

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini telah terjadi perkembangan teknologi di berbagai bidang, praktis kehidupan manusia modern saat ini tidak pernah lepas dari teknologi. Teknologi yang berkembang dimanfaatkan para pelaku industri untuk mendapatkan keefisienan dan produktivitas yang tinggi yang bisa mengurangi biaya operasi atau ongkos kerja sehingga terpenuhi prinsip ekonomi.

Perkembangan di bidang industri sangat penting terutama dalam industri pengecoran dalam menunjang perekonomian Indonesia. Hal ini disebabkan agar berkurangnya ketergantungan terhadap negara-negara lain, sehingga nantinya Indonesia dapat menghasilkan produk-produk buatan sendiri ataupun untuk di ekspor ke luar negeri. Oleh karena itu industri Indonesia harus berkonsentrasi dalam meningkatkan kualitas produk yang dihasilkan agar nantinya dapat bersaing di pasar global.

Berbagai metode dikembangkan untuk mendapatkan produk pengecoran yang lebih baik dari yang sudah ada salah satunya pengecoran sentrifugal. Pengecoran sentrifugal adalah suatu proses pengecoran yang mana cetakan diputar dan logam cair dituangkan ke dalamnya, sehingga didapatkan gaya sentrifugal akibat pemutaran cetakan hingga logam tersebut mengisi cetakan sampai membeku (Surdia 1986: 3). Dengan memanfaatkan aliran logam cair yang dikenai gaya sentrifugal, hingga logam cair mengalir mengisi rongga cetakan hingga didapatkan bentuk spesimen silinder pejal adalah prinsip dari penelitian ini. Kelebihan dari pengecoran sentrifugal ini antara lain digunakan untuk pembuatan coran berbentuk silinder pejal/poros dengan produktivitas yang tinggi, serta kualitas hasil coran yang baik. Selain itu pengecoran sentrifugal juga dapat menghasilkan benda dengan porositas rendah karena dengan pengaruh gaya sentrifugal mengakibatkan gas-gas yang terkandung pada logam cair bisa keluar seluruhnya sehingga memperkecil terjadinya cacat porositas.

Aluminium adalah salah satu logam yang dapat dicampur dengan unsur-unsur lain dan memiliki banyak pemanfaatannya di dalam permesinan ataupun perindustrian. Seringkali aluminium dapat menggantikan logam lain dengan fungsi yang sama. Hal ini

dikarenakan aluminium mempunyai sifat-sifat ringan, penghantar panas yang baik, dan tahan terhadap korosi. Akan tetapi aluminium memiliki sifat mekanis yang relatif kurang baik dibandingkan dengan logam-logam lainnya, seperti kekerasannya yang relatif masih kalah dibandingkan dengan logam-logam lainnya. Untuk meningkatkan sifat mekanis dari aluminium khususnya pada tingkat kekerasan diperlukan suatu proses yang berbeda. Salah satunya dengan cara mengubah putaran cetakan pada alat sentrifugal yang akan digunakan. Hal ini di karena semakin tinggi kecepatan putar cetakan maka akan dihasilkan angka kekerasan yang semakin tinggi, yang mana orientasi pertumbuhan butir terutama pada bagian dalam mengalami pembelokan arah sesuai dengan arah putaran cetakan sentrifugal dan deformasi butir yang terjadi pada bagian dalam menyebabkan meningkatnya angka kekerasan.

Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi keberhasilan proses pengecoran sentrifugal antara lain: cara penuangan logam cair, kecepatan putar, temperatur penuangan dan kepresisian desain cetakan, serta kemampuan material cor untuk terbentuk sesuai cetakan (Surdia T. 1986:239). Dari faktor tersebut dapat dianalisa sebab-sebab terjadinya kegagalan hasil coran, dan dapat dilakukan tindakan pencegahan untuk meminimalisasi kegagalan hasil coran, sehingga didapat kualitas hasil coran yang baik.

Dalam penelitian ini digunakan aluminium paduan Al-Si-Mg, karena paduan ini termasuk dalam jenis yang dapat diperlaku panaskan dan mempunyai sifat mampu potong, mampu las dan tahan korosi yang cukup. Jika Magnesium dan Silikon dipadukan bersama aluminium, maka akan terbentuk magnesium silikat (Mg_2Si), kebanyakan paduan aluminium mengandung Si, sehingga penambahan magnesium diperlukan untuk memperoleh efek pengerasan dari Mg_2Si . Tetapi sifat paduan ini akan menjadi getas, sehingga untuk mengurangi hal tersebut, penambahan dibatasi antara 0,03% - 0,1% (Heine,1995:320).

Berdasarkan uraian tersebut, maka penulis akan melakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh kecepatan putar pengecoran sentrifugal terhadap kekuatan tarik dan cacat porositas pada poros berbahan aluminium paduan Al-Si-Mg.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, permasalahan yang akan diungkap dalam dalam penelitian kali ini adalah “bagaimana pengaruh kecepatan putar cetakan terhadap

kekuatan tarik dan cacat porositas silinder aluminium (Al-Si-Mg) hasil pengecoran sentrifugal”

1.3 Batasan Masalah

Untuk menjadikan penelitian ini lebih terarah maka penulis akan memberikan batasan-batasan masalah yang meliputi hal-hal berikut ini :

1. Pembahasan difokuskan pada kekuatan tarik dan cacat porositas hasil coran.
2. Temperatur peleburan aluminium hingga 850°C.
3. Proses penuangan logam cair ke dalam cetakan akan dilakukan dengan putaran sebesar 500 rpm; 1000 rpm; 1500 rpm; 2000 rpm; 2500 rpm.
4. Produk coran yang diuji berbentuk silinder pejal.
5. Sifat mekanik yang diteliti adalah kekuatan tarik pada hasil coran.
6. Cacat yang diteliti adalah cacat porositas.
7. Proses pengecoran dikondisikan sesuai dengan standar prosedur pelaksanaan.
8. Hasil coran adalah poros aluminium paduan Al-Si-Mg.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana *pengaruh kecepatan putar cetakan terhadap kekuatan tarik dan cacat porositas silinder Aluminium (Al-Si-Mg) hasil pengecoran sentrifugal?*

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut :

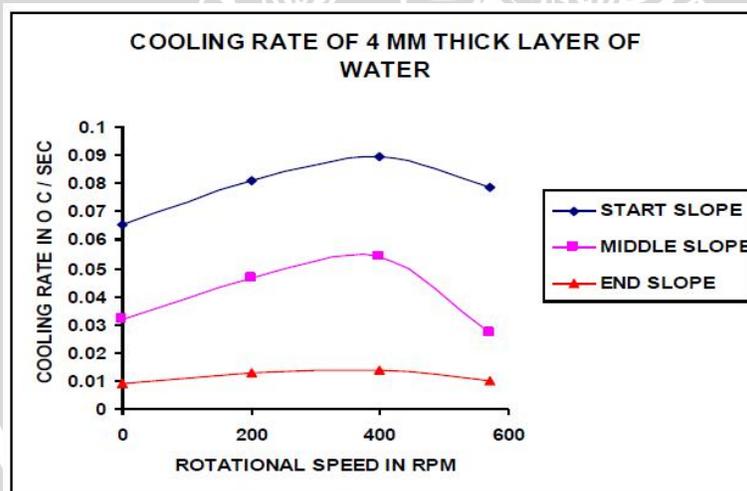
1. Mampu menerapkan teori yang didapatkan selama perkuliahan terutama berkenaan dengan teknologi pengecoran logam.
2. Memberikan masukan yang bermanfaat bagi industri pengecoran logam dalam peningkatan kualitas hasil coran.
3. Memberikan referensi tambahan bagi penelitian lebih lanjut mengenai pengecoran logam.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

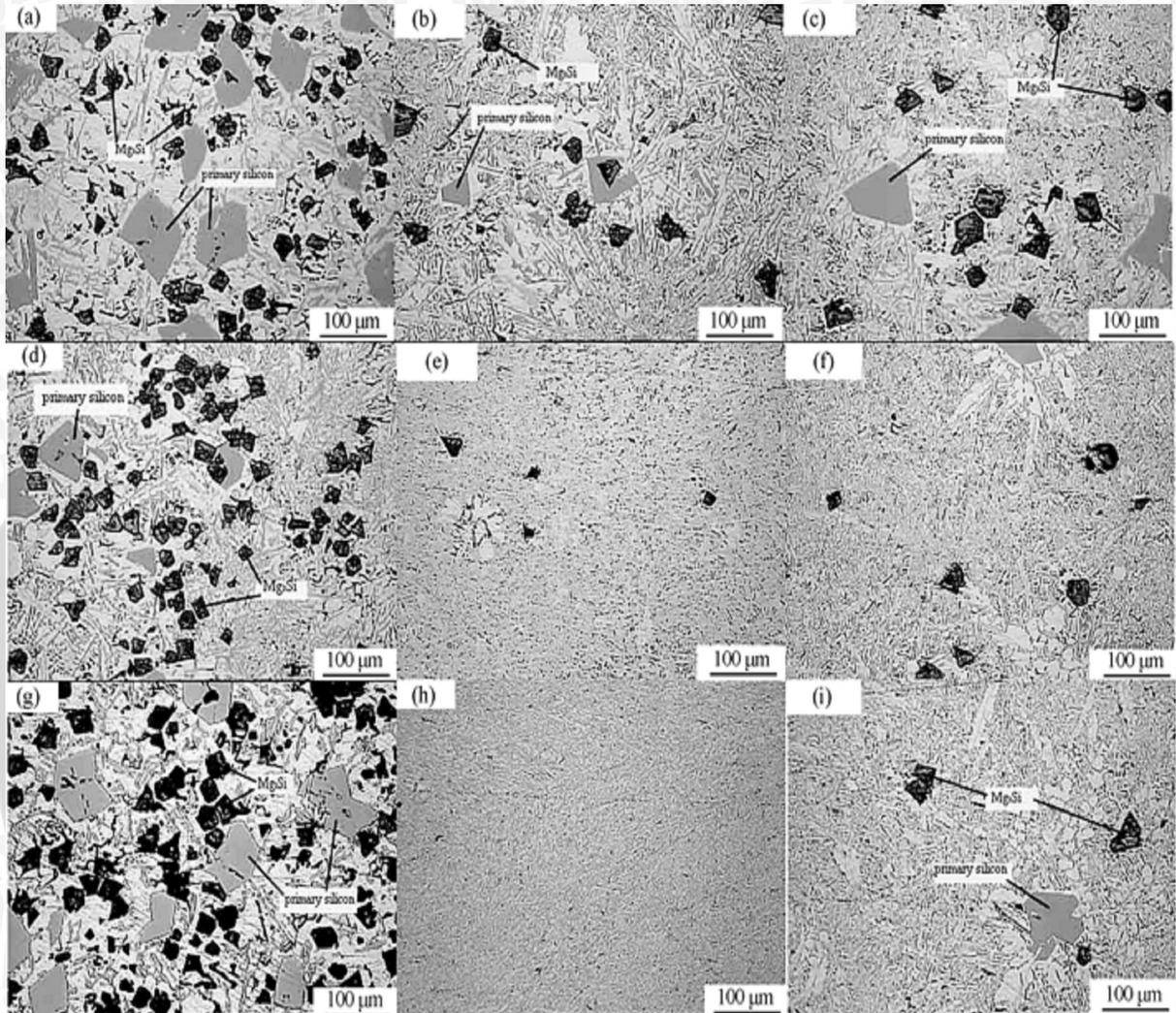
Dari penelitian **Madhusudhan** (2010) yang meneliti dengan memakai variasi kecepatan putar *centrifugal casting* 200 rpm, 400 rpm, 600 rpm dan 800 rpm. Kecepatan putar dari cetakan berperan penting dalam tingkat pendinginan (pembekuan) dari pengecoran. Pada kecepatan sedang (di bawah kecepatan optimal), aliran logam akan turbulenta maka laju pendinginan menjadi lebih cepat. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa sebagai kecepatan rotasi meningkat gaya sentrifugal juga meningkat, yang membuat konveksi kuat di kolam cair, pada kecepatan putar di atas kecepatan optimal, laju pendinginan lebih lambat karena pergerakan relatif diabaikan antara silinder berputar dan cairan panas. Karena pada tahap ini, cairan membentuk lapisan konsentris seragam ke profil cetakan. Hasil ini sangat membantu untuk mengkorelasikan proses pengecoran sentrifugal. Hal ini dapat dilihat pada gambar 2.1



Gambar 2.1: Grafik Variasi temperatu pada berbagai interval waktu
Sumber : Madhusudhan (2010;102)

Dari penelitian **XIE Yong**, dkk“ di dalam penelitiannya menggunakan variasi sebesar 400 rpm, 600 rpm dan 800 rpm. Dengan seiring berubahnya kecepatan, terjadi penyebaran butir silikon primer dan Mg_2Si yang terdistribusi rata dilapisan dalam, tengah dan lapisan luar. Ketika kecepatan sentrifugal meningkat, jumlah Mg_2Si dan silikon

primer semakin meningkat di lapisan dalam, dan penurunan dalam lapisan tengah dan lapisan luar. Terlihat hasil foto struktur metalurgi gambar 2.2 di bawah ini.

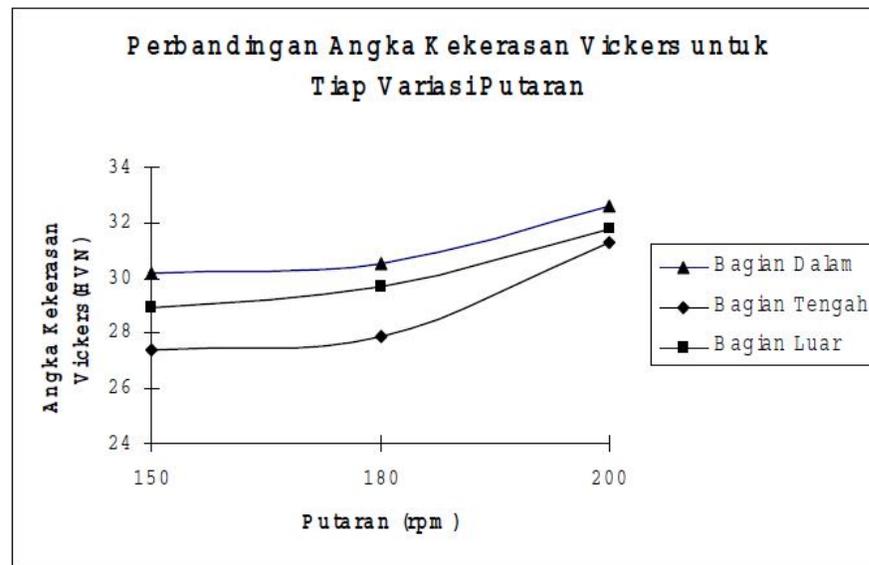


Microstructures of Al-19%Si-5%Mg composites: (a) inner layer, 450 r/min; (b) middle layer, 450 r/min; (c) outer layer, 450r/min; (d) inner layer, 600 r/min; (e) middle layer, 600 r/min; (f) outer layer, 600 r/min; (g) inner layer, 800 r/min; (h) middle layer, 800 r/min; (i) outer layer, 800 r/min.

Gambar 2.2 : Mikrostruktur pada Al-Si-Mg dengan variasi kecepatan yang berbeda.
 Sumber : Xie Yong (2009;408)

Dari proses penelitian oleh **Tjitro Soejono**, dkk.(2004) dengan memakai variasi kecepatan putar cetakan 150 rpm, 180 rpm dan 200 rpm bahwa semakin tinggi kecepatan putar cetakan maka akan dihasilkan angka kekerasan yang semakin tinggi, yang mana orientasi pertumbuhan butir terutama pada bagian dalam mengalami pembelokan arah sesuai dengan arah putaran mesin sentrifugal dan deformasi butir yang terjadi pada

bagian dalam menyebabkan meningkatnya angka kekerasan. Hal ini dapat dilihat pada gambar 2.3



Gambar 2.3 : Grafik Rata-rata Angka Kekerasan Untuk Setiap Variasi Putaran
Sumber : Tjitro Soejono (2004;6)

2.2 Pengecoran Logam

Sejarah pengecoran logam dimulai ketika orang mengetahui hal bagaimana mencairkan logam dan bagaimana membuat cetakan. Hal ini berlangsung kira-kira tahun 2000 SM dan dalam zaman cina kuno semasa YIN, kira-kira 1000 sampai 1500 SM.

Teknik pengecoran Mesopotamia diteruskan juga ke Eropa 1400 sampai 1500 SM. Barang-barang seperti mata baja dan mata tombak dibuat di Spanyol, Swiss, Jerman, Australia, Norwegia, Denmark, Swedia, Inggris dan Perancis. Sedangkan teknik pengecoran India dan Cina diteruskan ke Jepang dan Asia Tenggara, sehingga di Jepang banyak patung Budha yang dibuat antara 600 – 800 SM.

Pengecoran logam merupakan salah satu proses pembentukan logam dengan menggunakan cetakan yang kemudian diisi dengan menggunakan logam cair. Pada proses pengecoran logam bahan baku dicairkan dengan cara memanaskan hingga mencapai titik lebur, kemudian cairan logam ini dituangkan ke dalam rongga cetakan yang telah disediakan sebelumnya. Logam cair di bekukan dengan cara membiarkannya dalam rongga cetakan selama beberapa lama. Setelah logam cair membeku seluruhnya maka cetakan tersebut dapat dibongkar.

Dalam melakukan pengecoran logam melalui beberapa tahap : pembuatan cetakan, persiapan dan peleburan logam, penuangan logam cair ke dalam cetakan, pembersihan coran dan proses daur ulang pasir cetakan. Hasil pengecoran disebut dengan coran atau benda cor.

Ada beberapa keuntungan dari proses pengecoran dibanding proses pembentukan logam lainnya, antara lain :

- Dapat membuat bentuk yang kompleks, baik di bagian luar maupun bagian dalam, sehingga banyak proses yang dapat diminimalisir.
- Dapat digunakan untuk produksi massal.
- Dapat membuat benda dengan ukuran yang sangat besar dan berat.
- Beberapa sifat mekanik yang lebih baik bisa diperoleh dengan proses pengecoran.
- Proses pengecoran dapat digunakan untuk membuat benda-benda dengan bentuk yang paling sederhana hingga bentuk yang paling rumit sekalipun, yang sangat sulit untuk dibuat melalui cara lain seperti proses pemesian, tempa dll.

Sedangkan kekurangan produk pengecoran logam adalah :

- Kurang ekonomis untuk produksi dalam jumlah kecil.
- Permukaan yang dihasilkan umumnya lebih kasar daripada produk pemesian.
- Toleransi kepresisian ukuran harus lebih besar dari pada produk pemesian.

2. 2. 1 Metode Pengecoran Berdasarkan Cetakan

Menurut jenis cetakan yang digunakan proses pengecoran dapat diklasifikasikan menjadi dua katagori :

1. Pengecoran dengan cetakan sekali pakai.

Pada proses pengecoran dengan cetakan sekali pakai, untuk mengeluarkan produk corannya cetakan harus dihancurkan. Jadi selalu dibutuhkan cetakan yang baru untuk setiap pengecoran baru, sehingga laju proses pengecoran akan memakan waktu yang relatif lama. Tetapi untuk beberapa bentuk geometri benda cor tersebut, cetakan pasir dapat menghasilkan coran dengan laju 400 suku cadang perjam atau lebih.

2. Pengecoran dengan cetakan permanen.

Pada proses cetakan permanen, cetakan biasanya di buat dari bahan logam, sehingga dapat digunakan berulang-ulang. Dengan demikian laju proses pengecoran lebih cepat dibanding dengan menggunakan cetakan sekali pakai, tetapi logam coran yang digunakan harus mempunyai titik lebur yang lebih rendah dari pada titik lebur logam cetakan. Pengecoran cetakan permanen menggunakan cetakan logam yang terdiri dari dua bagian untuk memudahkan pembukaan dan penutupannya. Pada umumnya cetakan ini dibuat dari bahan baja atau besi tuang. Logam yang biasa dicor dengan cetakan ini antara lain aluminium, magnesium, paduan tembaga dan besi tuang.

2. 2. 2 Metode Pengecoran Berdasarkan Proses

Berdasarkan prosesnya pengecorannya, maka proses pengecoran dapat dibagi antara lain menjadi:

1. *Pressure Diecasting*

Pengecoran ini termasuk proses pengecoran cetakan permanen dengan cara menginjeksikan logam cair ke dalam rongga cetakan dengan tekanan tinggi (7 sampai 350MPa). Tekanan tetap dipertahankan selama proses pembekuan, setelah seluruh bagian coran membeku cetakan dibuka dan hasil coran dikeluarkan dari dalam cetakan.

2. *Sand Casting* (cetakan pasir)

Cetakannya dibuat dengan cara memadatkan pasir di atas pola. Sehingga ketika pola diangkat akan terbentuk rongga cetakan. Logam cair di tuang ke dalam cetakan, dan setelah membeku cetakannya dapat dihancurkan. Proses ini serbaguna dan biayanya murah serta dapat menggunakan berbagai jenis paduan. Proses ini akurasi dimensinya buruk dan permukaan corannya cenderung kasar. Keuntungannya ada pada fleksibilitas dari jumlah coran, yaitu bisa sedikit atau banyak.

3. *Centrifugal Casting* (Pengecoran Sentrifugal)

Pengecoran sentrifugal dilakukan dengan cara menuangkan lelehan logam ke dalam cetakan yang berputar, hingga produk membeku dan mengeras. Logam itu menempel pada dinding cetakan, dikarenakan adanya gaya sentrifugal cetakan. Pada beberapa jenis *centrifugal casting*, inti digunakan untuk membentuk ruangan di dalam pencetakan. Produk yang didapat dengan cara ini mempunyai sifat-sifat fisik yang

unggul dan ketelitian yang tinggi, dibanding dengan menggunakan cetakan pasir. Proses ini banyak memberikan perkembangan pada industri penecetakan pipa besi.

2.3 Pengecoran Sentrifugal

Proses pengecoran sentrifugal dilakukan dengan cara menuangkan logam cair ke dalam cetakan yang berputar. Di bawah pengaruh gaya sentrifugal benda coran akan padat, permukaan halus dan struktur logam yang dihasilkan mempunyai struktur fisik yang unggul. Umumnya cara ini cocok untuk benda coran yang berbentuk simetris (B.H. Amstead, 1979:118). Cetakan yang digunakan dalam pengecoran sentrifugal yaitu cetakan permanen yang biasanya terbuat dari besi atau baja dan grafit.

Dengan adanya pengaruh gaya sentrifugal maka benda coran akan mengalami pembekuan dan memadat. Pemadatan akan semakin mengecil pada radius yang semakin kecil, karena gaya sentrifugal yang bekerja juga semakin kecil. Adanya penekanan menyebabkan logam cair seakan-akan diperlakukan seperti pada proses tempa, sehingga titik luluh dari benda kerja semakin meningkat. Pada pengecoran sentrifugal logam cair bergerak rotasi sepanjang sumbu horizontal atau vertical, sesuai dengan penerapan hukum II Newton, gaya sentrifugal pada benda yang berputar adalah sebanding dengan radius putar dan kuadrat dari kecepatan putarnya (Zemansky, S. 1985 : 135). Hal ini dapat dilihat dalam persamaan (2-1) di bawah ini.

$$F_c = m \cdot \omega^2 \cdot r \quad (2-1)$$

dengan : F_c = Gaya Sentrifugal (N)

m = massa (kg)

ω = kecepatan sudut (rad/s)

r = radius (m)

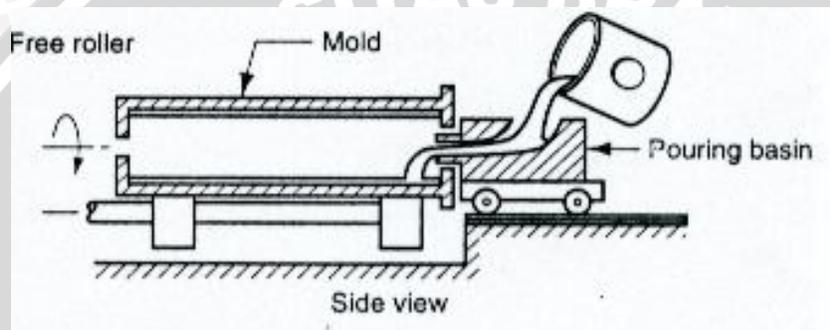
Penggunaan metode pengecoran sentrifugal cukup efektif, mulai dari ring piston yang beratnya hanya beberapa gram hingga rol untuk pabrik kertas dengan berat 30 ton lebih. Dengan adanya gaya sentrifugal memungkinkan dicornya produk yang lebih tipis.

2.3.1 Macam Metode Pengecoran Sentrifugal

Pengecoran sentrifugal dapat dikelompokkan menjadi tiga metode (*P.L Jain, 1979:122*) antara lain :

1. Pengecoran Sentrifugal sejati / *True Centrifugal*.

Dalam pengecoran sentrifugal sejati, logam cair dituangkan ke dalam cetakan yang berputar untuk menghasilkan benda cor bentuk tabular, seperti pipa, tabung, *bushing*, cincin dan lain-lainnya. Pengecoran sentrifugal sejati ditunjukkan pada gambar 2.4 dibawah ini.



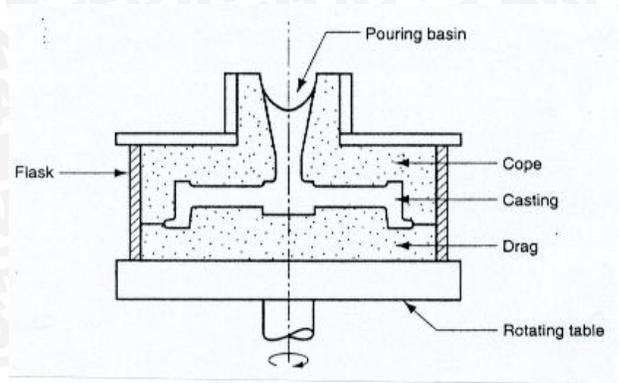
Gambar 2.4: Pengecoran Sentrifugal Sejati

Sumber : Mikell P. Groover 1996 : 365

Dalam gambar 2.4 ditunjukkan logam cair dituangkan ke dalam cetakan horisontal yang sedang berputar melalui cawan tuang (*pouring basin*) yang terletak pada salah satu ujung cetakan. Pada beberapa mesin, cetakan baru diputar setelah logam cair dituangkan. Kecepatan putar yang sangat tinggi menghasilkan gaya sentrifugal sehingga logam akan terbentuk sesuai dengan bentuk dinding cetakan. Jadi, bentuk luar dari benda cor bisa bulat, oktagon, heksagonal, atau bentuk-bentuk yang lain, tetapi sebelah dalamnya akan berbentuk bulatan, karena adanya gaya radial yang simetri.

2. Pengecoran Semi-sentrifugal.

Pada metode ini, gaya sentrifugal digunakan untuk menghasilkan coran yang pejal (bukan bentuk tabular). Cetakan dirancang dengan riser pada pusat untuk pengisian logam cair, seperti ditunjukkan dalam gambar 2.5.

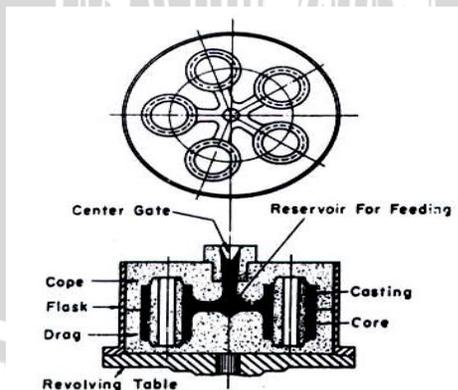


Gambar 2.5 : Pengecoran Semi - Sentrifugal
 Sumber : Mikell P. Groover1996 : 365

Pada proses pengecoran semisentrifugal cetakan di isi penuh dan berputar pada sumbu vertical. Bila diperlukan dapat digunakan penambah atau inti. Bagian tengah dari cetakan biasanya padat, akan tetapi karena tekanan ditengah kurang, strukturnya kurang padat dan mungkin mengandung gelembung udara. Cara ini dapat dimanfaatkan untuk membuat benda dengan lubang ditengah seperti roda. Bagian tengah nantinya diselesaikan dengan pemesinan

3. Sentrifuging.

Dalam pengecoran sentrifuging cetakan dirancang dengan beberapa rongga cetak yang diletakkan disebelah luar dari pusat rotasi sedemikian rupa sehingga logam cair yang dituangkan ke dalam cetakan akan didistribusikan kesetiap rongga cetak dengan gaya sentrifugal, seperti yang ditunjukkan dalam gambar 2.6.



Gambar 2.6 : sentrifuging
 Sumber : E. Paul DeGermo, 1996 : 366

Pada gambar diatas dengan sekali tuang dihasilkan 5 benda cor sekaligus. Metode sentrifuging dapat digunakan baik bentuk simetris maupun bentuk tidak tertentu. Cara ini banyak digunakan dalam bidang kedokteran gigi untuk membuat rahang emas.

2.3.2 Aplikasi Pengecoran Sentrifugal

Contoh komponen yang diproduksi dengan pengecoran sentrifugal terdapat dalam tabel 2.1 dibawah ini.

Tabel 2.1 Aplikasi Pengecoran Sentrifugal

I True Centrifugal		
a) as-cast	Pipe for water and gas Tubing for reformer Radiant tubes Rainwater pipes	Cast iron Heat Resisting Steel Cast Iron
b) machine from pots	Bearing bushes Piston rings Cylinder liners Paper making rollers Gas Turbine Rings Runout rollers	Copper alloys Cast iron Copper alloys Heat resisting steel Carbon steel
II Semi-Centrifugal	Nozzel Boxes	Heat resisting steel
	Gears & gear blanks	Copper alloys, steel
	Pulleys	Steel

Sumber: Beeley, 2001 : 643

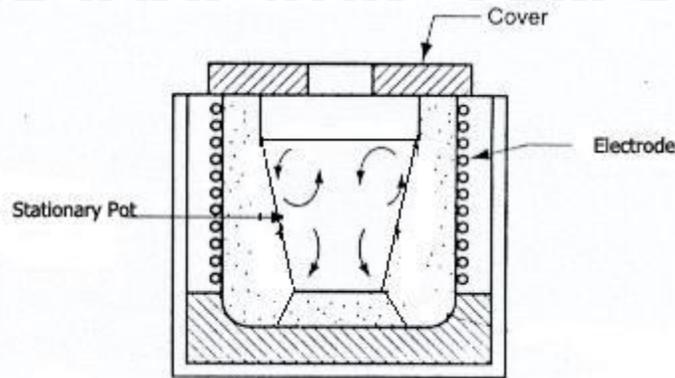
Penggunaan metode pengecoran sentrifugal cukup efektif, mulai dari ring piston yang beratnya hanya beberapa gram hingga rol untuk pabrik kertas dengan berat 30 ton lebih. Dengan adanya gaya sentrifugal memungkinkan dicornya produk yang lebih tipis.

2.4 Proses Peleburan dengan Menggunakan *Electric Arc Furnace*

Tanur Busur Listrik (EAF) adalah peralatan / alat yang digunakan untuk proses pembuatan logam / peleburan logam, dimana besi bekas dipanaskan dan dicairkan dengan busur listrik yang berasal dari elektroda ke besi bekas di dalam tanur.

Ada dua macam arus listrik yang bisa digunakan dalam proses peleburan dengan EAF, yaitu arus searah (*direct current*) dan arus bolak – balik (*alternating current*). Dan yang biasa digunakan dalam proses peleburan adalah arus bolak-balik dengan 3 fase menggunakan elektroda graphite. Salah satu kelebihan EAF dari *basic oxygen furnace* adalah kemampuan EAF untuk mengolah scrap menjadi 100 % baja cair. Menurut survei sebanyak 33% dari produksi baja kasar (*crude steel*) diproduksi menggunakan Tanur busur listrik (EAF). Sedangkan kapasitas produksi dari EAF bisa mencapai 400 ton. Kelebihan lain dari EAF ini adalah energi yang dikeluarkan busur listrik terhadap logam bahan baku sangat besar, menyebabkan terjadinya oksidasi besar pada logam cair. Hal ini menyebabkan karbon yang terkandung di dalam logam bahan baku teroksidasi sehingga kadar karbon dalam logam tersebut menjadi berkurang. Bentuk fisik dari dapur (EAF) ini cukup rendah sehingga dalam hal pengisian bahan bakunya pun sangat mudah. Dalam hal pengoperasiannya pun EAF juga tidak terlalu sulit karena hanya memerlukan beberapa orang operator yang memantau proses peleburan dan penggunaan listrik pada dapur tersebut.

Struktur dari Tanur busur listrik adalah tungku persegi, didalam tanur terdapat kowi tempat meleburnya logam cair, dan tutup tanur yang bisa bergerak menutup dan membuka untuk proses pengisian. Pada dinding tanur beberapa buah lubang yang merupakan dudukan elektroda grafit, yang terdiri dari mekanisme penjepit elektroda. Sedangkan elektroda tidak bertopang pada tutup tanur melainkan bertopang pada rangka tersendiri. Untuk mengurangi rugi kalor (*heat loses*) pada tutup tanur, maka tutup tanur dilapis dengan isolator panas dalam hal ini menggunakan *fiber glass*. Bagian tanur busur listrik dapat dilihat pada gambar 2.7 berikut ini.



Gambar 2.7: Potongan Tanur Busur Listrik
 Sumber : Mikell P. Groover 1996 : 245

2.5 Hasil dari proses peleburan dengan tanur busur listrik

Agar proses peleburan menghasilkan *output* yang baik yang pada akhirnya akan menghasilkan produk coran yang berkualitas baik, maka pada proses peleburan harus memenuhi tuntutan sebagai berikut :

a) Cairan logam yang bersih

Yang dimaksud dengan cairan logam yang bersih adalah bersih secara metalurgi, yaitu bebas dari kotoran-kotoran. Kotoran di sini berupa oksida-oksida dan terak (*slag*), sedangkan elemen lain yang memiliki afinitas tinggi terhadap Oksigen, terdapat hanya dalam jumlah tertentu saja. Cairan semacam ini dapat dikenali dari permukaannya yang bersih. Cairan yang kotor secara metalurgi akan segera membentuk kulit oksidasi yang mewarnai permukaan cairan. Penyebab dari kotoran ini terutama berasal dari bahan baku, yaitu:

- **Karat**
- **Kotoran**
- **Elemen yang mudah teroksidasi**

Cacat yang sangat mungkin muncul akibat kotornya cairan adalah terak terjebak, keropos, gas pada permukaan benda tuang, lubang jarum serta cacat-cacat yang timbul karena pembekuan yang tidak terduga. Cacat-cacat ini menjadi sangat merugikan karena sebagian besar baru akan diketahui pada saat baja tersebut mengalami proses permesinan. Langkah awal dalam menghasilkan cairan logam yang bersih adalah pada pemilihan bahan baku, dimana ditujukan pada :

- Tingkat kemurnian bahan yang mencukupi (sesuai standar). Adanya unsur-unsur asing pada bahan baku yang akan dilebur akan berakibat terhadap kualitas cairan yang dihasilkan. Unsur-unsur asing tersebut ada kalanya akan meningkatkan jumlah kotoran pada proses peleburan.
- Bersih dari karat. Karat merupakan lapisan oksida logam yang menempel pada bahan baku logam ferro. Dengan adanya karat pada bahan baku selain akan menimbulkan terak (*slag*) pada cairan logam, juga akan menimbulkan percikan-percikan cairan logam saat bahan baku logam tersebut akan dimasukkan pada cairan logam dalam tanur yang akan berbahaya bagi operator yang bekerja disekitar tanur.

b) Pencapaian temperatur dan homogenisasi

Tahapan pencapaian temperatur cairan saat proses peleburan dan saat cairan akan dituang harus dicapai dengan tepat karena akan berpengaruh terhadap kemampuan cairan mengisi seluruh rongga cetak dan penyusutan yang terjadi pada benda tuang. Proses homogenisasi yaitu proses perlakuan panas yang ditujukan untuk menghilangkan efek segregasi dan memperbaiki konfigurasi bentuk butir, dengan cara memanaskan untuk jangka waktu yang relatif lama. Homogenisasi cairan harus tercapai agar pembentukan struktur dasar yang direncanakan dapat terbentuk secara merata diseluruh bagian benda tuang.

c) Metoda dan tatanan kerja yang baik

Metoda dan tatanan kerja yang baik berhubungan erat dengan faktor manusia(operator) dan fasilitas yang digunakan yaitu sebagai berikut :

- Kesehatan dan keselamatan kerja

Kesehatan dan keselamatan pekerja merupakan hal yang paling diutamakan sebelum menentukan suatu proses atau langkah yang akan diambil. Langkah yang diambil tidak boleh mengabaikan resiko bagi keselamatan pekerja. Reaksi yang timbul akibat penggunaan bahan tertentu harus diperhitungkan agar dapat diambil langkah pengamanan terhadap keselamatan kerja.

- Langkah kerja yang efisien

Tinjauan sisi ekonomis dan ekologis sangat menuntut tahapan atau langkah yang efisien, agar produk yang dihasilkan menggunakan biaya proses serendah mungkin dan secara ekologis pencemaran lingkungan hidup dapat ditekan serendah mungkin.

d) Harga yang murah

Harga jual benda tuang tentu saja akan sangat dipengaruhi oleh biaya peleburan yang didalamnya termasuk energi, bahan baku dan tenaga kerja. Penghematan energi dapat dicapai melalui perhitungan peramuhan yang akurat serta kedisiplinan dalam pengoperasian tanur. Namun demikian bahan baku yang murah belum tentu menjamin biaya yang rendah. Bahan baku yang murah (dalam arti kata kualitasnya yang tidak pasti) hanya akan memunculkan berbagai permasalahan sehingga pada akhirnya akan menaikkan biaya produksi. Biaya peleburan dapat ditekan melalui :

- Peramuhan benda cor yang tepat.
- Penimbangan bahan baku yang sesuai dengan ramuan.
- Kedisiplinan dalam pengwasan dan pengendalian peleburan (termasuk di dalamnya pencatatan semua data proses peleburan).
- Keteraturan dalam pengelolaan dan penyimpanan bahan baku dan bahan daur ulang.

2.6 Fluiditas

Fluiditas aliran yang lebih dikenal dengan sifat mampu alir adalah kemampuan dari suatu zat (dalam hal ini logam cair) untuk mengalir (berpindah tempat) dan mengisi cetakan sebelum membeku. Sifat ini erat kaitannya dengan kekentalan zat cair itu, semakin tinggi kekentalannya maka sifat mampu alirnya menurun.

Kekentalan logam cair tergantung pada temperatur dimana pada temperatur tinggi kekentalan logam cair menjadi rendah sebaiknya pada temperatur rendah kekentalan logam cairnya menjadi tinggi. Proses pengentalan logam cair akan semakin bertambah cepat kalau logam cair didinginkan, saat pada logam cair terbentuk inti-inti kristal. Juga dapat dikatakan kekentalan logam cair akan bertambah sebanding dengan penambahan inti kristal.

Kalau logam didinginkan maka akan terbentuk inti – inti kristal, maka kekentalannya akan bertambah semakin cepat, tergantung pada jumlah inti – intinya. Makin banyak jumlah inti-inti dari logam maka perubahan kekentalannya akan semakin cepat. Kekentalan yang semakin tinggi menyebabkan cairan logam cair sukar mengalir bahkan kehilangan mampu alirnya. Kekentalan juga tergantung pada jenis logam.

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi fluiditas selain kekentalan, diantaranya adalah temperatur penuangan, komposisi logam dan perpindahan panas yang terjadi pada dinding cetakan. Tingginya temperatur penuangan (ditinjau dari titik cair) akan meningkatkan fluiditas dari logam cair sehingga logam cair dapat mencapai seluruh rongga cetakan tanpa adanya pembekuan dini. Komposisi logam juga mempengaruhi fluiditas, terutama menyangkut mekanisme pembekuan (solidifikasi) logam cair. Fluiditas yang baik terdapat pada logam yang membeku pada temperatur konstan, contohnya pada logam mulia. Saat solidifikasi terjadi pada range temperatur tertentu (terutama logam paduan) dapat terjadi solidifikasi sebagian sehingga menurunkan fluiditasnya. Selain itu komposisi logam juga menentukan *heat of fusion* (kalor laten), yaitu panas yang dibutuhkan logam untuk mencair seluruhnya. Tingginya kalor laten ini akan meningkatkan fluiditas logam cair.

2.7 Pembekuan Logam

Pembekuan logam coran pada rongga cetakan dimulai dari bagian cairan yang bersentuhan langsung dengan dinding cetakan yaitu ketika panas dari logam cair diserap oleh cetakan sehingga bagian yang bersentuhan dengan cetakan menjadi dingin hingga titik beku, dimana pada saat inti kristal mulai terbentuk. Semua logam pada proses pembekuan membentuk kristal, yaitu susunan teratur (*ordered*) atom-atom yang berulang (*repetitive*) dalam suatu ruang. Proses ini dapat dijelaskan sebagai berikut.

Atom logam pada kondisi cair berada dalam posisi tidak teratur. Ketika mulai membeku, atom-atom mulai menyusun diri dalam suatu struktur ruang. Atom yang mula-mula menyusun diri adalah atom yang lebih dahulu stabil. Susunan awal atom disebut inti dan proses pembentukan inti disebut pengintian (*crystallization*). Misalnya, logam dengan kristal FCC, maka untuk membentuk inti diperlukan 12 atom. Setelah terbentuk

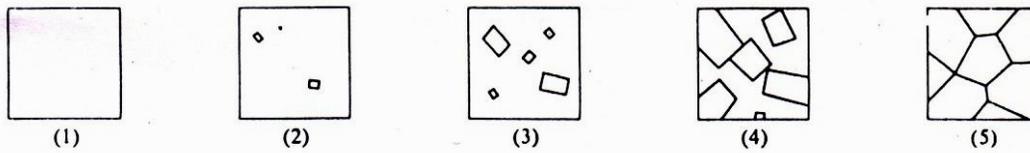
inti, atom-atom lain disekitarnya akan mengikuti inti tersebut, sehingga seolah-olah inti berkembang dan memiliki cabang-cabang yang disebut *dendrite*.

Pada proses pengintian akan timbul banyak inti sehingga banyak pula muncul *dendrite*, yang masing-masing memiliki arah atau orientasi yang berbeda-beda. Dendrit akan berkembang lebih besar sehingga nantinya akan menyinggung *dendrite-dendrite* lain yang juga berkembang. Permukaan singgung ini disebut batas butir (*grain boundary*) sedangkan kristal yang dibatasi oleh batas butir disebut butir.

Jika keadaan memungkinkan (misalnya energi yang tersedia cukup besar), satu butir dapat terus berkembang melintasi batas butir, dalam arti bahwa atom-atom dari butir lain (yang kurang stabil) akan mengikuti orientasi butir tersebut. Apabila keadaan ini berlangsung terus maka pada akhirnya akan terdapat satu butir saja. Jika logam didinginkan dengan lambat, maka *dendrite* memiliki waktu cukup untuk tumbuh, sehingga akan terbentuk butir-butir yang besar. Sebaliknya, pendinginan logam secara cepat akan menimbulkan butir-butir yang kecil. Perbedaan ukuran butir menyebabkan perbedaan sifat mekanik.

Pada proses pengecoran, solidifikasi terjadi saat logam cair bersentuhan dengan cetakan, dimana terjadi gradien temperatur yang tinggi, sehingga temperatur bagian luar logam cair lebih rendah dari pada bagian dalam, sehingga inti atom mulai terbentuk dari bagian yang dekat dengan cetakan, lalu berkembang kebagian dalam, dari bentuk kecil lalu membesar sepanjang arah logam cair. Inti tersebut kemudian membentuk butir sepanjang luasan logam cair dan berbentuk kolom-kolom, dan akhirnya memadat seluruhnya.

Ilustrasi pembekuan logam dapat dilihat pada gambar 2.8 berikut :



1. Keadaan cair.
2. Timbul inti.
3. Kristal tumbuh sekeliling inti. Inti baru timbul.
4. Kristal menyentuh tetangganya, menghentikan pertumbuhannya.
5. Pembekuan lengkap menjadi struktur berkrystal banyak.

Gambar 2.8 : Ilustrasi skematis dari pembekuan logam
Sumber : Surdia, T. 1980 : 14

Umumnya terdapat tiga daerah yang terjadi pada pembekuan logam coran, antara lain :

- *chill zone*

Daerah ini berada paling luar yang mana lebih dipengaruhi oleh heat removal. Struktur ini terbentuk pada kontak pertama antara dinding cetakan dengan melt pada saat dituang ke dalam cetakan. Dibawah suhu lebur beberapa inti terbentuk dan tumbuh kedalam cairan. Suhu cetakan yang mulai naik memungkinkan kristal yang membeku menyebar meninggalkan dinding karena pengaruh aliran cairan dan apabila suhu penuangan yang cukup tinggi dimana cairan yang berada ditengah-tengah coran tetap diatas temperatur leburnya sehingga dapat menyebabkan kristal yang dekat dengan daerah tersebut mencair lagi meninggalkan dinding cetakan. Hanya kristal yang berada pada dinding cetakan yang tumbuh menjadi *chill zone*.

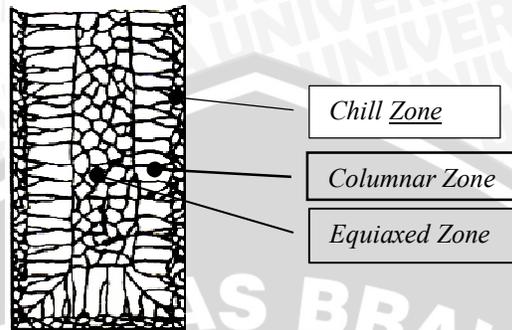
- *Columnar zone*

Columnar zone merupakan yang tumbuh setelah gradien suhu pada dinding cetakan turun dan kristal pada *chill zone* tumbuh secara dendritik dengan arah yang tegak lurus dengan dinding cetakan. Batas permukaan antara struktur kolumnar dengan cairan dapat berbentuk selular maupun selular dendritik.

- *Equaxed zone*

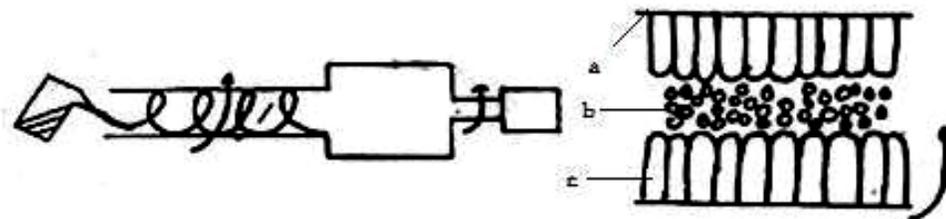
Struktur ini terdiri dari butiran yang bersumbu sama yang arahnya acak. Asal dari butiran ini adalah mencairnya kembali lengan dendrite. Bila suhu disekitar masih tinggi, setelah cabang dendrit tersebut terlepas dari induknya dan

tumbuh menjadi dendrite yang baru. Daerah pembekuan dapat dilihat pada gambar 2.9 berikut ini.



Gambar 2.9 : Struktur *Chill*, *Columnar*, dan *Equiaxed Zone*
 Sumber : Kalpakjian, 1990

Pada pengecoran sentrifugal terjadi struktur campuran yang disebut sebagai mixed struktur yang merupakan kombinasi antara struktur *columnar* dan *equiaxed*. Pengaruh rotasi akibat cetakan diputar baik dengan cara *centrifugal casting* menyebabkan terjadinya struktur *columnar* pada bagian dasar dan struktur *equiaxed* pada bagian tengah (Rusli. R. H. 1995). Daerah pembekuan pada pengecoran sentrifugal dapat dilihat pada gambar 2.10.



Gambar 2.10 : Struktur yang dihasilkan Dengan *Centrifugal Casting*
 (a. *Chillzone*; b. *Equiaxed zone*; c. *Columnarzone*)
 Sumber : Rusli, 1995: 82

2.8 Sifat Fisis Bahan

Material harus memiliki sifat fisis yang baik guna dapat difungsikan dengan baik.

Sifat-sifat fisis tersebut antara lain :

1. Memiliki kepadatan struktur butir yang baik.
2. Tidak terdapat cacat pada material.
3. Memiliki distribusi ketebalan yang merata.

Dalam proses pengecoran terdapat berbagai macam cacat tergantung pada bagaimana keadaanya, sedangkan pada cacat-cacat tersebut berbeda-beda menurut bahan dan macam coran. Cacat tersebut umumnya disebabkan oleh perencanaan bahan yang dipakai dan proses pengecoran.

2.9 Aluminium

2.9.1 Pengolahan Aluminium

Aluminium adalah logam yang paling sering digunakan setelah baja. Logam ini ditemukan pada tahun 1827 oleh seorang kimiawan Jerman Friedrich Wohler. Aluminium tergolong sebagai logam ringan. Logam ringan adalah logam yang berat jenisnya kurang dari 4 kg/dm^3 . Bahan dasar pembuatan aluminium adalah bauksit, yang merupakan kumpulan mineral (tanah tawas, oksida aluminium) dengan imbuhan oksida besi dan asam silikat. Bauksit mengandung 55 – 65 % tanah tawas, 2-28% besi, 12-30 % air dan 1-18 % asam silikat (Ing. Alois Schonmetz, 1985 : 124). Untuk mendapatkan aluminium murni dilakukan proses pemurnian pada bauksit yang menghasilkan oksida aluminium atau alumina. Kemudian alumina ini dielektrolisa sehingga berubah menjadi oksigen dan aluminium. Cara memperoleh aluminium mencakup empat tahap :

- a) Penyiapan bauksit (pelumatan, pencucian, pengeringan, penggerusan)
- b) Penjernihan bauksit menjadi tanah tawas murni (oksida aluminium Al_2O_3) melalui cara Bayer.
- c) Penyerapan zat asam (reduksi) tanah tawas hingga menjadi aluminium mentah melalui elektrolisa lebur dengan kryolith sebagai bahan pelarut (Na_3AlF_6)
- d) Peleburan alih menjadi wujud aluminium murni (99,5 – 99,8 % Al)

2.9.2 Sifat-sifat Aluminium

Aluminium mempunyai beberapa sifat fisik yang ditunjukkan pada Tabel 2.2 berikut:

Tabel 2.2 Sifat-sifat fisik aluminium

Sifat-sifat	Kemurnian Al (%)	
	99,99	>99,99
Massa jenis (Kg / dm^3) (20°C)	2,6989	2,71
Titik cair ($^\circ\text{C}$)	660,2	653 – 657
Panas jenis ($\text{Cal/g.}^\circ\text{C}$) (100°C)	0,2226	0,2297
Hantaran listrik (%)	64,91	59 (dianil)
Tahanan listrik koefisien temperatur ($l / ^\circ\text{C}$)	0,00429	0,0115
Koefisien pemuaian ($\text{M} / ^\circ\text{C}$) ($20\text{-}100^\circ\text{C}$)	$23,86 \times 10^6$	$23,5 \times 10^6$
Jenis kristal, Konstanta kisi	<i>Fcc</i> , $\alpha = 4,013 \text{ kX}$	<i>Fcc</i> , $\alpha = 4,04 \text{ Kx}$

Sumber : T.Surdia dan S.Saito, 1999:134

Sifat-sifat aluminium meliputi :

1. Modulus elastisitas

Modulus elastisitas aluminium rendah, jadi harus dipertimbangkan pada saat bahan tersebut dikerjakan dingin karena adanya *springback* pada saat beban pembentukan dihilangkan. Keburukan yang paling serius dari segi teknik adalah sifat elastisitas aluminium sangat rendah hampir tidak dapat diperbaiki baik dengan pemanduan maupun dengan *heat treatment*.

2. Kekuatan *Creep*

Kekuatan creep aluminium biasanya dibatasi penggunaannya hanya pada temperatur yang rendah. Sebagai contoh untuk campuran jenis 20185-T61 memiliki kekuatan luluh 48000 psi pada temperatur ruang, namun hanya akan memiliki kekuatan luluh 17000 psi pada temperatur 250°C . Kekuatan luluh beberapa campuran yang lain menunjukkan penurunan yang serupa pada temperatur yang sama.

3. Ketahanan korosi

Sifat tahan korosi aluminium diperoleh karena terbentuknya lapisan oksida aluminium pada permukaan aluminium. Lapisan oksida ini melekat pada permukaan yang kuat dan rapat serta sangat stabil. Paduan aluminium tahan terhadap serangan konsentrasi asam nitrit, asam organik, dan asam sulfur. Ketahanan korosi aluminium juga menunjukkan ketahanan yang bagus.

4. Ketahanan aus

Ketahanan aus dari aluminium sangat jelek, hal ini dapat diperkirakan dari harga batas luluh dan kekerasan yang sangat rendah. Sifat ini dapat diperbaiki dengan aluminium dengan logam lainnya seperti Cu.

2.9.3 Paduan Aluminium

Sifat bahan aluminium akan mengalami perbaikan yang signifikan bila dipadukan dengan logam lain. Seperti tembaga, jika dipadukan dengan aluminium maka akan meningkatkan kekerasan pada aluminium. Begitu juga pada magnesium akan meningkatkan kekuatan pada aluminium. Paduan aluminium banyak ragamnya, hal ini lah yang memicu penggunaan aluminium paduan semakin besar dan berkembang di berbagai industry manufaktur. Terutama untuk meningkatkan kekuatan mekanis dari aluminium maka banyak dilakukan pemaduan.

Dalam melakukan pemaduan aluminium dengan unsur lain di usahakan untuk tetap mempertahankan dan memperbaiki sifat aluminium murni, seperti berat jenisnya yang rendah, ketahanan karatnya, daya hantar panas dan listriknya yang baik, kemudahannya untuk diubah bentuk dan kecenderungannya untuk dilas dengan baik (Ing. Alois Schonmetz. 1985 : 128).

Paduan Al diklasifikasikan dalam berbagai standar oleh negara didunia. saat ini klasifikasi yang terkenal adalah *standart aluminium association* di Amerika (AA) yang berdasar pada Alcoa (Aluminium Company of America).

Paduan aluminium berdasar pemuaduanya dibagi menjadi dua yaitu :

1. Paduan aluminium tempa (*Wrought alloy*)

Dibuat dengan jalan *rolling, forming* (paduan tempa), *drawing, forging*, dan *press working* . Berupa barang setengah jadi misalnya batang, plat, dll. Paduan ini dapat diklasifikasikan berdasarkan komposisi kimianya. Klasifikasi paduan aluminium tempa dapat dilihat pada tabel 2.3 dibawah ini.

Tabel 2.3 Klasifikasi paduan aluminium tempa

Standart AA (seri xxxx)	Standart Alcoa Terdahulu	Keterangan
1xxx(1001)	1S	Al murni 99.5% atau lebih
2xxx(1100)	2S	Al murni 99.0% atau lebih
2xxx(2010-2029)	10S-29S	Copper (Cu)
3xxx(3003-3009)	3S-9S	Manganese (Mn)
4xxx(4030-4039)	30S-39S	Silicon (Si)
5xxx(5050-5086)	50S-86S	Magnesium (Mg)
6xxx(6061-6069)	61S-69S	Magnesium dan silicon (Mg ₂ Si)
7xxx(7070-7079)	70S-79S	Zinc (Zn)

Sumber : Surdia, T. 1999 : 134

2. Paduan aluminium cor (*Casting- Aluminium Alloy*)

Dibuat berdasarkan pengecoran (paduan tuang). Paduan ini merupakan paduan yang komplek dari Al dengan Cu, Ni, Fe, Si, dan unsur lainnya. Paduan aluminium cor dapat dilihat pada gambar 2.4 dibawah.

Tabel 2.4 Klasifikasi paduan aluminium coran

Unsur Utama paduan	Seri
Aluminium, 99% atau lebih	1xx.x
Tembaga	2xx.x
Silikon dengan Cu dan/atau Mg	3xx.x
Silikon	4xx.x
Magnesium	5xx.x
Seng	6xx.x
Tin	7xx.x
Elemen lain	8xx.x

Sumber : De Garmo, 1988 : 15

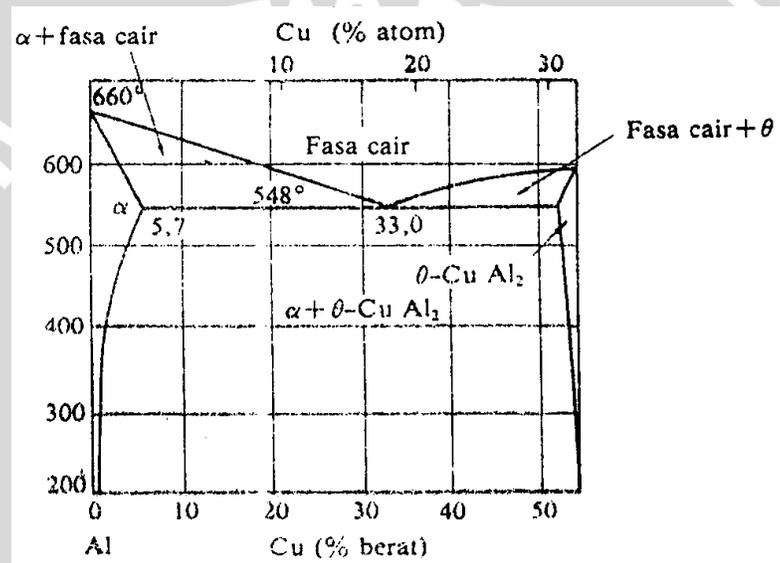
2.9.4 Macam Aluminium Paduan

Logam aluminium dapat dengan mudah dipadukan dengan logam lain. Paduan aluminium yang penting antara lain :

1. Paduan Al-Cu

Jenis paduan Al-Cu adalah jenis yang dapat dilaku panas. Dengan melalui pengerasan endapan/penyepuhan sifat mekanis paduan ini dapat menyamai sifat dari baja lunak tetapi daya tahan korosinya lebih rendah bila dibandingkan jenis

paduan lainnya (R.W. Heine, 1976:294). *Copper* adalah salah satu unsur paduan penting yang digunakan pada Al karena dengan paduan ini akan membentuk *solid-solution strengthening* dan dengan *heat treatment* yang sesuai dapat meningkatkan kekuatannya dengan membentuk *precipitate*. Kelarutan maksimal Cu didalam Al adalah pada kandungan 5,65 % Cu dengan temperatur berkisar 550 °C. Kelarutan Cu akan turun sesuai dengan penurunan temperatur. Pada temperatur ruang batas kelarutan Cu didalam Al adalah kurang dari 0,1 %. Diagram fasa dari Al-Cu dapat dilihat pada gambar 2.11 berikut ini .



Gambar 2.11 : Diagram Fase Al-Cu
Sumber : Surdia Tata, 1995 : 129

2. Paduan AL-Zn

Paduan ini lebih banyak mengandung aluminium dan merupakan paduan yang memiliki ketahanan korosi yang baik. Dalam penggunaannya biasa di aplikasikan untuk konstruksi tempat duduk pesawat terbang, perkantoran dan konstruksi lainnya yang membutuhkan perbandingan antara ketahanan korosi dan berat yang tidak terlalu besar.

3. Paduan Al-Si

Paduan Al-Si adalah paduan yang sangat baik kecairannya yang memiliki permukaan coran yang sangat baik tanpa kegetasan panas. Sebagai tambahan, Si

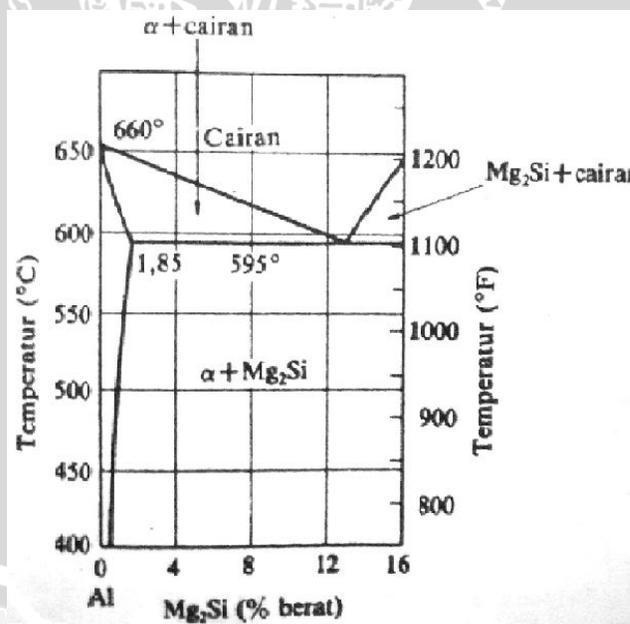
memiliki ketahanan korosi yang baik, koefisien muai yang kecil, penghantar panas yang baik, dan ringan.

4. Paduan Al-Mg

Paduan Al-Mg mempunyai ketahanan korosi yang sangat baik. Biasanya disebut *hidronalium* dan dikenal sebagai paduan yang tahan korosi. Cu dan Fe sangat berbahaya bagi ketahanan korosi, sehingga diperlukan perhatian khusus terhadap unsur pengotor tersebut.

5. Paduan Al-Si-Mg

Paduan Al-Si-Mg merupakan jenis paduan aluminium seri 6xxx, sebagai paduan praktis dapat diperoleh paduan 6053, 6063 dan 6061. Paduan dalam system ini mempunyai kekuatan yang kurang sebagai bahan tempaan dibandingkan dengan paduan-paduan lainnya, sangat liat, sangat baik untuk ekstrusi, dan sangat baik pula untuk diperkuat dengan perlakuan panas setelah pengerjaan. Untuk Diagram Fasa Paduan Al-Si-Mg dapat dilihat pada gambar 2.12 di bawah ini.



Gambar 2.12 : Diagram Fasa Paduan Al-Si-Mg
Sumber : Tata Surdia, pengetahuan bahan teknik (2005:139)

2.10 Pengujian Porositas

2.10.1 Porositas Pada Pengecoran Logam

Porositas dapat terjadi karena ter terbaknya gelembung-gelembung gas pada logam cair ketika dituangkan kedalam cetakan (Budinski, 1996 : 460). Porositas pada produk cor dapat menurunkan kualitas benda tuang. Salah satu penyebab terjadinya porositas pada penuangan logam adalah gas hidrogen. Porositas oleh gas hidrogen dalam benda cetak paduan aluminium akan memberikan pengaruh yang buruk pada kekuatan, serta kesempurnaan dari benda tuang tersebut. Penyebabnya antara lain kontrol yang kurang sempurna terhadap absorpsi gas dengan logam selama peleburan dan penuangan.

Faktor-faktor penting yang berhubungan dengan pembentukan porositas gas antara lain ialah :

- Unsur-unsur gas atau sumber gas yang terkandung dalam paduan.
- Teknik dan kondisi peleburan
- Teknik atau cara pengeluaran gas dari logam cair
- Temperatur logam cair
- Uap air dalam udara
- Permeabilitas cetakan
- Uap air yang terkandung dalam cetakan
- Sumber-sumber gas yang terkandung dalam cetakan
- Bentuk saluran penuangan ataupun kecepatan penuangan

Pada proses penuangan, hidrogen yang larut selama peleburan akan tertinggal setelah proses pembekuan karena kelarutannya pada fase cair lebih tinggi dari pada fase padat. Gas dikeluarkan dari larutan akan terperangkap pada struktur padat. Gas tersebut bernuklasi pada cairan selama pembekuan dan diantara fase padat-cair.

2.10.2 Jenis - Jenis Porositas Pada Pengecoran Logam

Ada dua sumber utama dari porositas dalam logam cor. Pertama, porositas rongga (*cavity porosity*) adalah dalam kaitanya dengan penuangan yang tidak tepat. Kedua,

porositas mikro (*microporosity*) adalah hasil dari mode solidifikasi dalam beberapa paduan (Verhoeven, 1975: 298).

- *Cavity Porosity* (Porositas rongga)

Porositas rongga diakibatkan oleh penuangan tidak tepat dan mungkin saja dihilangkan oleh desain riser yang tepat

- *Microporosity* (Porositas Mikro)

Porositas mikro adalah suatu hasil yang tidak bisa dipisahkan dari sifat pembekuan dari struktur dendritik, dan mungkin saja menyajikan hal yang sama dengan desain riser yang sesuai.

Dua jenis karakteristik porositas mikro yang pertama porositas mikro yang disebarkan dengan seragam ke seluruh bagian, disebut dengan porositas mikro tersebar (*dispersed microporosity*). Di dalam jenis yang kedua yang disebarkan dalam lapisan-lapisan pertemuan bagian, disebut dengan porositas mikro lapisan (*layer microporosity*). Dikarenakan pori-pori ini dimulai dari lokasi interdendritik mungkin diharapkan menjadi sungguh kecil. Ukuran khas 5-10 μm untuk pori-pori di dalam butir *equiaxed zone*. Ukuran ini sangat kecil bahkan pori-pori kadang-kadang sulit untuk dideteksi.

2.11 Perhitungan Porositas

Perhitungan prosentase porositas yang terjadi dapat diketahui dengan membandingkan densitas sampel atau *apparent density* dengan densitas teoritis atau *true density* (Taylor, 2000), yaitu:

$$\% P = \left(1 - \frac{\rho_s}{\rho_{th}}\right) \times 100\% \quad (2-2)$$

Dengan:

$\%P$ = Prosentasi porositas (%)

ρ_s = Densitas sampel atau *Apparent Density* (gr/cm^3).

ρ_{th} = Densitas teoritis atau *True Density* (gr/cm^3).

2.11.1 Densitas

Densitas (simbol: ρ – Greek: rho) adalah sebuah ukuran massa per volum. Rata-rata kepadatan dari suatu obyek yang sama massa totalnya dibagi oleh volume totalnya.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2-3)$$

Keterangan :

ρ = kepadatan sebuah benda (gr/cm^3)

m = massa total benda (gr)

V = volum benda (cm^3)

Macam Densitas

Di dalam pengukuran prosentase porositas yang terdapat dalam suatu coran digunakan perbandingan dua buah densitas yaitu *True density* dan *Apparent Density*.

- *True Density*

Kepadatan dari sebuah benda padat tanpa porositas yang terdapat di dalamnya.

Didefinisikan sebagai perbandingan massanya terhadap volum sebenarnya (gr/cm^3).

persamaan yang ada pada standar ASTM E252-84 yaitu:

$$\rho_{th} = \frac{100}{\left[\frac{\%Al}{\rho_{Al}} + \frac{\%Cu}{\rho_{Cu}} + \frac{\%Fe}{\rho_{Fe}} + \dots \right]} \quad (2-4)$$

Dengan:

ρ_{th} = Densitas teoritis atau *True Density* (gr/cm^3).

$\rho_{Al}, \rho_{Cu}, \rho_{Fe}, \dots$ = Densitas unsur (gr/cm^3).

$\%Al, \%Cu, \dots$ = Prosentase berat unsur (%).

- *Apparent Density*

Berat setiap unit volum material termasuk cacat (void) yang terdapat dalam material yang di uji (gr/cm^3). Standar ASTM B311-93 sebagaimana berikut:

$$\rho_s = \rho_w \frac{W_s}{W_s - (W_{sb} - W_b)} \quad (2-5)$$

Dengan:

ρ_s = Densitas sampel atau *Apparent Density* (gr/cm^3).

ρ_w = Densitas air (gr/cm³).

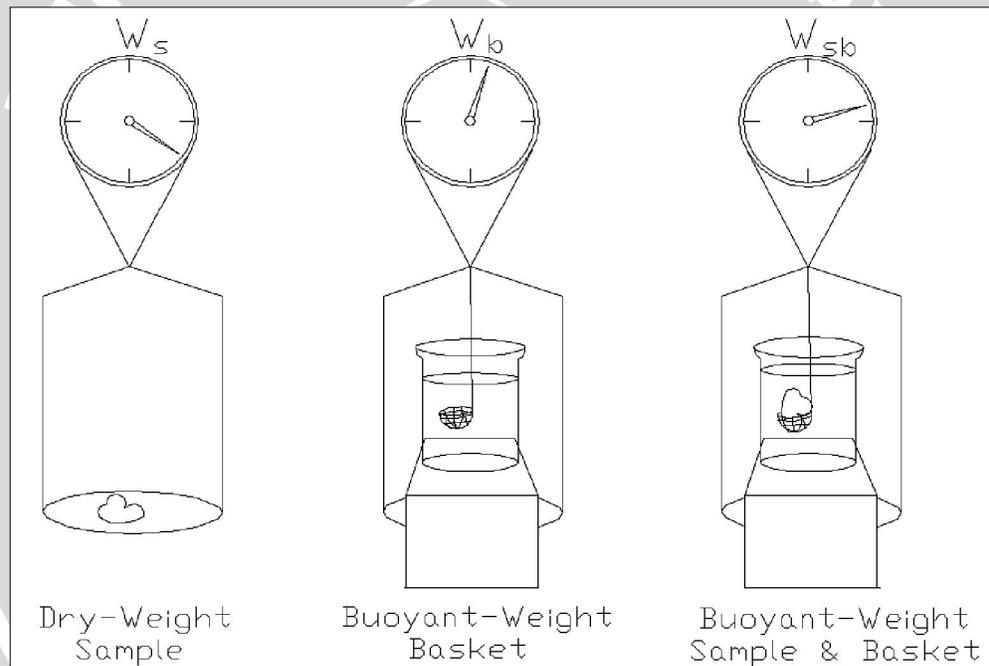
W_s = Berat sampel di luar air (gr)

W_{sb} = Berat sampel dan keranjang di dalam air (gr)

W_b = Berat keranjang di dalam air (gr)

2.11.2 Pengukuran Densitas Menggunakan Metode Piknometri

Piknometri adalah sebuah proses membandingkan densitas relatif dari sebuah padatan dan sebuah cairan. Jika densitas dari cairan diketahui, densitas dari padatan dapat dihitung. Proses dapat digambarkan secara skematik dalam gambar 2.13 berikut ini.



Gambar 2.13 : Skema Piknometri
Sumber : Taylor, et al, 2000

Tiga pengukuran berat yang dibuat adalah W_s = pengukuran berat kering (*dry weight*), W_b = pengukuran berat apung keranjang dan sampel, dan W_{sb} = pengukuran berat apung keranjang. Pada gambar 2.13, pengukuran berat apung dibuat dengan menggantungkan sampel menggunakan suatu keranjang kawat dalam sebuah bejana

berisi cairan yang disangga oleh sebuah penyeimbang yang menggunakan kawat penggantung.

2.12 Pengujian Tarik

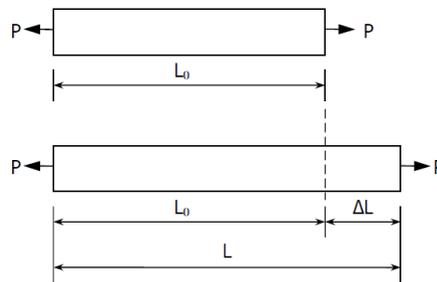
Uji tarik banyak dilakukan untuk melengkapi informasi rancangan dasar kekuatansuatu bahan dan sebagai data pendukung bagi spesifikasi bahan . Pada uji tarik, benda uji diberi beban gaya tarik sesumbu yang bertambah secara kontinyu, bersamaan dengan itu dilakukan pengamatan terhadap perpanjangan yang dialami benda uji (Davis, Troxell, dan Wiskocil,1955).

Tegangan yang dipergunakan pada kurva adalah tegangan membujur rata-rata dari pengujian tarik yang diperoleh dengan membagi beban dengan luas awal penampang melintang benda uji.

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \quad (2-6)$$

Regangan yang digunakan untuk kurva tegangan regangan rekayasa adalah regangan linier rata-rata, yang diperoleh dengan membagi perpanjangan panjang ukur (gage length) benda uji, ΔL , dengan panjang awalnya, L_0 . Ilustrasi pertambahan panjang benda dapat dilihat pada gambar 2.14 dibawah ini.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L - L_0}{L_0} \quad (2-7)$$

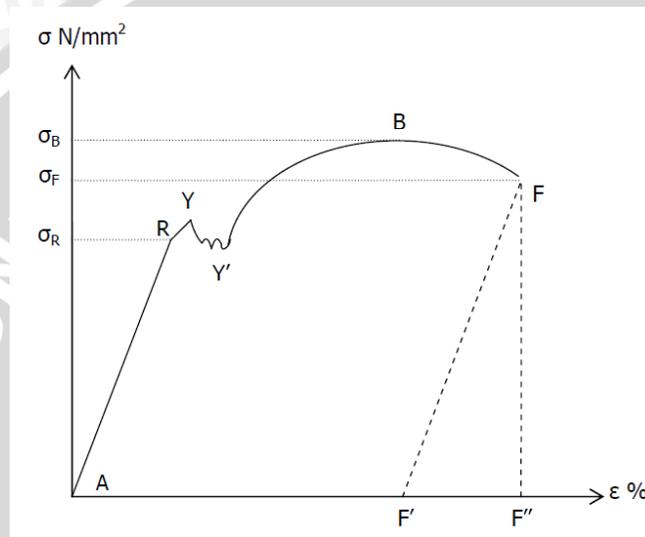


Gambar 2.14 : Benda kerja bertambah panjang ΔL ketika diberi beban P .
Sumber : Material Testing (Zairyoku Shiken). Hajime Shudo. Uchidarokakuho, 1983.

Pada waktu menetapkan regangan harus diperhatikan:

1. Pada material yang lunak sebelum patah terjadi pengerutan (pengecilan penampang) yang besar.
2. Regangan terbesar terjadi pada tempat patahan tersebut, sedangkan pada ujung kedua benda uji paling sedikit meregang.

Kurva tegangan regangan hasil pengujian tarik umumnya tampak seperti pada gambar 2.15



Gambar 2.15 : Diagram Tegangan-Regangan
Sumber : William Nash. Schaum's Outlines, 1998.

Dari gambar tersebut dapat dilihat:

1. AR garis lurus. Pada bagian ini pertambahan panjang sebanding dengan pertambahan beban yang diberikan. Pada bagian ini, berlaku hukum Hooke:

$$\Delta L = \frac{P}{A} \times \frac{L_0}{E} \quad (2-8)$$

dengan: ΔL = pertambahan panjang benda kerja (mm)

L_0 = panjang benda kerja awal (mm)

P = beban yang bekerja (N)

A = luas penampang benda kerja (mm²)

E = modulus elastisitas bahan (N/mm²)

Dari persamaan di atas disubstitusikan ke persamaan (2-7), maka akan diperoleh:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (2-9)$$

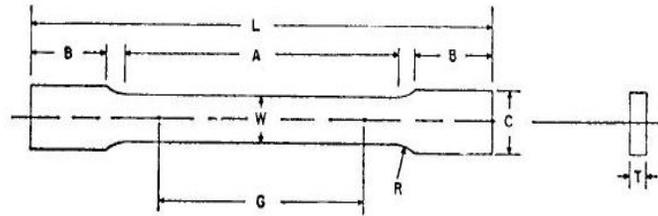
2. Y disebut titik luluh (*yield point*) atas.
3. Y' disebut titik luluh bawah.
4. Pada daerah YY' benda kerja seolah-olah mencair dan beban naik turun disebut daerah luluh.
5. Pada titik B beban mencapai maksimum dan titik ini biasa disebut tegangan tarik maksimum atau kekuatan tarik bahan (σ_B). Pada titik ini terlihat jelas benda kerja mengalami pengecilan penampang (*necking*).
6. Setelah titik B, beban mulai turun dan akhirnya patah di titik F (*failure*).
7. Titik R disebut batas proporsional, yaitu batas daerah elastis dan daerah AR disebut daerah elastis. Regangan yang diperoleh pada daerah ini disebut regangan elastis.
8. Melewati batas proporsional sampai dengan benda kerja putus, biasa dikenal dengan daerah plastis dan regangannya disebut regangan plastis.

Dalam proses pembentukan spesimen uji tarik menggunakan standart ASTM E 8M-00a.

Yang ditunjukkan gambar 2.16 berikut.



ASTM E 8M



Dimensions, mm

Nominal Width	Standard Specimens		Subsize Specimen
	Plate-Type 40 mm	Sheet-Type 12.5 mm	6 mm
G— Gage length (Note 1 and Note 2)	200.0 ± 0.2	50.0 ± 0.1	25.0 ± 0.1
W— Width (Note 3 and Note 4)	40.0 ± 2.0	12.5 ± 0.2	6.0 ± 0.1
T— Thickness (Note 5)		thickness of material	
R— Radius of fillet, min (Note 6)	25	12.5	6
L— Overall length, min (Note 2 and Note 7)	450	200	100
A— Length of reduced section, min	225	57	32
B— Length of grip section, min (Note 8)	75	50	30
C— Width of grip section, approximate (Note 4 and Note 9)	50	20	10

Gambar 2.16 : Standart spesimen uji tarik
 Sumber : ASTM E 8M – 00a

2.13 Hipotesa

Semakin tinggi kecepatan putar maka struktur butiran yang terbentuk akan semakin padat sehingga kekuatan tarik akan semakin meningkat. Dan cacat porositas akan semakin berkurang karena gas yang terjebak didalam cetakan akan terdorong keluar dari logam cair .

BAB III

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian eksperimental nyata (*true experimental research*) yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh kecepatan putar terhadap kekuatan tarik dan cacat porositas poros aluminium *Al-Si-Mg* hasil pengecoran sentrifugal. Dengan asumsi variabel yang lain konstan. Kajian literatur dari berbagai sumber baik dari buku, jurnal yang ada di perpustakaan maupun dari internet juga dilakukan untuk menambah informasi yang diperlukan.

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Tempat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- Laboratorium Pengecoran Logam, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Brawijaya.
- Laboratorium Proses Produksi I, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Brawijaya.
- Laboratorium pengujian bahan, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Brawijaya.

3.2 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan sebelum penelitian. Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini adalah kecepatan putar sebesar 500 rpm; 1000 rpm; 1500 rpm; 2000 rpm; 2500 rpm.

2. Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang besarnya bergantung dari variabel bebas. Variabel terikatnya yaitu :

- a. Besar kekuatan tarik benda hasil coran (N/mm^2).
- b. Besar porositas benda hasil coran (%).

3. Variabel terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya dikonstantakan. Dalam hal ini yang menjadi variabel terkontrol adalah :

- a. Temperatur penuangan : $850^{\circ}C$

- b. Waktu putar cetakan : 120 detik

3.3 Peralatan dan Bahan yang Digunakan

3.3.1 Peralatan yang digunakan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a) Selama proses pengecoran logam
 1. Mesin pengecoran sentrifugal.
 2. Dapur pengecoran logam.
 3. *Tachometer* untuk mengukur kecepatan putar cetakan.
 4. Cawan tuang (ladel).
 5. *Infrared thermometer* digital.
 6. *Stop watch*.
 7. Obeng.
 8. Palu.
- b) Untuk pengujian kekuatan tarik
 1. Mesin uji tarik
- c) Untuk pengujian porositas
 1. Timbangan digital
 2. Ember
 3. Keranjang

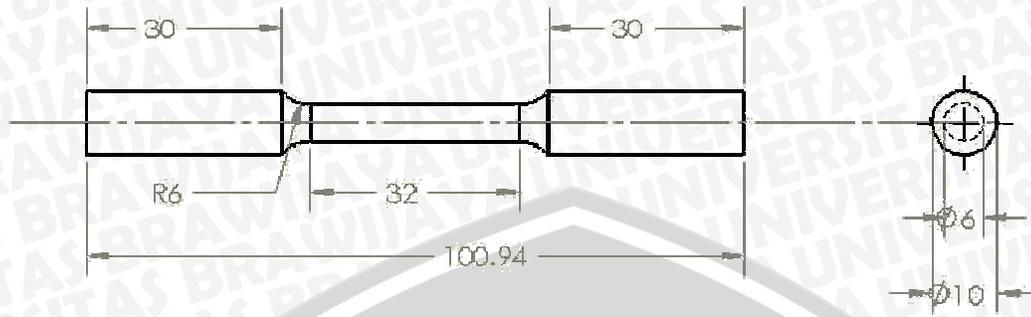
3.3.2 Bahan yang digunakan

Bahan spesimen yang digunakan adalah Aluminium paduan Al-Si-Mg dengan komposisi sebagai berikut: 78,9% Al, 14,1% Si, 0,95% Mg.

3.4 Dimensi Spesimen

- a) Spesimen Uji Tarik

Dalam proses pembentukan spesimen uji tarik menggunakan standart ASTM E 8M-00a, dapat dilihat pada gambar 3.1

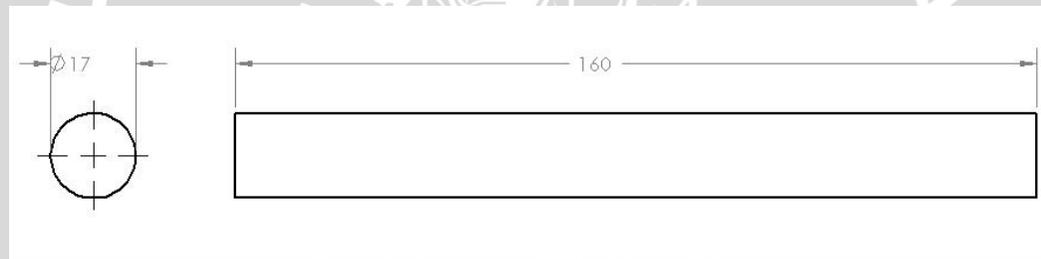


Satuan : mm

Gambar 3.1 Spesimen Uji Tarik

b) Spesimen Uji Porositas

Ukuran spesimen uji porositas ini mengikuti dimensi rongga cetakan yang telah direncanakan, dapat dilihat pada gambar 3.2

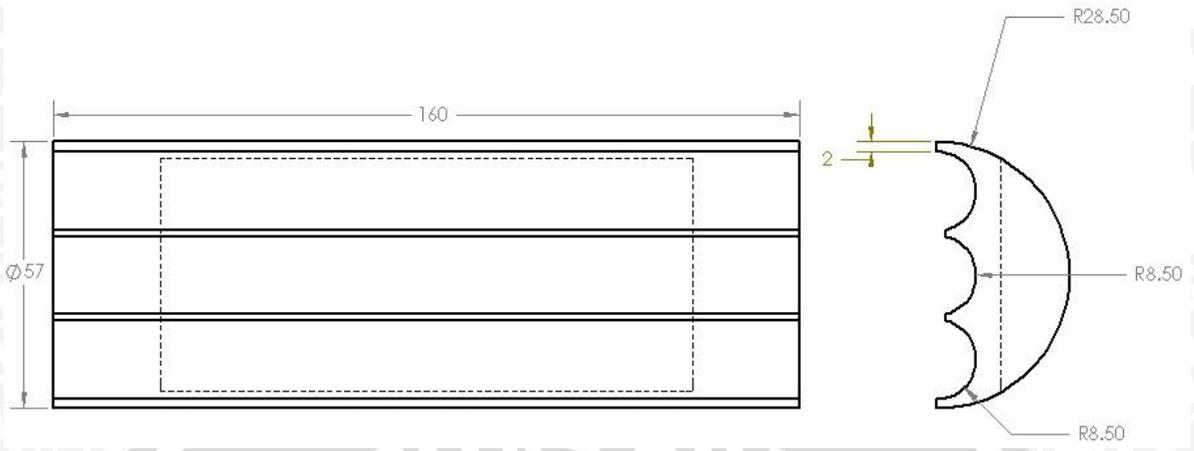


Satuan : mm

Gambar 3.2 Spesimen Uji Porositas

3.5 Dimensi Cetakan

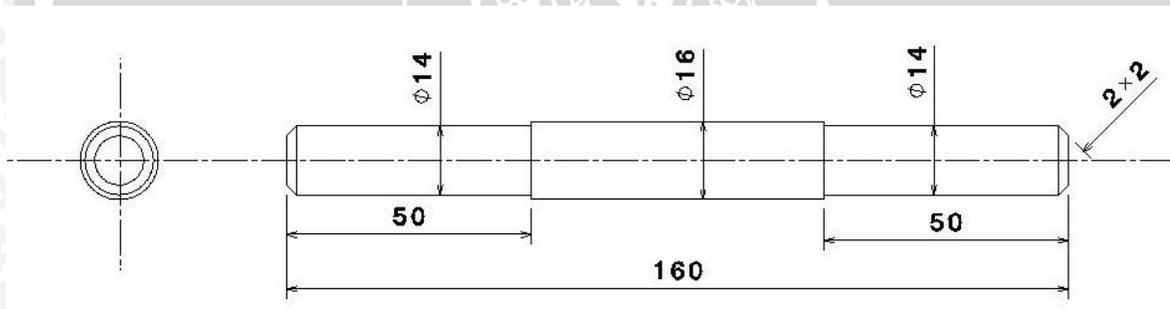
Cetakan di desain untuk menghasilkan produk cor berbentuk 2 silinder pejal, dengan dengan rongga yang ditengah sebagai saluran masuk yang nantinya akan menghasilkan silinder berongga karena dikenai gaya sentrifugal. Desain cetakan dapat dilihat pada gambar 3.3



Gambar 3.3 Cetakan *centrifugal casting*

3.6 Dimensi Benda Kerja

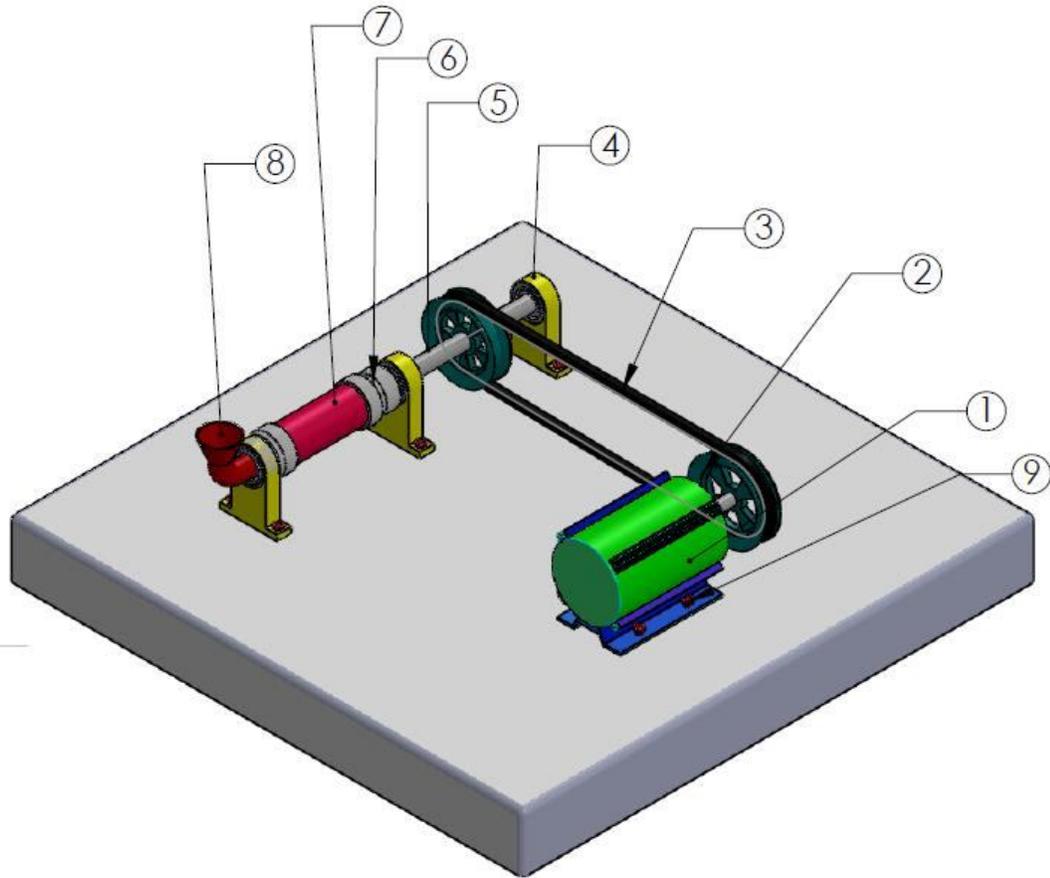
Gambar 3.4 dibawah ini menunjukkan dimensi benda kerja setelah dilakukan *finishing*, dengan bentuk poros bertingkat.



Gambar 3.4 : Dimensi Produk

3.7 Instalasi Penelitian

Bagian-bagian dari mesin *centrifugal casting* dalam penelitian ini dapat ditunjukkan pada gambar 3.5.



Keterangan :

1. Motor Listrik
2. *Pulley*
3. *Belt*
4. *Bearing*
5. Poros
6. Rumah Cetakan
7. Cetakan
8. Corong Tuang
9. Baut

Gambar 3.5 Instalasi alat penelitian

3.8 Prosedur Penelitian

3.8.1 Urutan Penelitian

Langkah-langkah yang diambil dalam penelitian ini

1. Persiapan percobaan yaitu menyiapkan dapur peleburan, menyiapkan alat mesin pemutar cetakan, kemudian memasang cetakan.
2. Meleburkan material sampai temperatur 750°C dalam dapur listrik.

3. Penuangan logam cair kedalam cetakan yang berputar dengan mengatur variasi kecepatan putar yaitu 500 rpm; 1000 rpm; 1500 rpm; 2000 rpm; 2500 rpm) pada temperatur penuangan dan temperatur cetakan.
 - Pengecoran pertama dilakukan dengan menuangkan logam cair kedalam cetakan dengan kecepatan putar cetakan 500 rpm.
 - Pengecoran kedua dilakukan dengan menuangkan logam cair kedalam cetakan dengan kecepatan putar cetakan 1000 rpm.
 - Pengecoran ketiga dilakukan dengan menuangkan logam cair kedalam cetakan dengan kecepatan putar cetakan 1500 rpm.
 - Pengecoran keempat dilakukan dengan menuangkan logam cair kedalam cetakan dengan kecepatan putar cetakan 2000 rpm.
 - Pengecoran kelima dilakukan dengan menuangkan logam cair kedalam cetakan dengan kecepatan putar cetakan 2500 rpm.

3.8.2 Prosedur pengambilan dan pengolahan data

Dari hasil pengecoran sentrifugal kemudian dilakukan pengujian untuk mengetahui nilai kekuatan tarik dan porositas hasil coran sebagai berikut.

1. Mengambil spesimen hasil coran dari kecepatan putar 500 rpm
2. Mengambil data dan menghitung jumlah cacat porositas pada hasil coran.
3. Melakukan pengulangan langkah 1 dan 2 pada spesimen lainnya yang di dapat dari kecepatan putar 500 rpm.
4. Melakukan proses *finishing* hingga spesimen menjadi benda yang diinginkan
5. Mengambil data dan menghitung nilai kekuatan tarik yang terdapat pada benda uji
6. Melakukan pengulangan 1 sampai 3 untuk specimen hasil dari kecepatan putar cetakan yaitu 1000 rpm; 1500 rpm; 2000 rpm; 2500 rpm.
7. Melakukan pengujian statistik dengan data-data yang di dapat dari langkah-langkah di atas.
8. Melakukan analisa dan pembahasan dari data-data tersebut.
9. Kesimpulan.

3.9 Analisa Statistik

Analisis statistik disini bertujuan untuk menduga perubahan rata-rata yang terjadi dalam hal kualitas hasil coran Aluminium paduan Al-Si-Mg (kekuatan tarik dan cacat permukaan) yang terjadi sebagai akibat pengaruh variasi kecepatan putar cetakan yang digunakan.

Kekuatan tarik dan porositas

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} \quad (3-1)$$

Standar deviasi

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (3-2)$$

Standar deviasi rata-rata

$$\bar{\sigma} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (3-3)$$

Interval penduga rata-rata kekuatan tarik dan porositas

$$\bar{x} - 1\left(\frac{\alpha}{2}, db\right)\sigma < \mu < \bar{x} + 1\left(\frac{\alpha}{2}, db\right)\sigma \quad (3-4)$$

3.10 Analisa Varian Satu Arah

Dari analisa varian satu arah ini akan diketahui ada tidaknya pengaruh kecepatan putar cetakan terhadap kekuatan tarik dan poroitas aluminium paduan (Al-Mg-Si) hasil pengecoran sentrifugal horizontal. Dari data yang diperoleh diuji secara statistik bagaimana pengaruh variabel bebas (kecepatan putar cetakan 500 rpm, 1000 rpm, 1500 rpm, 2000 rpm dan 2500 rpm) terhadap variabel terikatnya. Harga variabel terikat dianggap sebagai 1, 2, 3, 4, dan 5 maka hipotesis penelitian ditulis sebagai berikut:

$$H_0 : 1 = 2 = 3 = 4 = 5$$

(Tidak ada pengaruh nyata kecepatan putar cetakan kekuatan tarik dan poroitas aluminium paduan Al-Mg-Si hasil pengecoran sentrifugal horizontal).

$$H_1 : 1 \neq 2 \neq 3 \neq 4 \neq 5$$

(ada pengaruh nyata kecepatan putar cetakan kekuatan tarik dan poroitas aluminium paduan Al-Mg-Si hasil pengecoran sentrifugal horizontal).

Hasil pengamatan dapat dilihat pada rencana tabel 3.1 dibawah ini:

Tabel 3.1. Tabel Pengamatan Data

Kecepatan putarcetakan	500 rpm	1000 rpm	1500 Rpm	2000 rpm	2500 rpm
Pengulangan					
1	Y_{11}	Y_{12}	Y_{13}	Y_{14}	Y_{15}
2	Y_{21}	Y_{22}	Y_{23}	Y_{24}	Y_{25}
3	Y_{31}	Y_{32}	Y_{33}	Y_{34}	Y_{35}
Jumlah	$\sum Y_{i1}$	$\sum Y_{i2}$	$\sum Y_{i3}$	$\sum Y_{i4}$	$\sum Y_{i5}$
Nilai rata-rata	\bar{Y}_{i1}	\bar{Y}_{i2}	\bar{Y}_{i3}	\bar{Y}_{i4}	\bar{Y}_{i5}

Berdasarkan data pada tabel:

$$\text{Jumlah seluruh perlakuan} = \sum_{n-1}^n \sum_{j-1}^k Y_{ij} \quad (3-5)$$

$$\text{Jumlah kuadrat seluruh perlakuan} = \left[\sum_{n-1}^n \sum_{j-1}^k Y_{ij} \right]^2 \quad (3-6)$$

$$\text{Faktor koreksi (} f_k \text{)} = \frac{\left[\sum_{n-1}^n \sum_{j-1}^k Y_{ij} \right]^2}{nk} \quad (3-7)$$

$$\text{Jumlah kuadrat total (JKT)} = \sum_{n-1}^n \sum_{j-1}^k Y_{ij}^2 - f_k \quad (3-8)$$

$$\text{Jumlah kuadrat perlakuan (JKP)} = \frac{\sum_{n-1}^n \left[\sum_{j-1}^k Y_{ij} \right]^2}{n} - f_k \quad (3-9)$$

$$\text{Jumlah kuadrat galat (JKG)} = JKT - JKP \quad (3-10)$$

$$\text{Kuadrat tengah perlakuan (KTP)} = \frac{JKP}{n-1} \quad (3-11)$$

$$\text{Kuadrat tengah galat (KTG)} = \frac{JKG}{n-k} \quad (3-12)$$

Dari data perhitungan diatas dapat dicari F hitung dengan rumus :

$$F_{hitung} = \frac{KTP}{KTG} \quad (3-13)$$

Untuk membuat uji analisis variabel analisis varian dibuat tabel analisis varian satu arah seperti tabel 3.2 dibawah ini :

Tabel 3.2. Tabel analisa varian satu arah

Jumlah varian	Db	JK	JT	F hitung
Pengujian	k-1	JKP	KTP	
Galat	n-k	JKG	KTG	
Total	n-1	JKT		

Pengujian ada tidaknya pengaruh perlakuan adalah dengan membandingkan F_{hitung} dengan tingkat keberartian α :

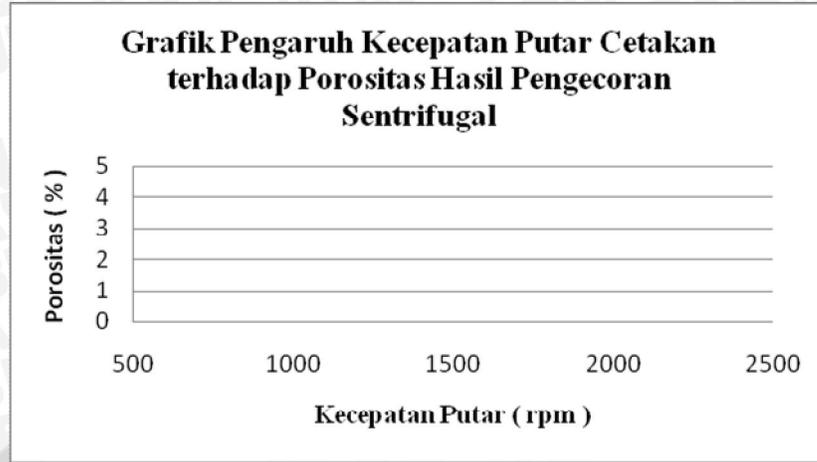
Jika $F_{hitung} > F(\alpha, k, db)$ berarti H_0 ditolak

Ini menyatakan bahwa ada perbedaan yang berarti antara variasi kecepatan putar terhadap kekuatan tarik dan porositas aluminium paduan Al-Mg-Si hasil pengecoran sentrifugal.

jika $F_{hitung} < F(\alpha, k, db)$ berarti H_0 diterima

3.11 Rancangan Grafik

- A. Grafik Pengaruh Kecepatan Putar Cetakan terhadap Porositas Hasil Pengecoran Sentrifugal (ditunjukkan pada gambar 3.6).



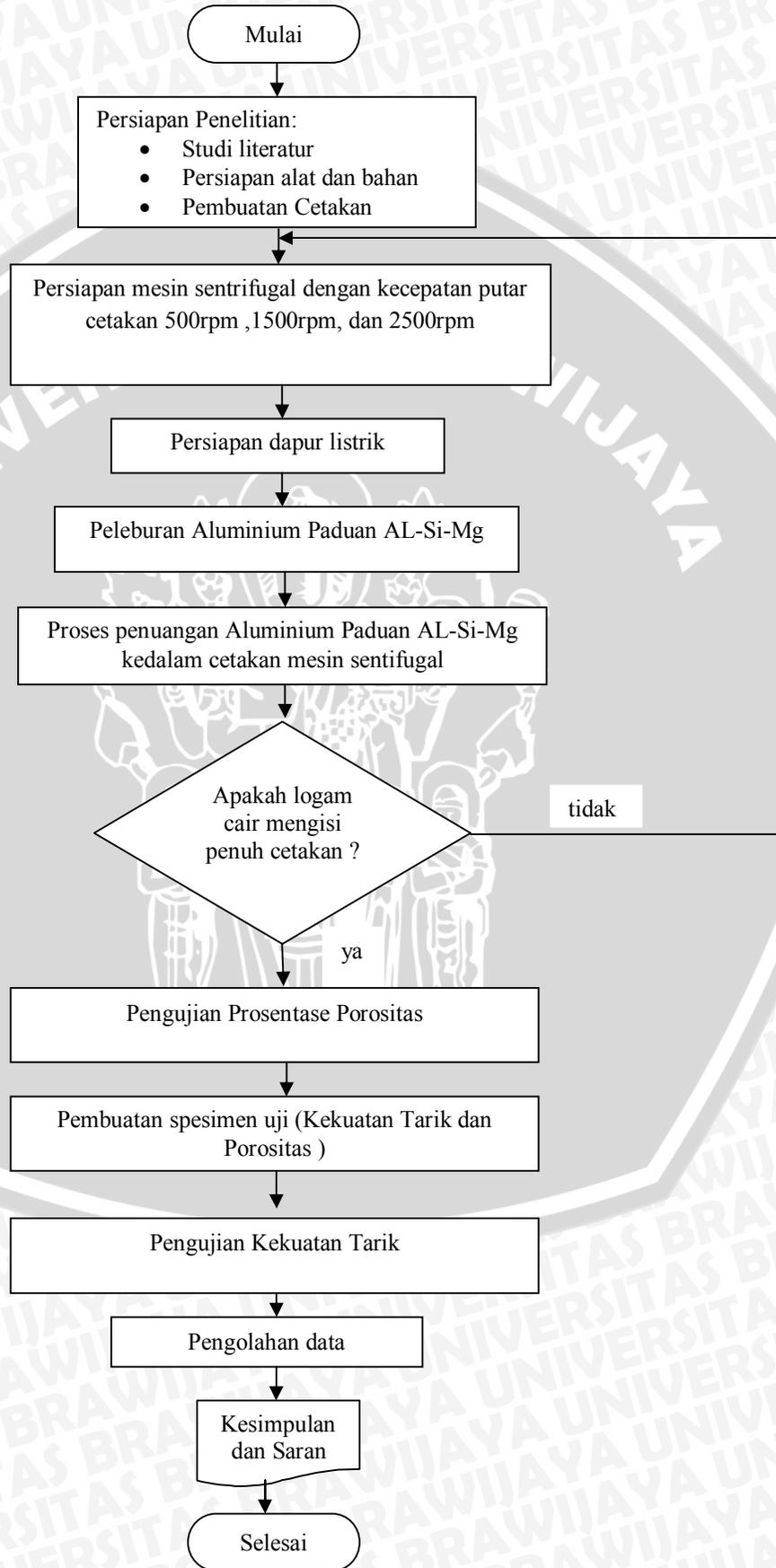
Gambar 3.6 : Rancangan grafik pengaruh kecepatan putar cetakan terhadap porositas hasil pengecoran sentrifugal

- A. Grafik Pengaruh Kecepatan Putar Cetakan terhadap Kekuatan Tarik Hasil Pengecoran Sentrifugal (ditunjukkan pada gambar 3.7).



Gambar 3.7 : Rancangan grafik pengaruh kecepatan putar cetakan terhadap kekuatan tarik hasil pengecoran sentrifugal

3.12 Diagram Alir Penelitian



BAB IV

HASIL PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Dan Perhitungan Hasil Pengujian

4.1.1 Data dan Perhitungan Prosentase Porositas

Perhitungan prosentase porositas yang terjadi dapat diketahui dengan membandingkan dengan densitas teoritis atau *true density* dengan densitas sampel atau *apparent density* (Taylor 2000).

4.1.1.1 Perhitungan *True Density*

Perhitungan *true density* menggunakan standar ASTM E252-84, berikut rumus perhitungannya :

$$\rho_{th} = \frac{100}{\left\{ \left(\frac{\% Al}{\rho_{Al}} \right) + \left(\frac{\% Cu}{\rho_{Cu}} \right) + \left(\frac{\% Fe}{\rho_{Fe}} \right) + etc \right\}}$$

dengan:

$$\begin{aligned} \rho_{th} &= \text{True Density (gr/cm}^3\text{)} \\ \rho_{Al}, \rho_{Cu}, \rho_{Fe}, \text{ Etc} &= \text{Densitas unsur (gr/cm}^3\text{)} \\ \%Al, \%Cu, \%Fe, \text{ etc} &= \text{Prosentase berat unsur (\%)} \end{aligned}$$

dengan tahapan:

- a) Data densitas unsur diperoleh dari tabel unsur.
- b) Data prosentase berat unsur diperoleh dari hasil uji komposisi menggunakan *Spark Spectrometer*.

Perhitungan densitas unsur dan prosentase berat dilihat pada tabel 4.1 dibawah ini :

Tabel 4.1 Perhitungan densitas unsur dan prosentase berat

Unsur	Densitas 1/(g/cm ³)	Prosentase Berat (%)	Densitas / Prosentase Berat
Si	0.4292	0.661	0.2837012
Fe	0.1271	0.248	0.0315208
Cu	0.1116	0.187	0.0208692
Mn	0.1346	0.034	0.0045764
Mg	0.5522	1.023	0.5649006

Zn	0.1401	0.055	0.0077055
Ti	0.2219	0.010	0.002219
Cr	0.1391	0.107	0.0148837
Ni	0.1123	0.017	0.0019091
Pb	0.0882	0.008	0.0007056
Sn	0.1371	0.004	0.0005484
V	0.1639	0.010	0.001639
Cd	0.1156	0.002	0.0002312
Total A	2.366	0.9354097	
Al	0.3705	97.634	36.173397
	Total B	37.1088067	

Contoh perhitungan:

$$\rho_{th} = \frac{100}{\left\{ \left(\frac{\% Al}{\rho_{Al}} \right) + \left(\frac{\% Cu}{\rho_{Cu}} \right) + \left(\frac{\% Al}{\rho_{Fe}} \right) + etc \right\}}$$

$$= \frac{100}{TotalB}$$

$$= \frac{100}{37,1088067}$$

$$= 2,695 \text{ gr/cm}^3$$

4.1.1.2 Perhitungan Apparent Density

Data hasil penimbangan menggunakan metode piknometri dan standar ASTM B311-93 dihitung menggunakan rumus dibawah ini:

$$\rho_s = \rho_w \frac{W_s}{W_s - (W_{sb} - W_b)}$$

dengan:

ρ_s = Densitas sampel atau *Apparent Density* (gr/cm³).

ρ_w = Densitas air (gr/cm³).

W_s = Berat sampel di udara (gr)

W_{sb} = Berat sampel dan keranjang di dalam air (gr)

W_b = Berat keranjang di dalam air (gr)

Setelah dilakukannya penimbangan maka di dapatkan data berat sampel dan berat keranjang, terlihat pada tabel 4.2 sebagai berikut ini :

Tabel 4.2 Data penimbangan sampel dan keranjang

Kecepatan putar (rpm)	cetakan	Pengulangan	Ws (gr)	Wb (gr)	Wsb (gr)
500		1	67,75	8,06	49,15
		2	66,35	8,06	48,45
		3	56,17	8,06	41,95
1000		1	85,11	8,06	59,68
		2	71,25	8,06	51,85
		3	79,96	8,06	56,87
1500		1	63,82	8,06	47,45
		2	64,93	8,06	48,25
		3	62,25	8,06	46,25
2000		1	84,60	8,06	60,24
		2	91,20	8,06	64,65
		3	82,42	8,06	59,23
2500		1	63,5	8,06	47,65
		2	62,77	8,06	47,02
		3	60,87	8,06	45,5

Sehingga diperoleh perhitungan *apparent density* sebagai berikut, tabel 4.3 :

Tabel 4.3 Data perhitungan *Apparent Density*

	Kecepatan Putar Cetakan				
	500	1000	1500	2000	2500
1	2,54	2,54	2,61	2,62	2,65
2	2,55	3,62	2,62	2,61	2,61
3	2,52	2,56	2,59	2,63	2,60
Jumlah	7,61	7,69	7,82	7,86	7,875
Nilai rata-rata	2,53	2,56	2,6	2,62	2,62

Contoh perhitungan menggunakan data kecepatan putar cetakan 500 rpm spesimen 1:

$$\rho_s = \rho_w \frac{W_s}{W_s - (W_{sb} - W_b)}$$

$$= 1 \frac{67,5}{67,75 - (49,15 - 8,06)}$$

$$= 2,54 \text{ gr/cm}^3$$

4.1.1.3 Perhitungan Presentase Porositas

Perhitungan presentase porositas menggunakan rumus sebagaimana berikut ini, terlihat pada tabel 4.4:

$$\%P = \left(1 - \frac{\rho_s}{\rho_{th}} \right) \times 100\%$$

dengan:

$\%P$ = Prosentasi porositas (%)

ρ_s = Densitas sampel atau *Apparent Density* (gr/cm^3).

Tabel 4.4 Data Presentase Porositas (%)

Spesimen Porositas (%)	Kecepatan Putar Cetakan (rpm)				
	500	1000	1500	2000	2500
1	5,75	5,75	3,15	2,62	1,33
2	5,3	3,74	2,78	2,61	1,41
3	5,4	5,00	3,89	2,63	2,3
Jumlah	16,45	14,49	9,82	7,52	5,04
Nilai rata-rata	5,81	4,83	3,27	2,5	1,68

Contoh perhitungan menggunakan data kecepatan putar 500 rpm spesimen 1:

$$\%P = \left(1 - \frac{\rho_s}{\rho_{th}} \right) \times 100 \%$$

$$= \left(1 - \frac{2,54}{2,695} \right) \times 100 \%$$

$$= 5,75\%$$

4.1.2 Data dan Pehitungan Kekuatan Tarik

Dalam pengujian kekuatan tarik dilakukan pengulangan sebanyak tiga kali, yang mana dalam pengujian tarik di ambil beban tarik maksimum. Harga maksimum ini dicapai karena

deformasi plastis bertambah besar dan terjadi pengerasan regang (*strain hardening*) sehingga beban yang diperlukan untuk berdeformasi lagi bertambah besar.

Dari hasil pengujian kekuatan tarik menggunakan mesin uji tarik didapatkan beban tarik maksimum, ditunjukkan pada pada tabel 4.5 berikut ini.

Tabel 4.5 Data beban tarik maksimum (N) pada pengujian tarik

Pengulangan	500 rpm	1000 rpm	1500 rpm	2000 rpm	2500 rpm
1	6000	7800	11900	10000	7000
2	6700	8200	12000	10800	6800
3	7100	6900	12500	9800	8400
Jumlah	19800	22900	36400	30600	22200
Rata-rata	6600	7633,33	12133,33	10200	7400

Nilai kekuatan tarik didapatkan dari hasil bagi beban maksimum tarik dengan luas penampang awal dengan menggunakan standar ASTM (E 8M – 03), hasil perhitungan ditunjukkan pada tabel 4.6 berikut ini :

$$\sigma_B = \frac{P_{\max}}{A_0}$$

Dengan :

σ_B = Kekuatan tarik (N/mm²)

P_{\max} = Beban tarik maksimum (N)

A_0 = Luas penampang awal (mm²)

Tabel 4.6 Data kekuatan tarik (N/mm²)

Pengulangan	500 rpm	1000 rpm	1500 rpm	2000 rpm	2500 rpm
1	101,69	132,20	201,69	169,49	147,45
2	113,81	139,62	201,38	183,89	154,94
3	119,52	117,48	212,83	198,38	136,20
Jumlah	335,02	389,31	615,9	551,76	438,59
Rata-rata	111,67	129,77	205,3	183,92	146,19

Contoh perhitungan menggunakan data kecepatan putar cetakan 500 rpm spesimen 1:

$$\sigma_B = \frac{P_{\max}}{A_0}$$

$$= \frac{6000N}{59mm^2} = 101,69 \text{ N/mm}^2$$

4.2 Analisis Statistik

4.2.1 Analisis Statistik Prosentase Porositas

Analisa statistik prosentase porositas hasil pengecoran diambil salah satu contoh data dengan kecepatan 500 rpm

1. Data rata-rata

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

$$= \frac{16,45}{3}$$

$$= 5,81$$

2. Standar deviasi

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum |x - \bar{x}|^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{|5,75 - 5,81|^2 + \dots + |5,4 - 5,81|^2}{3-1}} = 0,46$$

3. Standar deviasi rata-rata

$$\bar{\delta} = \frac{\delta}{\sqrt{n}} = \frac{0,46}{\sqrt{3}} = 0,26$$

4. Interval penduga

$$\bar{x} - \left[t \left(\frac{\alpha}{2}, db \right) \cdot \bar{\delta} \right] < \mu < \bar{x} + \left[t \left(\frac{\alpha}{2}, db \right) \cdot \bar{\delta} \right]$$

$$db = n-1$$

$$= 3-1 = 2$$

Dengan mengambil $\alpha = 5\%$ dapat diketahui

$$t(\alpha/2; db) = t(0,025; 2) = 4,303$$

maka

$$5,81 - [(4,303)(0,26)] < \mu < 5,81 + [(4,303)(0,26)]$$

$$5,81 - 1,11 < \mu < 5,81,45 + 1,11$$

$$4,69 < \mu < 6,92$$

Jadi interval penduga porositas hasil pengecoran sentrifugal aluminium paduan Al-Si-Mg dengan kecepatan putar cetakan 500 rpm didapatkan 4,69 gr/cm³ sampai 6,92 gr/cm³ dengan tingkat keyakinan 95%. Ditunjukkan pada tabel 4.7 dibawah ini.

Tabel 4.7 Interval penduga prosentase porositas hasil pengecoran sentrifugal aluminium paduan Al-Si-Mg

Kecepatan putar (rpm)	Porositas rata - rata	Standar Deviasi	Standar Deviasi Rata-rata	Interval Penduga Porositas rata - rata
500	5,81	0,46	0,26	4,69 < t < 6,92
1000	4,83	1,01	0,58	2,34 < t < 7,32
1500	3,27	0,56	0,32	1,89 < t < 4,64
2000	2,5	0,14	0,08	2,15 < t < 2,58
2500	1,68	0,53	0,31	0,34 < t < 2,98

4.2.2 Analisis Statistik Kekuatan Tarik

Analisa statistik kekutan tarik hasil pengecoran diambil salah satu contoh data dengan kecepatan 500 rpm

1. Data rata-rata

$$\begin{aligned} \bar{x} &= \frac{\sum x}{n} \\ &= \frac{16,45}{3} \\ &= 111,67 \end{aligned}$$

2. Standar deviasi

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum |x - \bar{x}|^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{|5,75 - 5,81|^2 + \dots + |5,4 - 5,81|^2}{3-1}} = 9,10$$

3. Standar deviasi rata-rata

$$\bar{\delta} = \frac{\delta}{\sqrt{n}} = \frac{0,46}{\sqrt{3}} = 5,25$$

4. Interval penduga

$$\bar{x} - \left[t \left(\frac{\alpha}{2}, db \right) \cdot \bar{\delta} \right] < \mu < \bar{x} + \left[t \left(\frac{\alpha}{2}, db \right) \cdot \bar{\delta} \right]$$

$$db = n-1 \\ = 3-1 = 2$$

Dengan mengambil $\alpha = 5 \%$ dapat diketahui

$$t(\alpha/2 ; db) = t(0,025 ; 2) = 4,303$$

maka

$$111,67 - [(4,303)(5,25)] < \mu < 111,67 + [(4,303)(5,25)]$$

$$111,67 - 22,59 < \mu < 111,67 + 22,59$$

$$89,08 < \mu < 134,26$$

Jadi interval penduga porositas hasil pengecoran sentrifugal aluminium paduan Al-Si-Mg dengan kecepatan putar cetakan 500 rpm didapatkan 89,0 gr/cm³ sampai 134,26 gr/cm³ dengan tingkat keyakinan 95%. Ditunjukkan pada tabel 4.8 dibawah ini.

Tabel 4.8 Interval penduga kekuatan tarik hasil pengecoran sentrifugal aluminium paduan Al-Si-Mg

Kecepatan Putar (rpm)	Kekuatan Tarik	Standar Deviasi	Standar Deviasi Rata-rata	Interval Penduga Kekuatan Tarik Rata-rata
500	111,67	9,10	5,25	89,08 < t < 134,26
1000	129,76	11,26	6,50	101,79 < t < 157,72
1500	205,3	6,52	3,76	189,12 < t < 221,47
2000	183,92	14,4	8,33	148,07 < t < 219,76
2500	146,19	9,43	5,24	123,64 < t < 168,73

4.3 Analisis Varian Satu Arah

Analisis varian satu arah digunakan untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh kecepatan putar terhadap cacat porositas dan kekuatan tarik pada silinder aluminium paduan Al-Si-Mg

hasil pengecoran sentrifugal dapat diketahui dari hasil analisis variannya. Jika F_{hitung} lebih besar dari pada F_{tabel} maka faktor yang diuji memberikan pengaruh yang nyata. Namun apabila F_{hitung} lebih kecil dari F_{tabel} maka faktor yang diuji tidak memberikan pengaruh yang nyata.

4.3.1 Analisis Varian Satu Arah Porositas

Langkah-langkahnya sebagai berikut:

1. Jumlah seluruh perlakuan

$$\begin{aligned} &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k x_{ij} = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^7 x_{ij} \\ &= 5,75 + 5,75 + \dots + 2,3 \\ &= 54,41 \end{aligned}$$

2. Jumlah kuadrat seluruh perlakuan

$$\begin{aligned} &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k x_{ij}^2 \\ &= (5,75)^2 + (5,75)^2 + \dots + (2,3)^2 \\ &= 224,07 \end{aligned}$$

3. Faktor koreksi (fk)

$$\begin{aligned} fk &= \frac{T^2}{nk} \\ &= \frac{(54,41)^2}{15} \\ &= 197,36 \end{aligned}$$

4. Jumlah kuadrat total (JKT)

$$\begin{aligned} JKT &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k x_{ij}^2 - fk \\ &= 224,07 - 197,36 \\ &= 26,71 \end{aligned}$$

5. Jumlah kuadrat perlakuan (JKP)

$$JKP = \frac{\sum_{j=1}^k \left[\sum_{i=1}^n Y_{ij} \right]^2}{n} - fk$$



$$= 232,15 - 197,36$$

$$= 34,79$$

6. Jumlah kuadrat galat (*JKG*)

$$JKG = JKT - JKP$$

$$= 8,08$$

7. Kuadrat tengah perlakuan (*KTP*)

$$KTP = \frac{JKP}{k - 1}$$

$$= \frac{34,79}{5 - 1}$$

$$= 8,69$$

8. Kuadrat tengah galat (*KTG*)

$$KTG = \frac{JKG}{N - k}$$

$$= \frac{8,08}{15 - 5}$$

$$= 0,808$$

9. Sehingga F_{hitung} adalah

$$F_{hitung} = \frac{KTP}{KTG}$$

$$= \frac{8,69}{0,808}$$

$$= 10,75$$



Setelah dilakukan perhitungan statistik diatas, maka akan didapatkan beberapa data pendukung untuk menentukan ragam klasifikasi satu arah pada data porositas, yang ditunjukkan pada tabel 4.9.

Tabel 4.9 Analisis Ragam Klasifikasi Satu-Arah Data Porositas

Sumber Varian	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F_{hitung}	F_{tabel}
Perlakuan	4	34,79	8,69	10,75	3,48
Galat	10	8,08	0,808		
Total	14	26,71			

Dari hasil perhitungan terlihat bahwa $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka H_0 ditolak dan H_1 diterima yang berarti ada pengaruh yang nyata antara kecepatan putar terhadap porositas dengan resiko kesalahan 5%.

4.3.2 Analisis Varian Satu Kekuatan Tarik

1. Jumlah seluruh perlakuan

$$= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k x_{ij} = 101,69 + 132,20 + \dots + 136,2 = 2332,59$$

2. Jumlah kuadrat seluruh perlakuan

$$= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k x_{ij}^2$$

$$= (101,69)^2 + (132,20)^2 + \dots + (136,2)^2$$

$$= 381892,5$$

3. Faktor koreksi (fk)

$$fk = \frac{T^2}{nk}$$

$$= \frac{(2332,59)^2}{15}$$

$$= 362733,9$$

4. Jumlah kuadrat total (JKT)

$$JKT = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k x_{ij}^2 - fk$$

$$= 381892,5 - 362733,9$$

$$= 19158,62$$

5. Jumlah kuadrat perlakuan (*JKP*)

$$JKP = \frac{\sum_{j=1}^k \left[\sum_{i=1}^n Y_{ij} \right]^2}{n} - fk$$

$$= \frac{(335,02)^2 + (389,31)^2 + \dots + (438,59)^2}{3} - 362733,9$$

$$= 18067,1$$

6. Jumlah kuadrat galat (*JKG*)

$$JKG = JKT - JKP$$

$$= 19158,62 - 18067,1$$

$$= 1091,54$$

7. Kuadrat tengah perlakuan (*KTP*)

$$KTP = \frac{JKP}{k - 1}$$

$$= \frac{18067,1}{5 - 1}$$

$$= 4516,7$$

8. Kuadrat tengah galat (*KTG*)

$$KTG = \frac{JKG}{N - k}$$

$$= \frac{1091,54}{15 - 5}$$

$$= 109,15$$

9. Sehingga F_{hitung} adalah

$$F_{hitung} = \frac{KTP}{KTG}$$

$$= \frac{4516,7}{109,15}$$

$$= 41,37$$



Setelah dilakukan perhitungan statistik diatas, maka akan didapatkan beberapa data pendukung untuk menentukan ragam klasifikasi satu arah pada data kekuatan tarik, yang ditunjukkan pada tabel 4.10.

Tabel 4.10 Analisis Ragam Klasifikasi Satu-Arah Data Kekuatan Tarik

Sumber Varian	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Rata-rata	F_{hitung}	F_{tabel}
Perlakuan	4	18067,1	8,69	41,37	3,48
Galat	10	1091,54	0,808		
Total	14	26,71			

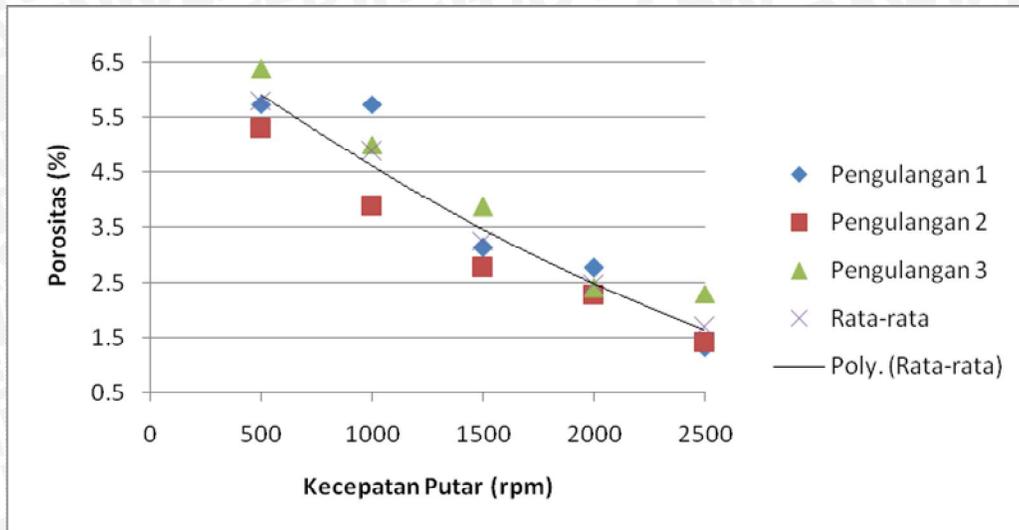
Dari hasil perhitungan terlihat bahwa $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka H_0 ditolak dan H_1 diterima yang berarti ada pengaruh yang nyata antara kecepatan putar terhadap kekuatan tarik dengan resiko kesalahan 5%.

4.4 Pembahasan

Proses pengecoran sentrifugal dilakukan dengan cara menuangkan logam cair kedalam cetakan yang berputar. Di bawah pengaruh gaya sentrifugal benda coran akan padat, permukaan halus dan struktur logam yang dihasilkan mempunyai struktur fisik yang unggul. Umumnya cara ini cocok untuk benda coran yang berbentuk simetris (Amstead.1979:118). Cetakan yang digunakan dalam pengecoran sentrifugal yaitu cetakan permanen yang biasanya terbuat dari besi atau baja dan grafit.

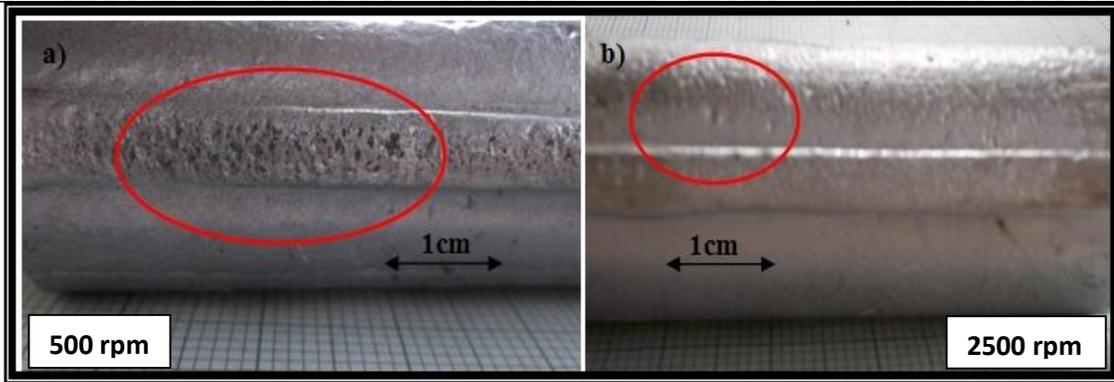
Kecepatan putar cetakan pada saat proses pengecoran sentrifugal merupakan salah satu factor yang mempengaruhi kualitas hasil coran, dengan adanya peningkatan kecepatan putar maka gaya sentrifugal yang dihasilkan semakin besar sehingga logam cair akan lebih cepat terlempar kedinding cetakan dan proses pembekuan akan terjadi lebih cepat akibatnya butir yang dihasilkan lebih kecil, selain itu adanya gaya sentrifugal akan memberikan tekanan pada logam cair sehingga gas – gas yang terjebak pada logam cair akan semakin rendah.

Hubungan antara kecepatan putar cetakan dengan porositas coran aluminium paduan (Al-Si-Mg) hasil pengecoran sentrifugal diperlihatkan pada gambar 4.1 berikut ini.



Gambar 4.1: Grafik Hubungan Kecepatan Putar Cetakan (rpm) dan Porositas Aluminium Paduan (Al-Mg-Si) hasil Pengecoran Sentrifugal

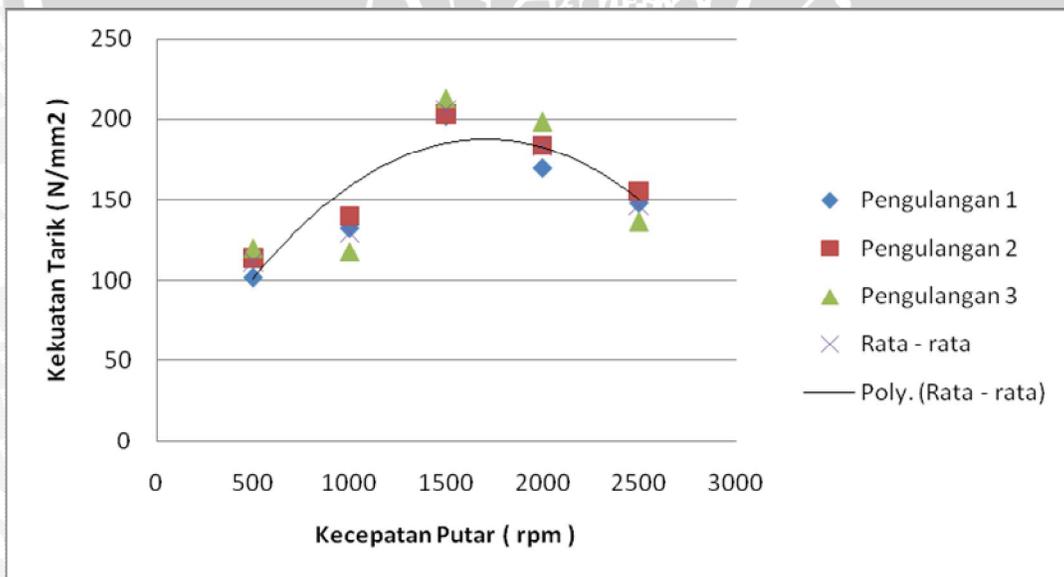
Pada grafik hubungan antara kecepatan putar terhadap porositas aluminium paduan (Al-Mg-Si) hasil pengecoran sentrifugal tersebut (gambar 4.1) dapat dilihat bahwa terjadi penurunan porositas yang terjadi seiring bertambahnya kecepatan putar cetakan putar. Pada grafik tersebut dapat juga kita lihat nilai porositas yang semakin menurun. Nilai porositas tertinggi didapatkan pada kecepatan putar 500 rpm dengan nilai porositas yaitu 5,75% dan untuk nilai porositas yang terendah didapat pada kecepatan putar 2500 rpm yaitu sebesar 1,33%. Penurunan besarnya prosentase porositas tersebut disebabkan karena semakin tingginya kecepatan putar, maka semakin besar gaya dorong yang diberikan pada butiran logam untuk menjauhi sumbu putarnya. Butiran logam yang menerima gaya dorong akan menekan ke dinding cetakan sehingga butiran logam selanjutnya akan menekan masuk butiran sebelumnya sehingga gas yang ada didalam logam cair akan terdorong keluar dari logam cair. Selain itu semakin besar gaya dorong maka semakin cepat logam cair menumbuk cetakan sebelum dendrite terbentuk sehingga struktur butiran menjadi kecil dan padat. Porositas tersebut terjadi karena terjebaknya gas pada logam cair ketika logam cair tersebut membeku, dengan kecepatan putar yang semakin meningkat maka gas yang terjebak akan semakin kecil sehingga didapatkan prosentase porositas yang semakin rendah. Hubungan antara kecepatan putar dengan porositas dapat dilihat pada hasil foto makro (gambar 4.2).



Gambar 4.2 : Foto Makro Permukaan Coran dengan Kecepatan 500 rpm dan 2500 rpm

Setiap produk hasil coran pada setiap aplikasinya akan mengalami pembebanan dinamis, sehingga akan mengalami pertambahan penampang, dengan melakukan pengujian puntir sifat mekanis berupa kekuatan akan diketahui. Kekuatan tarik dipengaruhi oleh ukuran butiran serta porositasnya. Semakin halus butiran dan porositas semakin menurun maka kekuatan tarik akan meningkat.

Hubungan antara kecepatan putar terhadap kekuatan tarik aluminium paduan Al-Si-Mg hasil pengecoran sentrifugal dapat dilihat pada gambar 4.3 dibawah ini.



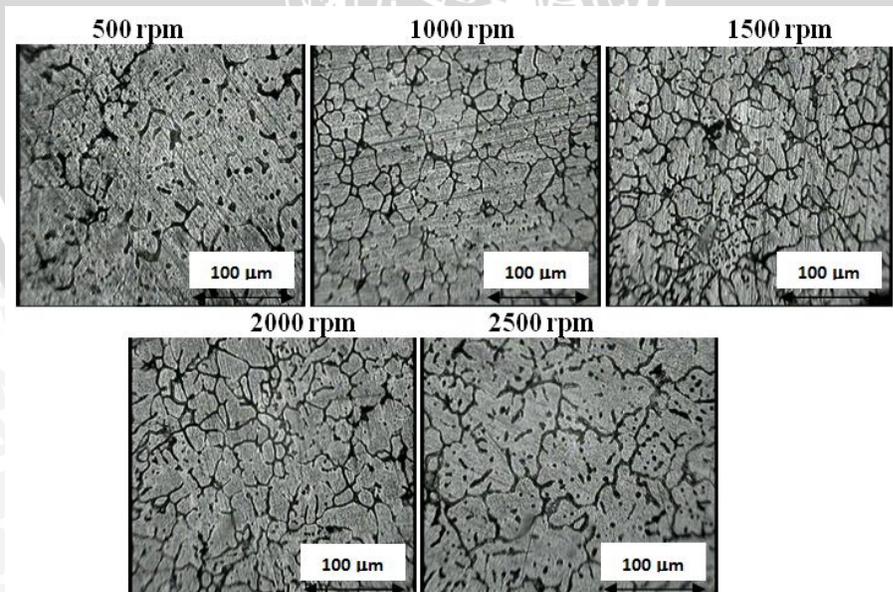
Gambar 4.3 : Grafik Hubungan Kecepatan Putar Cetakan (rpm) dan Kekuatan Tarik Aluminium Paduan (Al-Si- Mg) hasil Pengecoran Sentrifugal

Hubungan antara kecepatan putar terhadap kekuatan tarik dapat diketahui dengan jelas pada grafik diatas. Pada grafik polinomial terlihat bahwa kecepatan putar berpengaruh terhadap

perubahan nilai dari kekuatan tarik (*tensile strength*). Kekuatan tarik terus mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya kecepatan putar. Yang mana pada kecepatan 1500 rpm memiliki kekuatan tarik tertinggi yaitu sebesar $205,96 \text{ N/mm}^2$, namun mengalami penurunan kekuatan tarik pada kecepatan 2500 rpm senilai $146,19 \text{ N/mm}^2$.

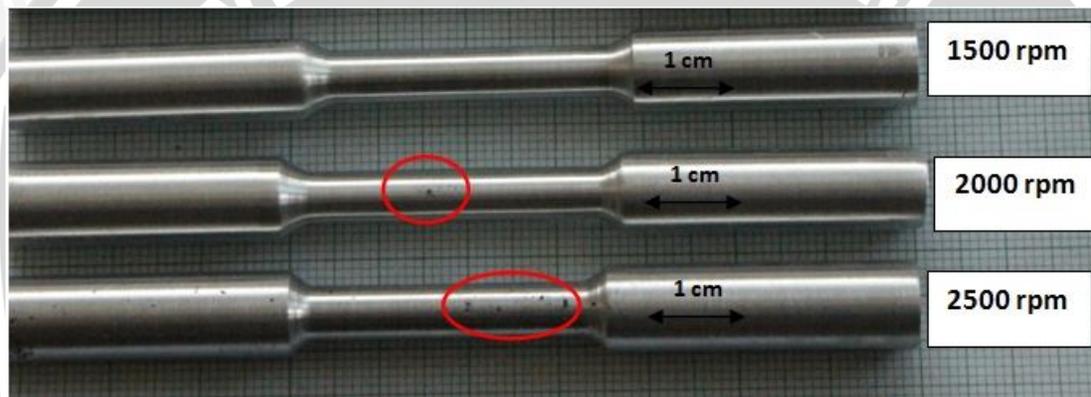
Peningkatan nilai kekuatan tarik disebabkan oleh adanya peningkatan gaya sentrifugal dengan adanya pengaruh gaya sentrifugal yang semakin meningkat dari cetakan yang berputar maka logam cair akan semakin cepat mengenai dinding cetakan, sehingga pendinginan akan semakin cepat, yang menyebabkan waktu pembentukan butir lebih singkat dan butiran lebih halus karena butir tidak sempat berkembang. Akibat adanya gaya sentrifugal, logam cair terlempar keluar dan tertekan pada permukaan cetakan yang menyebabkan logam cair memiliki butiran yang lebih padat, seakan-akan diperlakukan seperti pada proses tempa, sehingga sifat mekanis dari benda kerja semakin meningkat. Semakin kecil ukuran butiran dan padat maka semakin merata tegangan yang diterima butiran saat hasil coran menerima beban sehingga kekuatan tariknya akan meningkat. Ukuran butiran dapat dilihat pada hasil foto mikro (gambar 4.4).

Hal serupa juga di kemukakan dalam penelitian **S.R Chang**, dkk(2001), disebutkan bahwa semakin besar kecepatan putar cetakan maka logam cair akan tertekan kedinding cetakan sehingga pendinginan akan menjadi lebih cepat dan butir yang dihasilkan akan semakin halus.



Gambar 4.4 : Foto Mikro Daerah *Columnar* Hasil Pengecoran Sentrifugal Pembesaran 100 kali

Penurunan kekuatan tarik disebabkan tingginya kecepatan putar sehingga aliran logam cair yang melewati celah dari cetakan sangat cepat mengenai permukaan cetakan, sehingga butiran logam pada permukaan kecil dan padat tetapi butiran selanjutnya akan langsung membeku begitu batas butir mengenai butiran sebelumnya, sehingga tidak ada cukup waktu bagi udara untuk keluar. Hal ini menyebabkan bagian tengah (*columnar zone*) terdapat rongga antar butir yang disebabkan adanya udara terjebak pada bagian dalam spesimen. Adanya udara terjebak di bagian dalam spesimen menimbulkan cacat hasil coran dan menyebabkan sifat mekanik (kekuatan tarik) menurun. Sehingga ketika mengalami proses permesinan dalam pembuatan spesimen uji tarik, cacat ini masih ada pada permukaan spesimen uji tarik. Pada gambar 4.5 ditunjukkan cacat permukaan pada spesimen uji tarik



Gambar 4.5 : Cacat permukaan pada spesimen uji tarik

Ukuran butir dari suatu logam telah diketahui akan mempengaruhi sifat mekanis dari logam itu sendiri, misalnya kekuatan tarik. Jika dilihat pada foto mikro (gambar 4.4), ukuran butiran akan semakin kecil terlihat pada rentang kecepatan 500 rpm sampai 1500 rpm. Namun butiran akan kembali membesar pada kecepatan putar 2000 rpm hingga, hingga butiran menjadi tidak homogen pada kecepatan 2500 rpm.

Pada kecepatan putar 2000 rpm ukuran butiran kembali membesar, hal ini dikarenakan pada putaran 2000 rpm logam cair yang melewati celah dari cetakan langsung mengenai permukaan cetakan, sehingga butiran logam pada permukaan kecil dan padat tetapi butiran selanjutnya akan langsung membeku begitu batas butir mengenai butiran sebelumnya, akibatnya pada bagian *columnar zone* dari spesimen 2000 rpm memiliki tingkat kepadatan yang lebih

rendah dan menyebabkan adanya rongga antar butir. Dengan tingkat kepadatan yang lebih rendah menyebabkan struktur butir yang terbentuk kembali membesar. Struktur butir yang besar ini mengakibatkan dislokasi antar batas butir semakin besar yang menyebabkan turunnya kekuatan mekanis.

Dengan semakin bertambahnya kecepatan, yaitu pada kecepatan 2500 rpm aliran logam cair yang melewati celah pada cetakan sangat cepat, sehingga ketika mengenai permukaan cetakan logam cair menumbuk sangat keras pada permukaan cetakan. Hal ini mengakibatkan aliran logam cair di dalam cetakan menjadi acak. Dengan acaknya aliran logam cair ini mengakibatkan struktur butiran pada saat membeku menjadi tidak homogen. Hal ini dapat dilihat pada foto mikro kecepatan 2500 rpm gambar 4.4.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Kecepatan putar berpengaruh terhadap prosentase porositas dan kekuatan tarik.
2. Semakin tinggi kecepatan putar prosentase porositas semakin menurun, sedangkan Kekuatan tarik semakin meningkat pada kecepatan putar 500-1500 rpm dan menurun pada kecepatan 1500-2500 rpm.
3. Penurunan kekuatan tarik di karenakan ukuran butiran semakin tidak homogen.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang pengaruh kecepatan putar terhadap cacat porositas dan kekuatan tarik dengan menggunakan bahan aluminium paduan yang berbeda.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap sifat mekanik lainnya.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang pengaruh temperatur pemanasan terhadap distribusi cacat permukaan pada hasil coran.