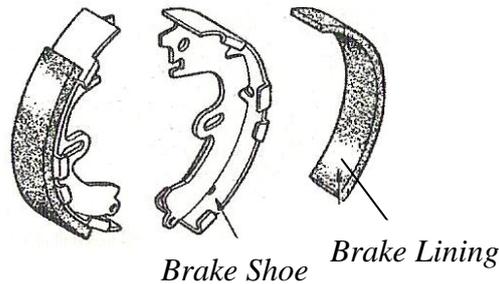


## **BAB II**

### **DASAR TEORI**

#### **2.1 Karakteristik Sepatu Rem**

Sepatu rem merupakan salah satu komponen pada rem dari sepeda motor yang berfungsi sebagai tempat melekatnya kampas rem. Sepatu rem bekerja secara sederhana, akan tetapi merupakan komponen penting dalam sepeda motor karena fungsinya yang cukup vital, yaitu menghubungkan antara komponen master rem yang berhubungan dengan tuas rem yang digerakkan oleh pengendara dengan kampas rem yang akan bergesekan langsung dengan tromol untuk menghentikan laju kendaraan. Karena fungsinya yang cukup penting maka apabila sepatu rem tidak memenuhi spesifikasi gaya pengereman dapat berkurang dan dapat membahayakan pengendara. Bentuk sepatu rem dapat dilihat pada Gambar 2.1.

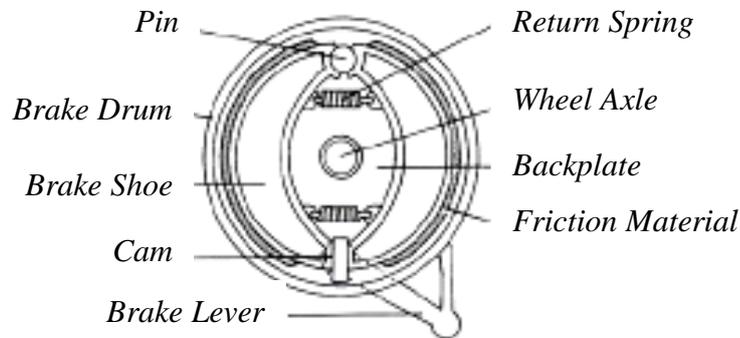


Gambar 2.1. Sepatu Rem [15].

Sepatu rem merupakan komponen yang relatif awet, jarang ditemukan kerusakan terjadi pada sepatu rem, oleh karena itu sepatu rem dibuat dari ADC12, yaitu paduan antara Al-Si. ADC12 digunakan sebagai sepatu rem karena ADC12 memiliki keunggulan sebagai berikut:

1. Cukup ringan.
2. Tahan terhadap korosi.
3. Memiliki konduktivitas termal tinggi.
4. Lunak tapi kuat sehingga tidak merusak tromol rem apabila kampas rem habis.
5. Ulet sehingga tidak mudah retak.

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 [16].

## 2.2 Proses Pembuatan Sepatu Rem

### 2.2.1 Pengecoran Gravitasi

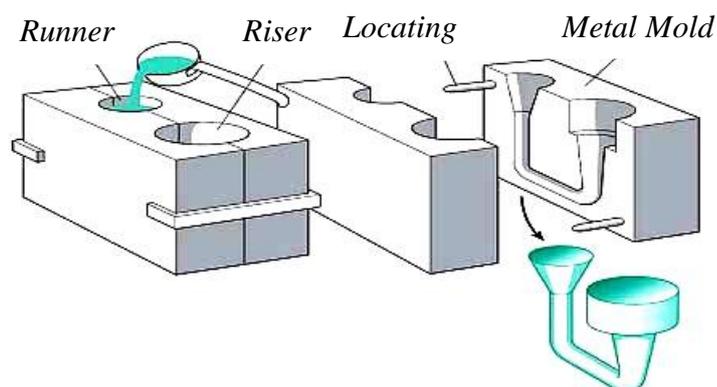
Pengecoran gravitasi adalah pengecoran dimana logam cair yang dituangkan ke dalam saluran cetakan masuk secara gravitasi, sehingga oleh karena tekanan gravitasi cairan logam tersebut mengisi ke seluruh ruang dalam rongga cetakan. Metode pengecoran ini berbeda dengan pengecoran cetak, dimana tidak dipergunakan tekanan kecuali tekanan yang berasal dari tinggi cairan logam dalam cetakan. Sebagai bahan cetakan terutama dipakai baja khusus atau besi cor paduan. Metode ini dapat membuat coran yang mempunyai ketelitian dan kulaitas tinggi. Akan tetapi biaya pembuatan cetakan cukup tinggi sehingga apabila umur cetakan itu dibuat panjang, baru produksi ekonomis mungkin dilaksanakan. Sebagai bahan coran umumnya diambil paduan bukan besi yang mempunyai titik cair rendah seperti paduan aluminium, paduan magnesium, atau paduan tembaga, tetapi akhir-akhir ini pengecoran paduan besi yang mempunyai titik cair tinggi telah dilakukan melalui pengembangan bahan cetakan dan teknik-teknik pengecoran. Keuntungan dan kerugian cara pengecoran gravitasi adalah sebagai berikut:

#### 1. Keuntungan-keuntungan

- a. Ketelitian ukuran sangat baik kalau dibandingkan dengan pengecoran pasir sehingga tambahan ukuran untuk penyelesaian dapat dikurangi. Oleh

karena itu mungkin membuat coran yang lebih ringan. Selanjutnya permukaan coran sangat halus.

- b. Struktur yang rapat dapat dihasilkan dengan cara ini, oleh karena itu sifat-sifat mekanik dan sifat tahan tekanan sangat baik bila dibandingkan dengan coran yang dibuat pada cetakan pasir.
  - c. Mekanisasi dari proses adalah mudah dan produktivitas tinggi apabila dibandingkan dengan cetakan pasir. Cara ini sangat cocok untuk masa produksi.
  - d. Luas lantai untuk pengecoran sedikit dan suasana kerja baik.
2. Kerugian-kerugian
- a. Cara ini tidak sesuai untuk jumlah produksi yang kecil disebabkan tingginya biaya cetakan logam.
  - b. Sukar untuk membuat coran yang berbentuk rumit.
  - c. Pembetulan cetakan logam sukar dan mahal, oleh karena itu perubahan rencana pengecoran adalah sukar. Rencana pengecoran harus cukup dipelajari sebelum pembuatan cetakan logam.
  - d. Dalam banyak hal coran besi memerlukan pelunakan. Coran paduan tembaga terbatas pada jenis bahannya dan umumnya mempunyai berat yang terbatas.



Gambar 2.3. Metode Pengecoran Gravitasi [14].

Dalam cara pengecoran seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3 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 temperatur logam cair, bahan, ketebalan dinding, bahan pelapis dan temperatur 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 lelah pada temperatur 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-cacat. Bahan yang dipergunakan 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 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 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.

Bagi besi cor, transformasi strukturnya sangat dipengaruhi oleh kecepatan pendinginan yang tinggi, sehingga komponen-komponennya sangat berbeda dibanding dengan yang dihasilkan oleh pengecoran dalam cetakan pasir. Pertimbangan baik yang berdasarkan percobaan perlu diberikan dalam pengaturan

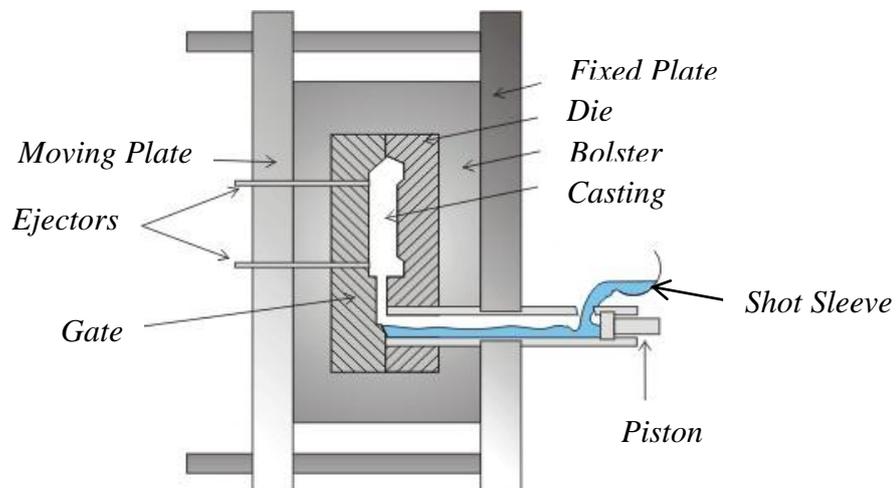
temperatur pemanasan dan temperatur penuangan atau temperatur pemanasan mula dari cetakan logam [12].

### 2.2.2 High Pressure Die Casting (HPDC)

*High pressure die casting* (HPDC) merupakan salah satu jenis dari pengecoran dengan tekanan dimana logam cair dibekukan pada tekanan yang tinggi diantara cetakan (*dies*) dan piston hidrolik pada ruang tertutup. Proses pengecoran ini pada dasarnya mengkombinasikan antara proses pengecoran dan proses penempaan (akibat adanya tekanan).

Parameter utama proses pengecoran dengan tekanan adalah temperatur ruang, temperatur cetakan, tekanan, komposisi logam cairan, dan volume logam cairan [7]. Pengaruh dari masing-masing parameter tersebut akan mempengaruhi terhadap sifat fisik dan mekanik benda yang dicor seperti ukuran butir, porositas, kekerasan, kekuatan tarik, dan adanya *segregasi*.

Pada proses HPDC, logam cair diinjeksikan dengan tekanan tinggi hingga masuk ke dalam cetakan. Tampilan skematis pengecoran HPDC dapat dilihat pada Gambar 2.4. Tekanan yang digunakan biasanya diatas 0,07 MPa, dimana peralatannya terdiri dari dua plat vertikal yang terletak saling berhadapan yang memegang bagian cetakan. Satu plat adalah tetap dan yang lain dapat bergerak sehingga cetakan bisa dibuka dan ditutup.



Gambar 2.4. Tampilan Skematis Pengecoran HPDC [8].

Setelah cetakan dilapisi dengan cairan pelapis untuk menghindari menempelnya produk pada cetakan (*colloidal graphite*), kemudian cetakan dirapatkan dan logam cair dituangkan ke dalam *chamber*, kemudian didorong masuk ke dalam rongga cetakan menggunakan *plunger* yang digerakkan oleh silinder hidrolik. Setelah logam membeku, cetakan dibuka dan selanjutnya produk dikeluarkan dari cetakan menggunakan *pin ejectors*.

Proses pengecoran HPDC mempunyai keunggulan bila dibandingkan dengan metode pengecoran yang lain. Keunggulan tersebut antara lain prosesnya yang tidak rumit, efisien dalam penggunaan bahan baku, dapat menghasilkan produk dengan ketelitian dimensi yang tinggi, dan memiliki potensi yang tinggi untuk digunakan pada dunia industri dengan produksi yang tinggi. Sedangkan kekurangannya yaitu biaya investasi yang cukup tinggi karena pada pengecoran ini dibutuhkan cetakan logam yang kuat, mesin penekan hidrolik dengan kapasitas yang tinggi, dan mekanisme pengisian dan penekanan yang serempak. Selain itu pada proses pengecoran ini juga sulit untuk menghasilkan produk yang bentuknya relatif kompleks.

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 HPDC lebih padat dan homogen apabila dibandingkan dengan pengecoran dengan proses lain [1].

## **2.3 Bahan Sepatu Rem**

### **2.3.1 Aluminium dan Paduannya**

Aluminium merupakan salah satu logam yang berasal dari material Bauksit ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Saat ini penggunaan aluminium sudah sangat luas, diantaranya aluminium banyak digunakan sebagai peralatan rumah tangga, industri otomotif, industri pesawat terbang, konstruksi bangunan, dan sebagainya. Penggunaan aluminium yang cukup luas dikarenakan aluminium memiliki beberapa kelebihan. Sifat yang dimiliki aluminium antara lain:

1. Memiliki ketahanan korosi yang tinggi.

2. Mudah untuk dilakukan proses permesinan.
3. Merupakan logam yang ringan.
4. Memiliki konduktivitas termal dan elektrik yang tinggi.
5. Memiliki keuletan yang tinggi dan mudah dibentuk.

Aluminium banyak digunakan sebagai paduan berbagai logam murni karena tidak kehilangan sifat ringan, sifat-sifat mekanis, maupun sifat mampu cornya yang dapat diperbaiki dengan menambah unsur-unsur lain. Unsur-unsur paduan tersebut antara lain tembaga, silisium, magnesium, mangan, nikel, dan lain sebagainya yang dapat merubah sifat paduan aluminium. Macam-macam unsur paduan aluminium dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

#### 1. Paduan Al-Si

Paduan Al-Si ditemukan oleh A. Pacz tahun 1921. Paduan Al-Si yang telah diperlakukan panas 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*  $\gamma$ , dan yang hanya mendapat perlakuan *aging* saja dinamakan *silumin*  $\beta$ . Paduan Al-Si yang memerlukan perlakuan panas ditambah dengan Mg dan Cu serta Ni untuk memberikan kekerasan pada saat panas [13].

#### 2. Paduan Al-Mn

Mangan (Mn) merupakan unsur yang dapat memperkuat aluminium tanpa mengurangi ketahanan korosi dari aluminium dan dapat digunakan untuk membuat paduan yang tahan terhadap korosi. Paduan Al-Mn dalam penamaan standar AA adalah paduan Al 3003 dan Al 3004. Komposisi standar dari paduan Al 3003 adalah Al, 1,2% Mn, sedangkan komposisi standar Al 3004 adalah Al, 1,2% Mn, 1,0% Mg. Paduan Al 3003 dan Al 3004 digunakan sebagai paduan tahan korosi tanpa perlakuan panas [1].

#### 3. Paduan Al-Mg

Paduan dengan komposisi 2-3% Mg mudah untuk ditempa, dirol, dan diekstrusi, paduan Al 5052 adalah paduan yang biasa dipakai sebagai bahan

tempaan. Paduan Al 5052 adalah paduan yang paling kuat diantara paduan Al-Mg dengan komposisi Mg yang berbeda. Paduan ini digunakan setelah dikeraskan oleh pengerasan regangan (*strain hardening*) apabila diperlukan kekerasan tinggi. Selain paduan Al 5052, padaun Al 5083 yang dianil adalah paduan Al-Mg dengan komposisi 4,5% Mg yang memiliki sifat kuat dan mudah untuk dilakukan pengelasan. Oleh karena ini paduan Al 5083 saat ini banyak digunakan sebagai bahan untuk tangki LNG [13].

#### 4. Paduan Al-Mg-Si

Sebagai paduan Al-Mg-Si dalam sistem klasifikasi AA dapat diperoleh paduan Al 6063 dan Al 6061. Paduan dalam sistem ini mempunyai kekuatan kurang sebagai bahan tempaan dibandingkan dengan paduan-paduan lainnya, tetapi sangat liat, sangat baik mampu bentuknya untuk penempaan, ekstrusi dan sebagainya. Paduan 6063 dipergunakan untuk rangka-rangka konstruksi, karena paduan dalam sistem ini mempunyai kekuatan yang cukup baik tanpa mengurangi hantaran listrik, maka selain dipergunakan untuk rangka konstruksi juga digunakan untuk kabel tenaga [13].

#### 5. Paduan Al-Cu dan Al-Cu-Mg

Paduan Al-Cu-Mg adalah paduan yang mengandung 4% Cu dan 0,5% Mg serta dapat mengeras dalam beberapa hari oleh penuaan, dalam temperatur biasa atau *natural aging* setelah *solution heat treatment* dan *quenching*. Studi tentang logam paduan ini telah banyak dilakukan salah satunya adalah Nishimura yang telah berhasil dalam menemukan senyawa *terner* yang berada dalam keseimbangan dengan Al, yang kemudian dinamakan senyawa S dan T. Ternyata senyawa S ( $Al_2CuMg$ ) mempunyai kemampuan penuaan pada temperatur biasa. Paduan Al-Cu dan Al-Cu-Mg dipakai sebagai bahan dalam industri pesawat terbang [13].

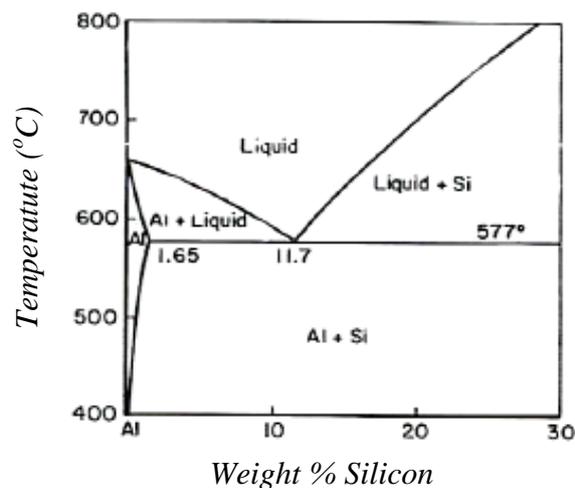
#### 6. Paduan Al-Mn-Zn

Pada awal tahun 1940 Iragashi dan kawan-kawan mengadakan studi di Jepang dan berhasil dalam mengembangkan suatu paduan dengan penambahan 0,3% Mn atau Cr dimana butir kristal padat diperhalus dan mengubah bentuk presipitasi serta retakan korosi tegangan tidak terjadi. Pada saat itu paduan

tersebut dinamakan *ESD* atau duralumin super ekstra. Selama perang dunia ke dua di Amerika Serikat dengan maksud yang hampir sama telah dikembangkan pula suatu paduan yaitu suatu paduan yang terdiri dari: Al, 5,5% Zn, 2,5% Mn, 1,5% Cu, 0,3% Cr, 0,2% Mn yang sekarang dinamakan paduan Al-7075. Paduan ini mempunyai kekuatan tertinggi diantara paduan-paduan lainnya. Penggunaan paduan ini paling besar adalah untuk bahan konstruksi pesawat udara, disamping itu juga digunakan dalam bidang konstruksi [13].

#### 2.4 Bahan Paduan Aluminium Al-Si

Paduan Al-Si merupakan material yang memiliki sifat mampu cor yang baik, dapat diproses dengan permesinan, dan dapat dilas. Paduan Al-Si cocok digunakan pada pengecoran HPDC (*High Pressure Die Casting*). Diagram fasa paduan Al-Si ditunjukkan pada Gambar 2.5 dimana diagram fasa ini digunakan sebagai pedoman umum untuk menganalisa perubahan fasa pada proses pengecoran Al-Si.



Gambar 2.5. Diagram Fasa Al-Si [1].

Jenis paduan Al-Si menurut kandungan silikon sesuai diagram fasa Al-Si terdiri dari 3 macam, yaitu:

##### 1. *Hypoeutectic*

Paduan Al-Si disebut *Hypoeutectic* yaitu apabila pada paduan tersebut terdapat kandungan silikon  $< 11.7\%$  dimana struktur akhir yang terbentuk pada

fasa ini adalah struktur *ferrite (alpha)* yang kaya akan aluminium dengan struktur eutektik sebagai tambahan.

### 2. *Eutectic*

Paduan Al-Si disebut *Eutectic* yaitu apabila pada paduan tersebut terdapat kandungan silikon sekitar 11.7% sampai 12.2%. Pada komposisi ini paduan Al-Si dapat membeku secara langsung (dari fasa cair ke fasa padat).

### 3. *Hypereutectic*

Paduan Al-Si disebut *Hypereutectic* yaitu apabila pada paduan tersebut terdapat kandungan silikon lebih dari 12.2% sehingga kaya akan kandungan silikon dengan fasa eutektik sebagai fasa tambahan. Dengan adanya struktur kristal silikon primer pada daerah ini mengakibatkan karakteristik sebagai berikut:

- a. Ketahanan aus paduan meningkat.
- b. Ekspansi termal rendah.
- c. Memiliki ketahanan retak panas yang baik.

## 2.5 **Heat Treatment (Perlakuan Panas) pada Sepatu Rem**

*Heat treatment* (perlakuan panas) adalah salah satu proses untuk mengubah struktur logam dengan jalan memanaskan spesimen pada elektrik *furnace* (tungku) pada temperatur rekristalisasi selama periode waktu tertentu kemudian didinginkan pada media pendingin seperti udara, air, air garam, oli, dan solar yang masing-masing mempunyai kerapatan pendinginan yang berbeda-beda.

Sifat-sifat logam yang terutama sifat mekanik yang sangat dipengaruhi oleh struktur mikrologam disamping posisi kimianya, contohnya suatu logam atau paduan akan mempunyai sifat mekanis yang berbeda-beda struktur mikronya diubah. Dengan adanya pemanasan atau pendinginan dengan kecepatan tertentu maka bahan-bahan logam dan paduan memperlihatkan perubahan strukturnya.

Perlakuan panas adalah proses kombinasi antara proses pemanasan atau pendinginan dari suatu logam atau paduannya dalam keadaan padat untuk mendaratkan sifat-sifat tertentu. Untuk mendapatkan hal ini maka kecepatan pendinginan dan batas temperatur sangat menentukan.

Tujuan dari *heat treatment* adalah untuk mencapai struktur dan sifat mekanis yang dikehendaki dari bahan tersebut, seperti:

1. Memperbaiki keuletan dan kekuatan material.
2. Mengeraskan logam sehingga tahan aus dan kemampuan memotong meningkat.
3. Mengurangi kebutuhan daya pembentukan dan kebutuhan energi.
4. Menghilangkan tegangan dalam.
5. Memperbesar atau memperkecil ukuran butiran agar seragam.
6. Menghasilkan permukaan yang keras disekeliling inti yang ulet.
7. Mempermudah proses *machining*.
8. Mempersiapkan material untuk pengolahan berikutnya.

### 2.5.1 Age Hardening

*Age hardening* merupakan salah satu cara perlakuan panas pada logam paduan aluminium. Melalui *age hardening*, logam paduan aluminium akan memperoleh kekuatan dan kekerasan yang lebih baik. Paduan aluminium yang dapat diberi perlakuan *age hardening* dibedakan atas paduan aluminium yang dapat dilakukan *age hardening* pada suhu rendah (dingin) dan paduan aluminium yang dapat dilakukan *age hardening* pada suhu tinggi (panas). *Age hardening* berlangsung dalam tiga tahap yaitu:

#### 1. Tahap Pelarutan (*Solution Heat Treatment*)

Tahap pertama dalam proses *age hardening* yaitu *solution heat treatment*. *Solution heat treatment* yaitu pemanasan logam paduan aluminium dalam dapur pemanas (*furnace*) dengan temperatur 550°C - 560°C dan dilakukan penahanan atau *holding* sesuai dengan jenis dan ukuran benda kerja. Pada tahap *solution heat treatment* terjadi pelarutan fasa-fasa yang ada menjadi larutan padat. Tujuan dari *solution heat treatment* yaitu untuk mendapatkan larutan padat yang mendekati homogen [10].

#### 2. Tahap Pendinginan (*Quenching*)

*Quenching* merupakan tahap yang paling kritis dalam proses perlakuan panas. *Quenching* dilakukan dengan cara mendinginkan logam yang telah

dipanaskan dalam dapur pemanas ke dalam media pendingin. Dalam proses *age hardening* logam yang di-*quenching* adalah logam paduan aluminium yang telah dipanaskan dalam dapur pemanas ke dalam media pendingin air. Dipilihnya air sebagai media pendingin pada proses *quenching* karena air merupakan media pendingin yang cocok untuk logam-logam yang memiliki tingkat kekerasan atau *hardenability* yang relatif rendah seperti logam paduan aluminium.

Pendinginan dilakukan secara cepat, dari temperatur pemanas ( $505^{\circ}\text{C}$ ) ke temperatur yang lebih rendah, pada umumnya mendekati temperatur ruang. Tujuan dilakukan *quenching* adalah agar larutan padat homogen yang terbentuk pada *solution heat treatment* dan kekosongan atom dalam keseimbangan termal pada temperatur tinggi tetap pada tempatnya.

Pada tahap *quenching* akan menghasilkan larutan padat lewat jenuh (*super saturated solid solution*) yang merupakan fasa tidak stabil pada temperatur biasa atau temperatur ruang. Pada proses *quenching* tidak hanya menyebabkan atom terlarut tetap ada dalam larutan, namun juga menyebabkan jumlah kekosongan atom tetap besar. Adanya kekosongan atom dalam jumlah besar dapat membantu proses difusi atom pada temperatur ruang untuk membentuk *zona Guinier - Preston (Zona GP)*. *Zona Guinier - Preston (Zona GP)* adalah kondisi didalam paduan dimana terdapat *agregasi* atom padat atau pengelompokan atom padat [13].

### 3. Tahap *Aging*

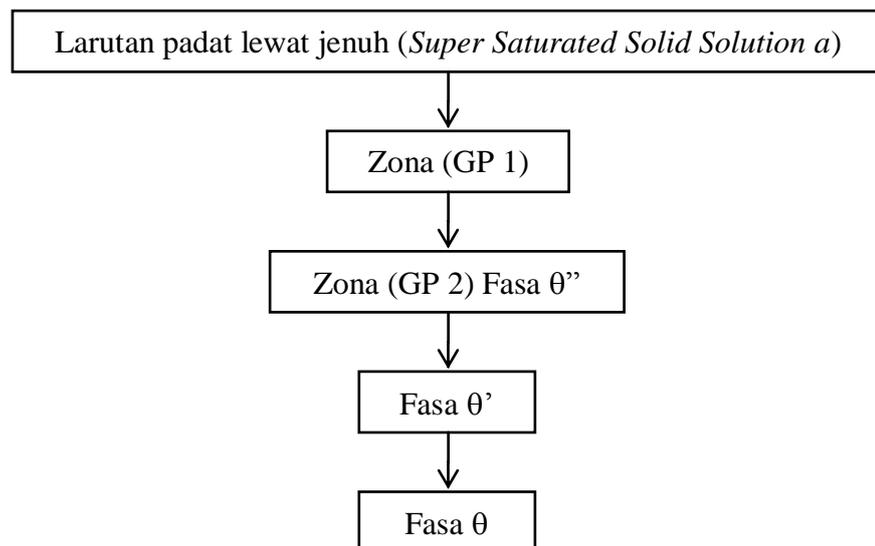
Setelah *solution heat treatment* dan *quenching* tahap selanjutnya dalam proses *age hardening* adalah *aging* atau penuaan. Perubahan sifat-sifat dengan berjalannya waktu, pada umumnya dinamakan *aging* atau penuaan. *Aging* atau penuaan pada paduan aluminium dibedakan menjadi dua, yaitu penuaan alami (*natural aging*) dan penuaan buatan (*artificial aging*).

Penuaan alami (*natural aging*) adalah penuaan untuk paduan aluminium yang diberi perlakuan *age hardening* dalam keadaan dingin. *Natural aging* berlangsung pada temperatur ruang antara  $15^{\circ}\text{C}$  -  $25^{\circ}\text{C}$  dan dengan waktu penahanan 5 sampai 8 hari. Penuaan buatan (*artificial aging*) adalah penuaan

untuk paduan aluminium yang diberi perlakuan *age hardening* dalam keadaan panas. *Artificial aging* berlangsung pada temperatur antara 100°C - 200°C dan dengan lamanya waktu penahanan antara 1 sampai 24 jam [10].

Pada tahap *artificial aging* dalam proses *age hardening* dapat dilakukan beberapa variasi perlakuan yang dapat mempengaruhi hasil dari proses *age hardening*. Salah satu variasi tersebut adalah variasi temperatur *artificial aging*. Temperatur *artificial aging* dapat ditetapkan pada temperatur saat pengkristalan paduan aluminium (150°C), dibawah temperatur pengkristalan atau diatas temperatur pengkristalan logam paduan aluminium [10]. Penuaan buatan (*artificial aging*) berlangsung pada temperatur antara 100°C - 200°C [5].

Pengambilan temperatur *artificial aging* pada temperatur antara 100°C - 200°C akan berpengaruh pada tingkat kekerasan sebab pada proses *artificial aging* akan terjadi perubahan-perubahan fasa atau struktur. Perubahan fasa tersebut akan memberikan sumbangan terhadap pengerasan paduan aluminium. Urutan perubahan fasa pada proses *artificial aging* dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6. Urutan Perubahan Fasa pada Proses *Artificial Aging*.

Penjelasan dari Gambar 2.6 adalah sebagai berikut:

a. Larutan Padat Lewat Jenuh (*Super Saturated Solid Solution  $\alpha$* )

Setelah paduan aluminium melawati tahap *solution heat treatment* dan *quenching* maka akan didapatkan larutan padat lewat jenuh pada suhu kamar. Pada kondisi ini secara simultan kekosongan atom dalam keseimbangan termal pada suhu tinggi tetap pada tempatnya. Setelah pendinginan atau *quenching*, maka logam paduan aluminium menjadi lunak jika dibandingkan dengan kondisi awalnya.

b. Zona (GP 1)

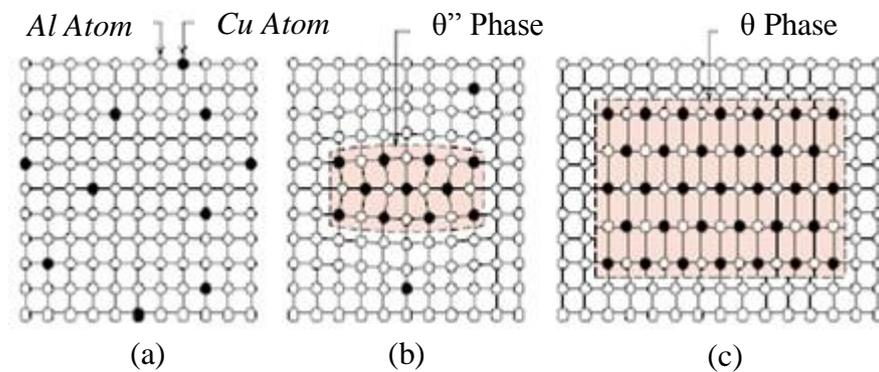
Zona (GP 1) adalah zona presipitasi yang terbentuk oleh temperatur penuaan atau *aging* yang rendah dan dibentuk oleh *segregasi* atom Cu dalam larutan padat lewat jenuh atau *super saturated solid solution*.

Zona (GP 1) akan muncul pada tahap mula atau awal dari proses *artificial aging*. Zona ini terbentuk ketika temperatur *artificial aging* dibawah  $100^{\circ}\text{C}$  atau mulai temperatur ruang hingga temperatur  $100^{\circ}\text{C}$  dan Zona (GP 1) tidak akan terbentuk pada temperatur *artificial aging* yang terlalu tinggi. Terbentuknya Zona (GP 1) akan mulai dapat meningkatkan kekerasan logam paduan aluminium. Jika *artificial aging* ditetapkan pada temperatur  $100^{\circ}\text{C}$ , maka tahap perubahan fasa hanya sampai terbentuknya zona (GP 1) saja. Proses pengerasan dari larutan padat lewat jenuh sampai terbentuknya zona (GP 1) biasa disebut dengan pengerasan tahap pertama [11].

c. Zona (GP 2) atau Fasa  $\theta''$

Setelah temperatur *artificial aging* melewati  $100^{\circ}\text{C}$  ke atas, maka akan mulai muncul fasa  $\theta''$  atau zona (GP 2). Pada temperatur  $130^{\circ}\text{C}$  akan terbentuk zona (GP 2) dan apabila waktu penahanan *artificial aging*nya terpenuhi maka akan didapatkan tingkat kekerasan yang optimal [11]. Biasanya proses *artificial aging* berhenti ketika sampai terbentuknya zona (GP 2) dan terbentuknya fasa antara yang halus (presipitasi  $\theta''$ ), karena setelah melewati zona (GP 2) maka paduan akan kembali menjadi lunak kembali. Jika proses *artificial aging* berlangsung sampai terbentuknya fasa

$\theta''$  atau zona (GP 2), maka disebut dengan pengerasan tahap kedua. Gambar 2.7 menunjukkan terbentuknya kembali fasa keseimbangan pada proses *aging* aluminium-tembaga (Al-Cu) sehingga paduan akan kembali ke fasa awal yaitu  $\theta$  [1]. Gambar 2.7 (a) menunjukkan terbentuknya *super saturated solute solution* setelah proses *quenching*. Gambar 2.7 (b) menunjukkan terbentuknya fasa  $\theta''$  akibat dari perlakuan panas *artificial aging*. Gambar 2.7 (c) menunjukkan terbentuknya fasa  $\theta$  akibat dari penambahan temperatur atau waktu penahanan pada proses *artificial aging*.



Gambar 2.7. (a) *Super Saturated Solute Solution*, (b) Fasa  $\theta''$  Mulai Terbentuk *Precipitate (Al-Cu)*, (c) Fasa Keseimbangan  $\theta$  *Al-Cu*.

d. Fasa  $\theta'$

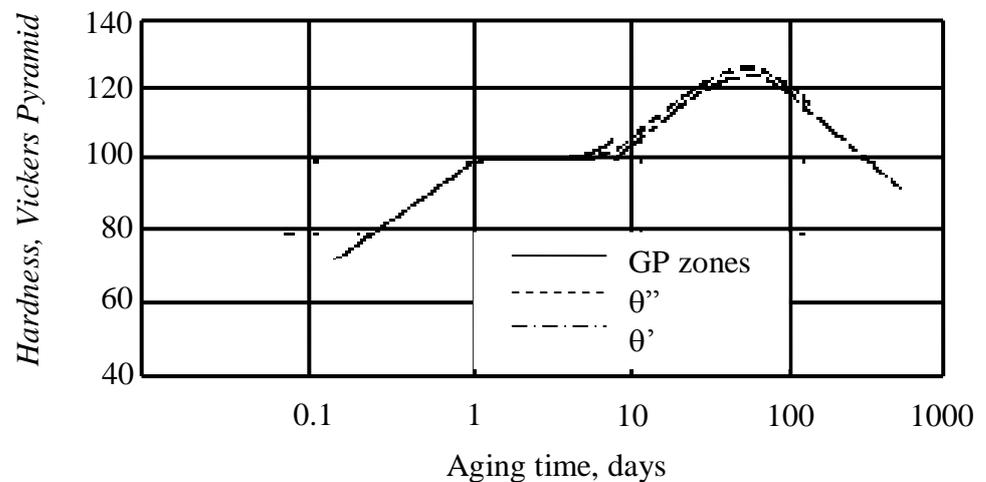
Apabila paduan aluminium dinaikan temperatur *aging* atau waktu *aging* diperpanjang tetapi temperturnya tetap, maka akan terbentuk presipitasi dengan struktur kristal yang teratur yang berbeda dengan fasa  $\theta$ . Fasa ini dinamakan fasa antara atau fasa  $\theta'$ . Terbentuknya fasa  $\theta'$  ini masih dapat memberikan sumbangan terhadap peningkatan kekerasan pada paduan aluminium. Peningkatan kekerasan yang terjadi pada fasa  $\theta'$  ini berjalan sangat lambat.

e. Fasa  $\theta$

Apabila temperatur dinaikan atau waktu penuaan diperpanjang, maka fasa  $\theta'$  berubah menjadi fasa  $\theta$ . Jika fasa  $\theta$  terbentuk maka akan

menyebabkan paduan aluminium kembali menjadi lunak. Sementara waktu penahanan dalam *artificial aging* merupakan salah satu komponen yang dapat mempengaruhi hasil dari proses *age hardening* secara keseluruhan. Seperti halnya temperatur, waktu penahanan pada tahap *artificial aging* akan mempengaruhi perubahan struktur atau perubahan fasa paduan aluminium. Sehingga pemilihan waktu penahan *artificial aging* harus dilakukan dengan hati-hati.

Hubungan antara waktu (*aging*) dengan kekerasan paduan aluminium diawali oleh proses perubahan fasa yang terbentuk pada proses *precipitation hardening* dimana fasa berawal dari *super saturated solute solution*, setelah proses *quenching*. Kemudian paduan akan mengalami penuaan atau munculnya presipitat baru seiring bertambahnya waktu. Hubungan antara waktu (*aging*) dengan kekerasan dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8. Hubungan Antara Lamanya Waktu (*Aging*) dengan Kekuatan dan Kekerasan Paduan Aluminium [11].

Dalam kurva penuaan pada Gambar 2.8, pada awal-awal tahap *artificial aging* struktur atau fasanya masih berupa larutan padat lewat jenuh (*super saturated solid solution*). Seiring dengan penambahan waktu penuaan atau ketika penuaan sampai di daerah *underaged*, maka mulai terbentuk zona *presipitat* zona (GP 1) dan paduan aluminium menjadi agak

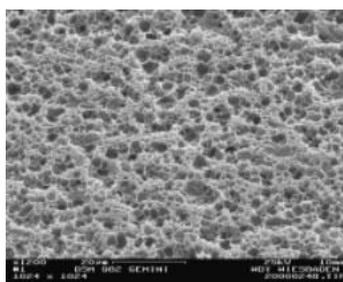
kuat dan keras. Ketika waktu *aging* ditambah lagi maka akan masuk dalam daerah *peak aged*. Pada daerah *peak aged* presipitat mengumpul atau mulai terbentuk zona (GP 2) dan fasa antara yang halus (fasa  $\theta'$ ). Jika fasa-fasa tersebut mulai terbentuk maka akan didapatkan tingkat kekerasan dan kekuatan logam paduan aluminium yang optimal. Apabila setelah mencapai *peak aged* (puncak penuaan) waktu *artificial aging* masih ditambah lagi maka akan masuk dalam daerah *overaged*. Pada daerah *overaged* ini akan didapatkan fasa  $\theta$ , jika fasa  $\theta$  ini terbentuk maka akan menyebabkan paduan aluminium menjadi lunak kembali dan berkurang kekerasannya [11].

## 2.6 Struktur Mikro Aluminium

Aluminium merupakan logam ringan mempunyai ketahanan korosi yang baik dan hantaran listrik yang baik. Dengan penambahan unsur Mg, Cu, Si, Mn, Zn dan Ni secara satu persatu atau bersamaan akan meningkatkan sifat mekanik, ketahanan korosi, ketahanan aus, dan koefisien pemuaian rendah.

Kandungan aluminium yang terdapat di alam berupa senyawa bauksit ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) dan kaolin ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Biji aluminium tersebut masih mengandung pengotor  $\text{SiO}_2$  (bersifat asam),  $\text{FeO}_2$  (basa),  $\text{CaCO}_3$ , dan  $\text{TiO}_8$  sehingga harus dimurnikan dengan zat kimia asam atau basa untuk mendapatkan aluminium murni.

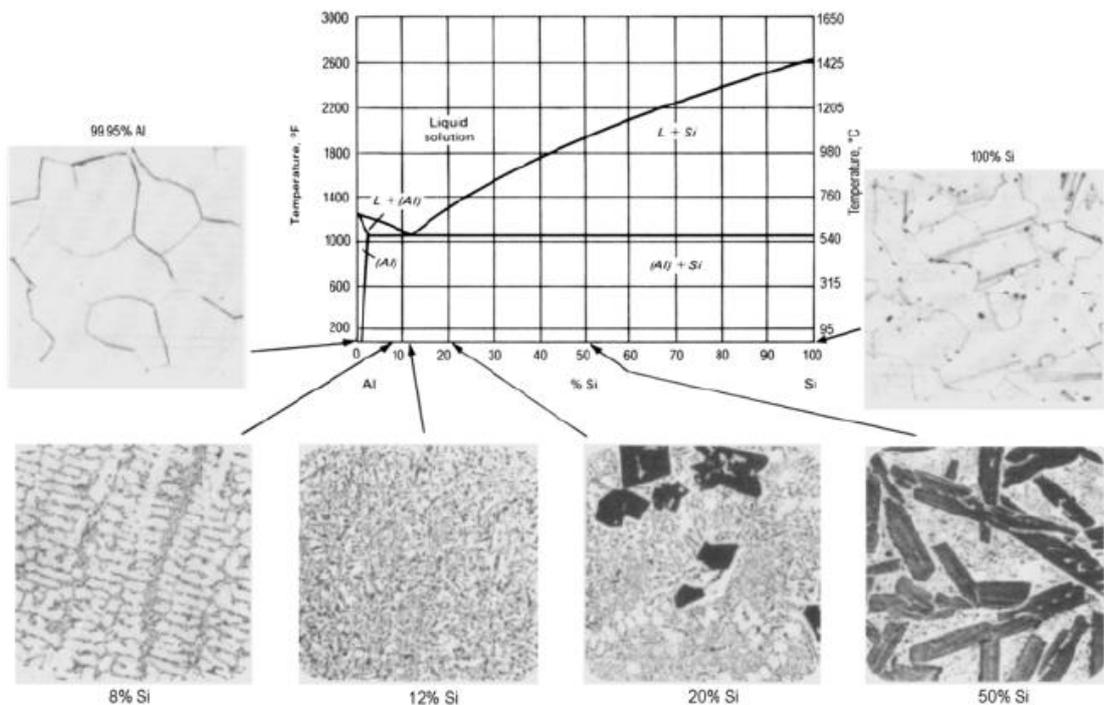
Perlakuan panas pada aluminium berupa pengerasan presipitasi (pengerasan penuaan). Perubahan sifat dengan berjalannya waktu dinamakan penuaan alamiah, sedangkan pada temperatur tinggi disebut penuaan buatan ( $120^\circ\text{C} - 180^\circ\text{C}$ ) [13]. Bentuk struktur mikro aluminium dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9. Struktur Mikro Aluminium [3].

### 2.6.1 Struktur Mikro Paduan Al-Si

Al-Si merupakan jenis dari paduan aluminium. Aluminium-Silikon mempunyai sifat mudah dituang/dicor dan tahan terhadap korosi. Penguatan Al-Si dilakukan dengan cara menambah sejumlah kecil unsur lain, seperti Cu, Mg, atau Fe. Semakin tinggi kandungan besi maka Al-Si akan semakin getas. Pada Gambar 2.10 dapat dilihat beberapa bentuk struktur mikro paduan Al-Si dengan kandungan wt% Si yang berbeda.



Gambar 2.10. Struktur Mikro Al-Si [6].

Al-Si mempunyai karakteristik ringan, *specific-strength* yang baik, konduktivitas termal yang baik, *machineability* yang baik dan tahan terhadap korosi. Paduan Al-Si kompleks biasa digunakan untuk pengecoran *part* komersial serta digunakan dalam industri otomotif, *aerospace*, transportasi, dan pertahanan. *Hypereutectic* Al-Si biasa digunakan untuk membuat piston mesin 2 tak dengan ukuran kecil. *Hypereutectic* adalah daerah atau zona di atas temperatur *eutectic* atau titik cair besi, sedangkan *hypoeutectic* adalah daerah di bawah temperatur *eutectic* [1].