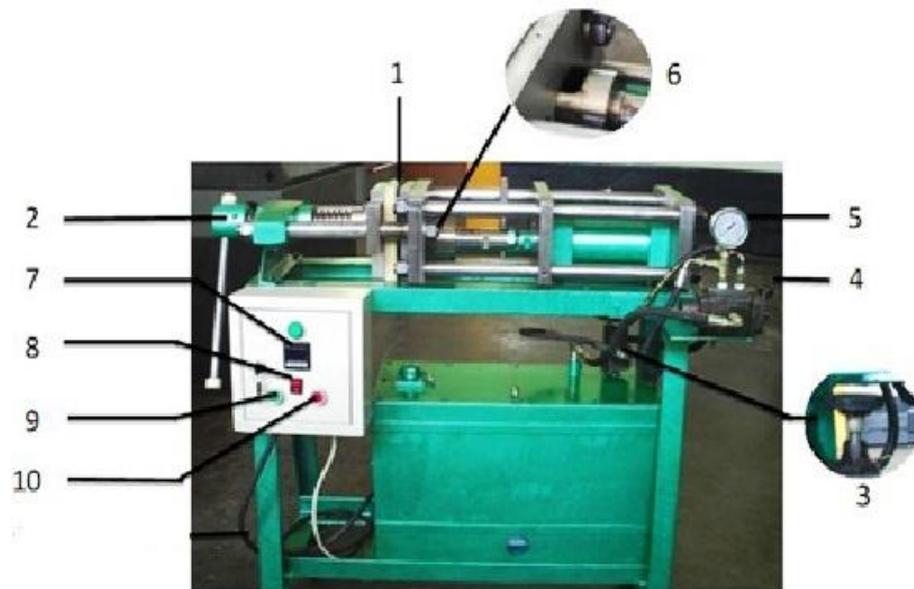
masih terperangkap dalam logam cair dapat keluar pada saat proses injeksi logam cair ke dalam cetakan. Pada umumnya, baik mesin maupun cetakan pada proses *high pressure die casting* ini sangatlah mahal, sehingga proses ini akan bernilai ekonomis untuk proses produksi dalam jumlah besar [14]. Mesin *high pressure die casting* terdiri atas 2 plat vertikal dimana *bolster* ditempatkan untuk menyanggah cetakan. Tampilan skematis pengecoran HPDC dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8. Tampilan Skematis Pengecoran HPDC [14].

Salah satu plat dapat digerakkan sehingga cetakan dapat dibuka dan ditutup. Sejumlah logam dituang ke dalam *shot sleeve* dan kemudian dimasukkan ke dalam cetakan menggunakan piston yang digerakkan secara hidrolis. Sesaat logam membeku, cetakan terbuka dan benda coran diambil.

Berdasarkan klasifikasinya, maka mesin untuk proses *high pressure die casting* ini dapat dibagikan menjadi dua, yaitu ruang panas (*hot chamber*) dan ruang dingin (*cold chamber*). Perbedaan pokok antara kedua cara tersebut terletak pada penempatan tungku peleburan [14]. High Pressure Die Casting (HPDC) ini digunakan untuk membuat komponen *crank case*, *cover crank case*, *cylinder comp*, *hub*, *flange driven*, *plate oil sparator*, *step holder*, dan *holder cam shaft*. Tampilan alat mesin HPDC dapat dilihat pada Gambar 2.9.

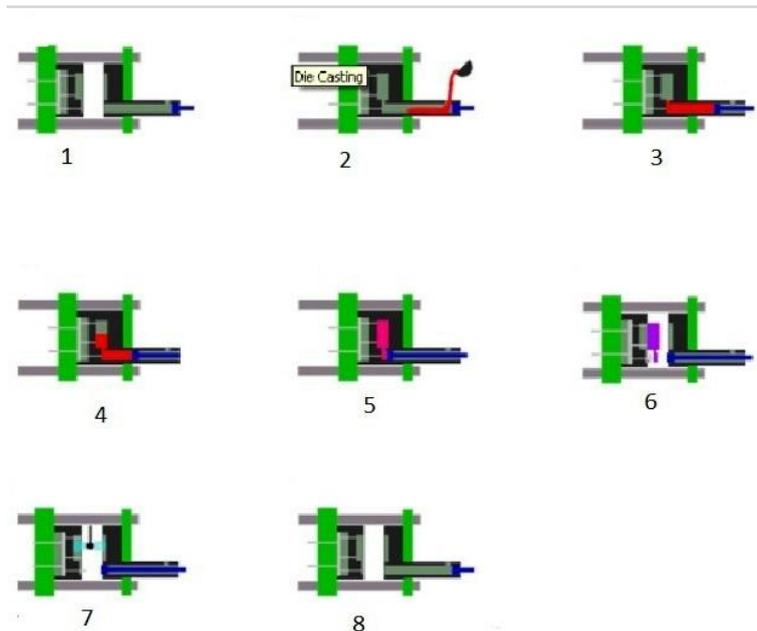


Gambar 2.9. Tampilan Mesin HPDC.

Keterangan :

1. Cetakan
2. Tuas penekan cetakan
3. Katup pengatur tekanan
4. Tuas penekan hidrolik
5. Manometer pengukur tekanan
6. Piston *chamber*
7. *Digital control temperature*
8. Saklar pemanas
9. Tombol ON
10. Tombol OFF

Adapun tahapan pokok proses dalam pembentukan part *high pressure die casting* (HPDC) dapat di gambarkan secara garis besar sebagai berikut :



Gambar 2.10. Siklus Kerja *High Pressure Die Casting*.

Keterangan :

1. *Dies* terpasang di mesin injeksi dan siap untuk produksi. *Dies* dalam kondisi terbuka (*die open*).
2. *Move platen* mesin bergerak maju sehingga menyebabkan *dies* menyatu antara *fix dan move (die close)*. Logam cair dituang ke dalam *plunger sleeve* dengan menggunakan *pouring*.
3. *Piston (plunger tip)* bergerak maju mendorong logam cair ke dalam *cavity* secara perlahan kemudian ditembakkan dengan tekanan tinggi pada jarak tertentu.
4. Logam cair mengisi ruang di *cavity* dengan tekanan tinggi.
5. Logam mengisi penuh ruang kosong yang ada dalam *cavity* membentuk produk sesuai dengan bentuk *cavity* kemudian ditunggu sampai beberapa saat hingga produk membeku.
6. *Dies* membuka dan produk didorong oleh *ejector di move* sehingga mudah diambil.

7. *Dies* disemprot dengan cooling dari luar untuk membersihkan kotoran sekaligus menurunkan suhu di cavity.

8. *Dies* siap untuk siklus berikutnya

Proses pengecoran HPDC memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan bila dibandingkan dengan metode pengecoran yang lain. Kelebihan tersebut di antaranya adalah :

1. Proses pengecorannya yang tidak rumit
2. Hemat dalam pemakaian bahan baku
3. Produk yang dihasilkan memiliki ketelitian dimensi yang tinggi

Sedangkan untuk kekurangannya di antaranya adalah :

1. Pada proses pengecoran ini juga sulit untuk menghasilkan produk yang bentuknya relatif kompleks
2. Biaya yang cukup tinggi karena pada pengecoran ini dibutuhkan cetakan logam yang kuat, mesin penekan hidrolis dengan kapasitas yang tinggi, dan mekanisme pengisian dan penekanan yang serempak.
3. Umur cetakan relatif pendek seiring dengan frekuensi penggunaan.

Pemberian tekanan pada logam cair menyebabkan terjadinya perpindahan panas yang cepat, sehingga akan menghasilkan produk dengan ukuran butir yang halus dan porositas dapat diminimalisir. Struktur mikro produk hasil pengecoran injeksi bertekanan HPDC lebih padat dan homogen apabila dibandingkan dengan pengecoran dengan proses lain [15].

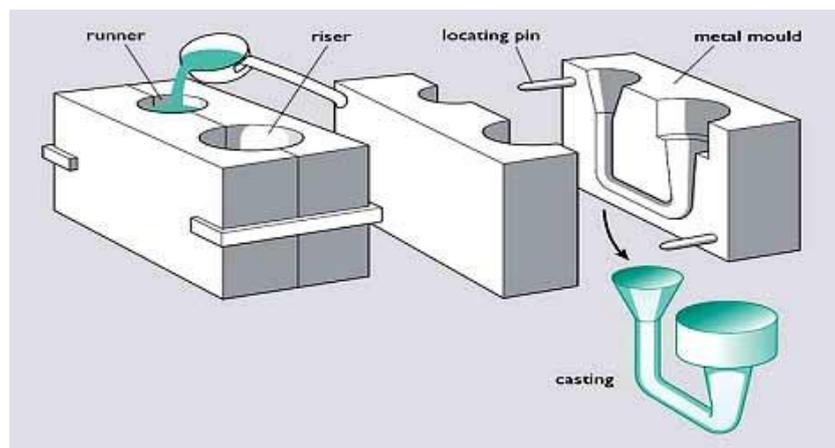
2.7.2 Gravity Die Casting

Gravity die casting merupakan proses pengecoran tertua dan pertama kali ditemukan, Pproses ini merupakan teknik pengecoran menggunakan cetakan logam dimana logam cair masuk kecetakan dengan gaya gravitasi. Umumnya dikenal dengan istilah *permanent mold casting*. Pengecoran dalam cetakan logam dilaksanakan dengan menuangkan logam ke dalam cetakan logam seperti pada pengecoran dengan menggunakan cetakan pasir. Cara ini agak sedikit berbeda dengan *die casting*, tidak dipergunakannya tekanan kecuali tekanan yang berasal dari gaya gravitasi pada saat penuangan.

Proses *gravity die casting* memiliki beberapa keunggulan [16], diantaranya adalah proses ini menghasilkan komponen coran yang hampir merupakan *finished product*, kecepatan produksi yang tinggi serta *die* lebih tahan lama. Produk coran yang dihasilkan yang mempunyai permukaan yang halus, toleransi dimensi yang baik serta sifat mekanis yang tinggi. Proses ini mampu mengecor bagian benda yang tipis. Pengecoran aluminium umumnya menggunakan proses *gravity die casting* karena terdapat banyak paduan aluminium yang dapat dicor dengan proses ini.

Disamping beberapa keunggulan, proses ini juga memiliki beberapa kekurangan, diantaranya :

1. Tidak dapat digunakan untuk semua jenis logam
2. Biaya *tooling* tinggi, harus produksi massal dan tidak sesuai untuk jumlah produksi kecil
3. Membutuhkan *coating* untuk melindungi cetakan
4. Masih cukup sukar untuk coran yang berbentuk rumit
5. Dalam banyak hal, coran besi memerlukan pelunakan. Coran paduan tembaga terbatas pada jenis bahannya dan umumnya mempunyai berat yang terbatas.



Gambar 2.11. Metode Pengecoran Gravitasi [17]

Cara pengecoran yang ditunjukkan pada Gambar 2.11, logam yang dituangkan didinginkan secara cepat oleh cetakan logam. Oleh karena itu beberapa persoalan teknik timbul yaitu bagaimana mengatur proses pembekuan.

Dapat dikatakan bahwa coran yang mempunyai kualitas dan ketelitian tinggi bisa dibuat dengan jalan pengaturan komponen dan temperature logam cair, bahan, ketebalan dinding, bahan pelapis dan temperature dari cetakan. Selain dari itu, dapat ditentukan siklus operasi dengan efisiensi hasil yang tinggi. Berbagai macam sifat dari cetakan logam diperlukan yaitu ketahanan aus yang baik, mampu mesin yang baik, pemuaian termis rendah, ketahanan leleh pada temperature tinggi dan sebagainya. Perlu juga memberikan bahan pelapis permukaan pada cetakan agar memudahkan proses pembebasan cetakan dan mengurangi keausan cetakan serta menurunkan kecepatan pendinginan logam cair sehingga terhindar dari cacat. Bahan yang digunakan untuk cetakan ini adalah besi cor yang mempunyai kualitas baik yang mengandung fosfor dan sedikit belerang. Kalau cetakan ini dikerjakan setelah diadakan pelunakan yaitu untuk menghilangkan tegangan, maka diperoleh cetakan logam yang mempunyai ketelitian tinggi. Umur cetakan umumnya mencapai beberapa puluh ribu kali pengisian kalau dipakai untuk membuat coran dari besi cor.

Bahan anorganik yang bersifat tahan api, seperti tanah lempung atau grafit dipergunakan untuk melapisi permukaan cetakan, tetapi kalau dipakai untuk paduan yang mempunyai titik cair tinggi seperti besi cor, maka lapisan permukaan dan lapisan penyelesaian yang melindungi cetakan logam dan yang berfungsi memudahkan pembukaan haruslah dibuat secara hati-hati sekali.

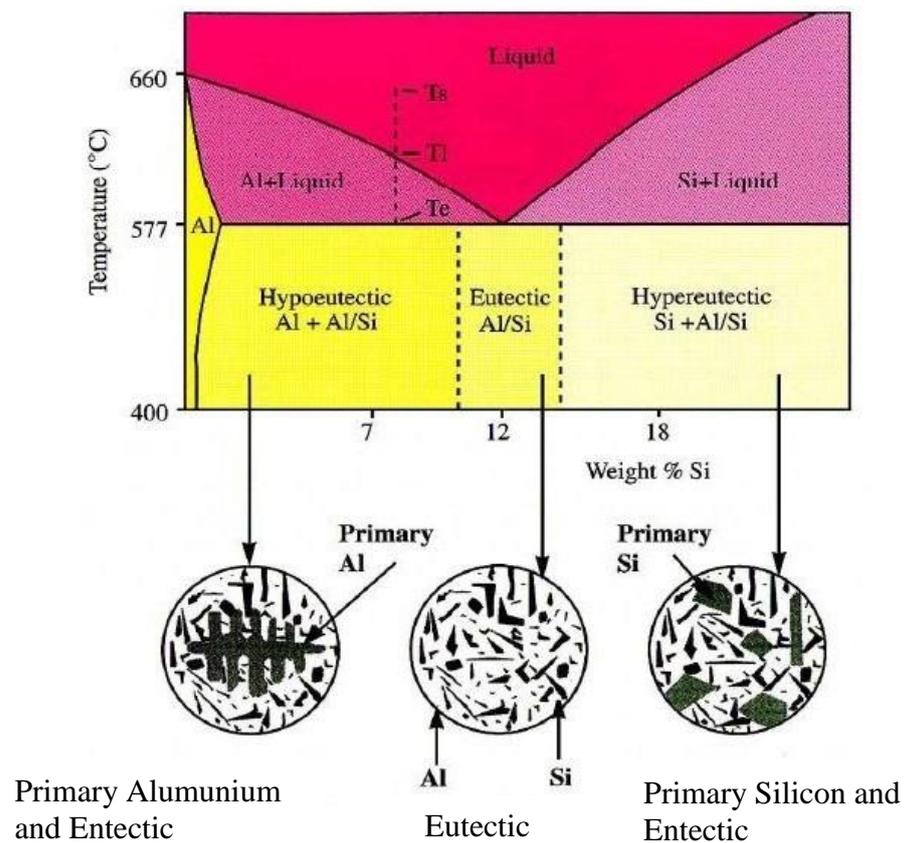
Paduan aluminium yang mempunyai titik cair rendah adalah bahan coran yang paling banyak dipakai untuk membuat coran seperti torak, sudu-sudu, rumah-rumah mesin, dan lain sebagainya.

Banyak paduan tembaga yang mudah retak dan mempunyai kecairan yang jelek. Diantaranya kuningan Muntz dan brons aluminium paling banyak dipakai untuk pengecoran dalam cetakan logam.

Untuk besi cor, transformasi strukturnya sangat dipengaruhi oleh kecepatan pendinginan yang tinggi, sehingga komponen-komponennya sangat berbeda dibandingkan dengan yang dihasilkan oleh pengecoran dalam cetakan pasir. Pertimbangan baik yang berdasarkan percobaan perlu diberikan dalam pengaturan temperature pemanasan dan temperature penuangan mula dari cetakan logam [3].

2.8 Paduan Al-Si

Paduan Al-Si ditemukan oleh A. Pacz tahun 1921. Paduan Al-Si yang telah diperlakukan panas yang dinamakan *Silumin*. Sifat – sifat silumin sangat diperbaiki oleh perlakuan panas dan sedikit diperbaiki oleh unsur paduan. Paduan Al-Si umumnya dipakai dengan 0,15% – 0,4% Mn dan 0,5 % Mg. Paduan yang diberi perlakuan pelarutan (*solution heat treatment*), *quenching*, dan *aging* dinamakan *silumin g*, dan yang hanya mendapat perlakuan aging saja dinamakan *silumin b*. Paduan Al-Si yang memerlukan perlakuan panas ditambah dengan Mg, Cu serta Ni untuk memberikan kekerasan pada saat panas. Bahan paduan ini biasa dipakai untuk piston kendaraan [18].



Gambar 2.12. Diagram fasa Al-Si [20].

Pada diagram fasa Al-Si Gambar 2.12 dapat dibagi tiga daerah yaitu:

1. Daerah *hipoeutektik*

Pada daerah ini terdapat kandungan silikon < 11,7% dimana struktur mikro akhir yang terbentuk pada fasa ini adalah fasa α – aluminium dan eutektik (gelap) yang kaya aluminium yang memiliki kekerasan 90 HB.

2. Daerah *eutektik*

Pada komposisi ini paduan Al-Si dapat membeku secara langsung (dari fase cair ke padat). Kandungan silikon yang terkandung didalamnya sekitar 11.7% sampai 12.2% untuk struktur mikro *eutektik* bisa dilihat pada Gambar 2.12. Material ini memiliki kekerasan 105 HB dan uji tarik 248 MPa sehingga banyak diaplikasikan pada komponen dengan tekanan yang tinggi, seperti: *crank case, wheel hub, cylinder barrel* [19].

3. Daerah *hypereutectic*

Struktur mikro *hypereutectic* menunjukkan Komposisi silikon diatas 12.2% sehingga kaya akan silikon dengan fasa *eutektik* sebagai fasa tambahan dan memiliki kekerasan 110 HB. Contoh *aluminium alloy* jenis ini : AC8H, A.339.

Tipe paduan tergantung pada presentase kandungan silikon, dan akan berpengaruh terhadap titik beku (*freezing point*) yang dipakai pada proses pengecoran aluminium yang bisa dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Kandungan Si berpengaruh terhadap temperatur titik beku paduan aluminium [20].

Alloy	Si conten	BS alloy	Typical freezing range
Low silicon	4 - 6 %	LM4	625 – 525
Eutectic alloys	10 -13 %	LM6	575 – 565
Special hypereutectic alloys	> 16 %	LM30	650 – 505

Stuktur mikro dari paduan aluminium dipengaruhi oleh komposisi, kecepatan pembekuan serta perlakuan panas. Komponen dari stuktur mikro yang mempengaruhi sifat mekanis aluminium tuang adalah :

1. Ukuran, bentuk dan distribusi fasa intermetalik
2. Dendrit arm spacing
3. Ukuran dan bentuk butir
4. Modifikasi *eutektik* dan penghalusan fasa primer

Fasa intermetalik merupakan fasa kedua yang mengendap pada mikro paduan aluminium yang terbentuk akibat dari komposisi kimia melebihi batas kelarutannya. Keberadaan fasa ini dipengaruhi oleh komposisi dan mekanisme pembekuan yang terjadi. Laju pembekuan yang rendah akan menghasilkan fasa intermetalik dan konsentrasi fasa kedua yang kasar pada batas butir. Pembentukan fasa merupakan pengontrolan difusi sehingga semakin cepat solidifikasi dan semakin cepat pendinginan menuju temperatur ruang dari temperatur pembekuan akan menghasilkan tingkat *solid solution* yang tinggi dan dispersi partikel yang lebih halus. Seperti tertulis pada bagian sebelumnya mengenai pengaruh paduan terhadap sifat mekanis, jenis paduan Fe dan Mn memegang peranan penting dalam meningkatkan sifat mekanis yang didasarkan pada struktur mikro. Keberadaan Fe dapat membentuk fasa Al_5FeSi yang getas, sehingga keberadaan fasa ini menurunkan keuletan. Fasa $Al_{15}(Mn,Fe)_3Si_2$ yang berasal dari paduan Mn juga memiliki sifat yang getas dan keras seperti yang dihasilkan oleh Fe. Kedua fasa ini menyebabkan sulitnya proses *machining*. Demikian juga halnya dengan fasa terlarut Mg_2Si , Al_2Cu dan Al_2CuMg .

Tujuan penghalusan silikon primer pada paduan aluminium silikon hipereutektik adalah untuk menghilangkan/mengelminasi kristal silikon primer kasar dan besar yang merugikan dalam pengecoran dan *machining*. Silikon primer merupakan bentuk *pre-eutectic* silikon dalam paduan aluminium silikon hipereutektik yang akan memberikan ketahanan aus pada paduan hipereutektik. Silikon primer cenderung mempunyai bentuk morfologi yang berbeda – beda seperti kristal yang besar berbentuk seperti bintang atau dendritik, silikon kompleks yang teratur, poligonal dsb. Untuk mendapatkan ketahanan aus optimum dan *machinability* yang baik dibutuhkan partikel silikon primer yang halus dan terdistribusi merata. Penambahan fosfor dalam bentuk fosfor metalik atau fosfor

yang mengandung senyawa seperti fosfor-tembaga dan fosfor pentaklorida, akan memberikan pengaruh pada distribusi dan pembentukan fasa silikon primer.