PENGARUH TEKANAN VAKUM TERHADAP DISTRIBUSI POROSITAS INGOT DALAM PENGECORAN *RECYCLING* PISTON

SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

SALSABIILA VELINA AGUS
NIM. 115060201111014-62

KEMENTERIAN RISET TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN MESIN
MALANG
2015

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

LEMBAR PERSETUJUAN

PENGARUH TEKANAN VAKUM TERHADAP DISTRIBUSI POROSITAS INGOT DALAM PENGECORAN *RECYCLING* PISTON

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

SALSABIILA VELINA AGUS
NIM. 115060201111014-62

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I	Dosen Pembimbing II
Dr. Ir. Wahyono Suprapto, MT. Met	**Purnami, ST., MT**
NIP. 19551117 198601 1 001	**NIK. 19770707 200812 1 005**

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

repository.ub.ac.id

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH TEKANAN VAKUM TERHADAP DISTRIBUSI POROSITAS INGOT DALAM PENGECORAN *RECYCLING* PISTON

SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

SALSABIILA VELINA AGUS
NIM. 115060201111014-62

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 29 Juli 2015

Majelis Penguji

Skripsi I	Skripsi II
Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT	**Ir. Tjuk Oerbandono, M. Sc., CSE**
NIP. 19720903 199702 1 001	**NIP. 19670923 199303 1 002**

Skripsi III

Teguh Dwi Widodo, ST., M.Eng. PhD
NIK. 841123 06 3 1 0033

Mengetahui,
Ketua Program Studi S1
Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST., MT
NIP. 19750802 199903 2 002

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan ke hadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya yang telah diberikan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi dengan judul, "**Pengaruh Tekanan Vakum Terhadap Distribusi Porositas Ingot Dalam Pengecoran *Recycling* Piston***"* dengan baik. Sholawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada junjungan kita Rasulullah SAW.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini dapat terselesaikan berkat bantuan, petunjuk dan bimbingan dari berbagai pihak yang telah banyak membantu proses penyelesaian tugas akhir ini, oleh karena itu tak lupa penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, bapak Agus Nursanil, ibu Amboy Cerina Chandra, dan keluarga besar yang selalu memberikan kasih sayang, cinta, doa, motivasi, materiel, kepercayaan, dan dukungan kepada penulis. Tetap pengabdian saya hanya untuk keluarga.
2. Adik kandung Shafaa Latisya Agus yang senantiasa mendoakan dan memotivasi penulis.
3. Bapak Dr. Eng Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng, selaku ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.
4. Bapak Purnami, ST., MT., selaku sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang dan sebagai dosen pembimbing II yang telah memberikan bimbingan dan arahan untuk kesempurnaan penelitian dan penulisan tugas akhir ini.
5. Bapak Dr. Ir. Wahyono Suprapto, MT.Met selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan pengarahan, ilmu dan bimbingan selama proses penyusunan skripsi ini.
6. Bapak Dr. Eng. Denny Widhiyanuriyawan, ST., MT., selaku dosen pembimbing akademik saya.
7. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT selaku Majelis Penguji Skripsi I penulis.
8. Bapak Ir. Tjuk Oerbandono, M. Sc., CSE selaku Ketua Kelompok Konsentrasi Teknik Produksi Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya dan Majelis Penguji Skripsi II penulis.
9. Bapak Teguh Dwi Widodo, ST., M.Eng. PhD selaku Majelis Penguji Skripsi III penulis.

10. Dosen pengajar dan staf Jurusan Teknik Mesin dan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang telah banyak memberikan ilmu pengetahuan yang sangat mendukung baik dalam perkuliahan maupun selama penyusunan skripsi ini.
11. Dinand Hazbin Jadid yang memberikan doa dan semangat kepada penulis.
12. Temen seperjuangan Gigis Arinaldi yang selalu membantu dan memberi masukan pada skripsi ini.
13. Asisten Studio Gambar, Yogi, Rasyid, Kiki, Hammam, Jihad, Tamtam, Farhan, Fauzan, Lucky, Dimas, Arel, Mas Wildan, Mas Andika, Mbak Andita, Mas Sony, Mas Arki dan Mas Gigih yang telah banyak memberi masukan dan dukungan terhadap penulisan tugas akhir ini.
14. M'Gals 2011 Veronika, Ony, Sulis, Kiki, Marita dan Tuestika yang telah menjadi sahabat sekaligus keluarga dan telah memberi waktu, nasehat, dukungan,semangat dan doa kepada penulis.
15. Keluarga Besar Mahasiswa Mesin Universitas Brawijaya khususnya KAM11KAZE (angkatan 2011) terima kasih atas doa, kebersamaan, dan solidaritas selama masa kuliah.
16. Teman-teman kos KR 29 Mbak Vira, Mbak Diah, Mbak Yani, Tutik, Harum, April, Rani, Rizkita
17. Teman SMA Nimas, Nyak, Yesica, Abidah, Henita
18. Laboratorium αβγ yang telah berkontribusi selama proses penelitian.
19. Semua pihak yang telah membantu terselesainya skripsi ini, yang tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu.

Penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi penyusunan yang baik karena penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna.

Akhir kata, penulis berharap agar skripsi ini dapat berguna bagi kita semua sehingga dapat menjadi acuan untuk penelitian lebih lanjut untuk kemajuan kita bersama.

Malang, Juni 2015

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR ..... **i**
DAFTAR ISI ..... **iii**
DAFTAR TABEL ..... **vi**
DAFTAR GAMBAR ..... **vii**
DAFTAR LAMPIRAN ..... **ix**
RINGKASAN ..... **x**

BAB I PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Batasan Masalah 3
1.4 Tujuan Penelitian 3
1.5 Manfaat Penelitian 3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA **4**
2.1 Penelitian Sebelumnya 4
2.2 Aluminium 4
2.2.1 Sifat-sifat aluminium 5
2.2.2 Unsur Paduan Aluminium 7
2.2.3 Penggolongan Paduan Aluminium 7
2.3 Silikon 9
2.4 Paduan Aluminium-Silikon (Al-Si) 9
2.5 Pengecoran Logam 11
2.5.1 Proses-proses Pengecoran Logam 11
2.5.2 Tungku Vakum 13
2.6 Proses Peleburan Logam 13
2.6.1 Peleburan Aluminium dan Silikon 14
2.6.2 Kelarutan Gas pada Cairan Aluminium dan Paduan 15
2.7 Solidifikasi 17
2.8 Strukturmikro Paduan Al-Si 18
2.9 *Recycling* Piston Aluminium 19

2.10 Pengujian Porositas 20
2.10.1 Porositas Pada Pengecoran Logam 20
2.10.2 Jenis-jenis Porositas Pada Pengecoran Logam 21
2.10.3 Pengujian Porositas 21
2.10.4 Pengukuran Densitas Menggunakan Metode Piknometri 22
2.11 Tekanan Vakum Terhadap Porositas 23
2.12 Hipotesis 24

BAB III METODOLOGI PENELITIAN 26
3.1 Metode Penelitian 26
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian 26
3.3 Variabel Penelitian 26
3.3.1 Variabel bebas 26
3.3.2 Variabel terikat 26
3.3.3 Variabel terkontrol 26
3.4 Persiapan Penelitian 27
3.4.1 Alat 27
3.4.2 Bahan 29
3.5 Skema Tungku Vakum 30
3.6 Prosedur Penelitian 30
3.7 Rancangan Hasil Percobaan 32
3.7.1 Rancangan Tabel Hasil Percobaan 32
3.8 Diagram Alir Penelitian 33

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 34
4.1 Analisa Data 34
4.1.1 Hasil foto mikrostruktur 34
4.1.2 Data Hasil Pengujian 35
4.1.3 Perhitungan Densitas dan Porositas 37
4.2 Analisa Varian Satu Arah 43
4.3 Pembahasan 50
4.3.1 Pembahasan Grafik 50

BAB V PENUTUP **54**
5.1 Kesimpulan 54
5.2 Saran 54
DAFTAR PUSTAKA **55**
LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

NO	JUDUL	HALAMAN
Tabel 2.1	Sifat fisik Aluminium Murni	6
Tabel 2.2	Sistem Penamaan Aluminium Tempa	8
Tabel 2.3	Sistem Penamaan Aluminium Tuang	8
Tabel 2.4	Titik Cair dan Temperatur dari Paduan Aluminium	15
Tabel 3.1	Rancangan Tabel Hasil Pengujian Porositas	32
Tabel 4.1	Data spesimen pengujian piknometri spesimen utuh	36
Tabel 4.2	Data spesimen pengujian piknometri pemotongan inti	36
Tabel 4.3	Data spesimen pengujian piknometri diameter tengah	37
Tabel 4.4	Data uji komposisi kimia	38
Tabel 4.5	Data hasil perhitungan *apparent density* pada spesimen utuh	39
Tabel 4.6	Data hasil perhitungan *apparent density* pada spesimen yang intinya berlubang	39
Tabel 4.7	Data hasil perhitungan *apparent density* pada spesimen diameter tengah	40
Tabel 4.8	Data hasil pengujian porositas spesimen utuh	41
Tabel 4.9	Data hasil pengujian porositas spesimen yang intinya berlubang	41
Tabel 4.10	Data spesimen pengujian porositas diameter inti	42
Tabel 4.11	Data spesimen pengujian piknometri diameter tengah	42
Tabel 4.12	Data spesimen pengujian distribusi porositas	43
Tabel 4.13	Data Prosentase Porositas Setiap Segmen untuk RAL Faktorial	44
Tabel 4.14	Data untuk menghitung jumlah kuadrat porositas dan tekanan vakum	46
Tabel 4.15	Analisis Ragam RAL Faktorial	48
Tabel 4.16	Data uji signifikan pada spesimen utuh	49
Tabel 4.17	Data uji signifikan pada spesimen diameter luar	49
Tabel 4.18	Data uji signifikan pada spesimen diameter tengah	49
Tabel 4.19	Data uji signifikan pada spesimen diameter inti	49

DAFTAR GAMBAR

NO	JUDUL	HALAMAN
Gambar 2.1	Mikrograf LOM coran pada Al ± 8% Si *alloy*, menunjukkan distribusi porositas dalam: (a) konvensional, (b) *vacuum die casting*	4
Gambar 2.2	Diagram Fasa Al-Si	10
Gambar 2.3	Proses pengecoran vakum	13
Gambar 2.4	Pengaruh temperatur terhadap kelarutan hidrogen dalam aluminium	16
Gambar 2.5	(a) Struktur Logam Murni, (b) Struktur Logam Paduan	17
Gambar 2.6	Grafik Struktur Pembekuan (a) Logam murni, (b) Logam paduan	17
Gambar 2.7	Strukturmikro paduan Al-Si	19
Gambar 2.8	Piston	20
Gambar 2.9	Skema Piknometri	23
Gambar 2.10	Tekanan absolut, *gage*, dan vakum	24
Gambar 2.11	Pengaruh tekanan vakum	24
Gambar 3.1	Alat-alat ukur yang digunakan dalam penelitian (a) Timbangan elektrik, (b) *Infrared Thermometer*, (c) *Stopwatch*, (d) *Pressure gage* vakum	27
Gambar 3.2	Tungku Vakum (a) Tungku Pengecoran, (b) Alat pemvakuman	28
Gambar 3.3	Wadah Pengecoran	28
Gambar 3.4	Alat bantu pengecoran yang digunakan (a) Pengaduk, (b) Blower	29
Gambar 3.5	Sarung Tangan	29
Gambar 3.6	Piston Bekas	29
Gambar 3.7	Skema Tungku Vakum	30
Gambar 3.8	Piston Bekas (a) Sebelum dibersihkan, (b) Sesudah dibersihkan	31
Gambar 3.9	Piston yang sudah dipotong kecil-kecil	31
Gambar 3.10	Diagram alir penelitian	33
Gambar 4.1	Foto mikro sebelum dicor pada pembesaran 100x	34
Gambar 4.2	Hasil foto mikro sesudah dicor pada pembesaran 100x (A) -50 cmHg (B) -10cmHg	34

Gambar 4.3 Hasil Foto Makro
(A) -50 cmHg (B) -10 cmHg 35
Gambar 4.4 Grafik Hubungan Tekanan Vakum Terhadap Distribusi Porositas pada Spesimen Utuh 50
Gambar 4.5 Grafik Hubungan Tekanan Vakum Terhadap Distribusi Porositas pada Spesimen Diameter Luar 51
Gambar 4.6 Grafik Hubungan Tekanan Vakum Terhadap Distribusi Porositas pada Spesimen Diameter Tengah 51
Gambar 4.7 Grafik Hubungan Tekanan Vakum Terhadap Distribusi Porositas pada Spesimen Diameter Inti 52

DAFTAR LAMPIRAN

NO	JUDUL
Lampiran 1	Pengujian komposisi kimia
Lampiran 2	Tabel *Density of Air-Free Water* ASTM B311-93
Lampiran 3	Data hasil pengujian berat spesimen

repository.ub.ac.id

RINGKASAN

Salsabiila Velina Agus, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2015, Pengaruh Tekanan Vakum Terhadap Distribusi Porositas Ingot Dalam Pengecoran *Recycling* Piston, dosen Pembimbing: Dr. Ir. Wahyono Suprapto, MT. Met dan Purnami, ST., MT.

Industri manufaktur membutuhkan bahan baku yang mudah didapat dan berkualitas. Salah satu yang dapat memenuhi permintaan tersebut adalah *recycling*. Penggunaan bahan daur ulang diharapkan menghasilkan sifat mekanik yang tidak beda jauh dengan bahan baku murni. Salah satu bahan yang bisa diproses daur ulang yaitu Aluminium. Pengecoran merupakan proses manufaktur yang sering digunakan dalam industri. Untuk mengetahui kualitas hasil coran dapat ditentukan adanya cacat coran dalam produk cor tesebut. Cacat yang sering timbul dalam proses pengecoran yaitu cacat porositas. Metode untuk meminimalisir cacat porositas yaitu dengan menggunakan pengecoran secara vakum. Sehingga tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui sejauh mana pengaruh tekanan vakum terhadap distribusi porositas dalam pengecoran *recycling* piston dan memperbaiki kualitas produk daur ulang paduan Al-Si dengan proses pengecoran sistem vakum.

Penelitian ini menggunakan paduan Al-Si yang berasal dari piston bekas dengan variasi tekanan vakum -10, -20, -30, -40, dan -50 cmHg pada saat peleburan hingga solidifikasi dengan suhu 600^{o}C waktu holding 10 menit. Kemudian spesimen dibagi per segmen untuk diuji piknometri untuk mengetahui distribusi porositas. Untuk hasil pengujian porositas pada setiap spesimen didapatkan rata-rata prosentase porositas terendah ada pada spesimen dengan tekanan vakum -50 cmHg, secara berurutan porositas diameter luar, tengah dan inti yaitu 0,81 %; 1,1 %; dan 1,46 %. Sedangkan yang memiliki rata-rata prosentase porositas tertinggi adalah spesimen dengan tekanan vakum -10 cmHg yaitu 3,1 %; 3,5 %; dan 5,04 %. Dari hasil foto mikrostruktur didapatkan bentuk visualisasi dari cacat porositas pada spesimen tekanan vakum -50 cmHg memiliki jumlah porositas yang sedikit dan bentuknya yang kecil daripada spesimen dengan tekanan vakum -10 cmHg memiliki jumlah porositas yang tersebar dan memiliki ukuran yang besar.

Dari uji porositas dan foto mikrostruktur pada penelitian ini dapat diketahui bahwa semakin rendah tekanan vakum yang diberikan maka gas hidrogen yang terperangkap di dalam coran paduan Al-Si daur ulang cair akan berkurang. Hal ini dikarenakan gas hidrogen yang terperangkap dihisap keluar dengan paksa sehingga distribusi cacat porositas semakin berkurang.

***Kata Kunci** : tekanan vakum, distribusi porositas, paduan Al-Si, recycling aluminium, kelarutan gas*

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perubahan jaman dari waktu ke waktu menjadikan sektor industri manufaktur di Indonesia berkembang pesat, sehingga membuat para industri manufaktur terutama industri otomotif tergantung pada persediaan bahan baku. Sekitar 64% dari total industri di Indonesia masih mengandalkan bahan baku, bahan penolong, serta barang modal import untuk mendukung proses produksi (Kementerian Perindustrian, 2014).

Salah satu bahan baku yang selalu digunakan dalam industri manufaktur yaitu Aluminium. Hal ini dikarenakan aluminium memiliki titik cair rendah, sifat tahan terhadap korosi dan sifat mekanik yang baik jika dipadukan dengan unsur yang lain seperti Cu, Si, Mg, Zn, Mn, Ni. Menurut Ager, *et al* (2014) menyatakan permintaan di seluruh dunia untuk aluminium adalah sekitar 29 juta ton per tahun. Sekitar 22 juta ton aluminium baru dan 7 juta ton didaur ulang skrap aluminium. Sehingga penggunaan daur ulang aluminium sangat menghemat penggunaan bahan baku, sehingga mampu memperkecil biaya dalam produksi.

Penggunaan Aluminium untuk memenuhi kebutuhan industri manufaktur cenderung terus meningkat khususnya di bidang industri otomotif. Ketersedian bahan baku aluminium yang semakin menipis diperlukannya bahan daur ulang aluminium. Contohnya piston yang merupakan paduan Aluminium – Silikon sebagai komponen mesin paling penting dalam kendaraan bermotor. Piston bergerak tanpa henti selama mesin hidup, selalu menerima temperatur, tekanan, dan gesekan yang tinggi sehingga memiliki sifat mekanik yang berdaya tahan tinggi. Karena itu digunakan limbah piston yang sangat mudah didapat dan piston memiliki umur pakai sehingga setiap kendaraan bermotor berpotensi menghasilkan limbah piston. Jadi, diharapkan hasil daur ulang piston bisa memiliki sifat mekanik yang tidak beda jauh dengan piston berbahan ingot primer.

Ada banyak metode proses manufaktur yang dilakukan dalam menghasilkan produk industri yang berkualitas. Salah satu proses manufaktur yang sering digunakan dalam bidang industri manufaktur adalah proses pengecoran (*casting)*. Proses Pengecoran *(casting)* adalah salah satu teknik pembuatan produk dimana logam dicairkan dalam tungku peleburan kemudian dituang ke dalam rongga cetakan sehingga menghasilkan suatu produk cor (coran). Coran dibuat dari logam yang dicairkan, dituang ke dalam cetakan, kemudian dibiarkan mendingin dan membeku (Surdia dan Chijiwa, 1985).

Cacat coran sangat sulit dihindari dalam proses pengecoran paduan aluminium, tetapi cacat coran dalam produk cor harus dibuat sekecil mungkin. Ketidaksesuaian proses pengecoran sering menimbulkan cacat coran yang mengakibatkan kualitas produk turun atau produk harus di daur ulang (Suprapto, 2011).

Ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi hasil coran, mulai dari suhu peleburan dan suhu penuangan. Faktor suhu sangat berpengaruh pada laju pembekuan karena akan mempengaruhi sifat mekanis coran paduan Aluminium. Semakin meningkatnya temperatur akan menghasilkan bentuk struktur mikro dan sifat mekanis yang berbeda. Hal ini dikarenakan semakin tingginya temperatur peleburan dan penuangan menyebabkan terjebaknya gas hidrogen semakin banyak.

Berbagai metode dikembangkan untuk mendapatkan produk pengecoran yang lebih baik dari yang sudah ada hingga munculnya teknologi pengecoran logam yang mampu menghasilkan kualitas coran yang baik. Dengan menggunakan tungku vakum ini cacat porositas dapat diminimalisir karena adanya proses pemvakuman. Hal ini dikarenakan kelarutan gas yang menjadi penyebab terjadinya porositas akan dihisap keluar sehingga menurunkan kelarutan gas hidrogen dalam aluminium cair, sehingga cacat porositas dapat berkurang

Sesuai penjelasan di atas maka penulis ingin melakukan penelitian tentang pengaruh tekanan vakum terhadap distribusi porositas ingot dalam pengecoran *recycling* piston. Penelitian ini diharapkan dapat menambah referensi di bidang pengecoran logam agar mendapatkan hasil produk yang berkualitas.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun yang menjadi rumusan masalah dalam pengerjaan penelitian ini adalah bagaimana pengaruh tekanan vakum terhadap distribusi porositas ingot dalam pengecoran *recycling* piston.

1.3 Batasan Masalah

Akibat banyaknya kemungkinan yang terjadi, permasalahan harus dibatasi. Pembatasan dan ruang lingkup masalah harus terungkapkan dengan jelas. Maka dari itu, penelitian ini difokuskan pada:

1. Paduan Aluminium-Silikon
2. Terjadinya solidifikasi pada Aluminium-Silikon
3. Porositas yang terjadi yang disebabkan oleh kelarutan gas hidrogen

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui sejauh mana pengaruh tekanan vakum terhadap distribusi porositas dalam pengecoran *recycling* piston pada tungku vakum.
2. Memperbaiki kualitas produk daur ulang paduan Al-Si dengan proses pengecoran sistem vakum

1.5 Manfaat Penelitian

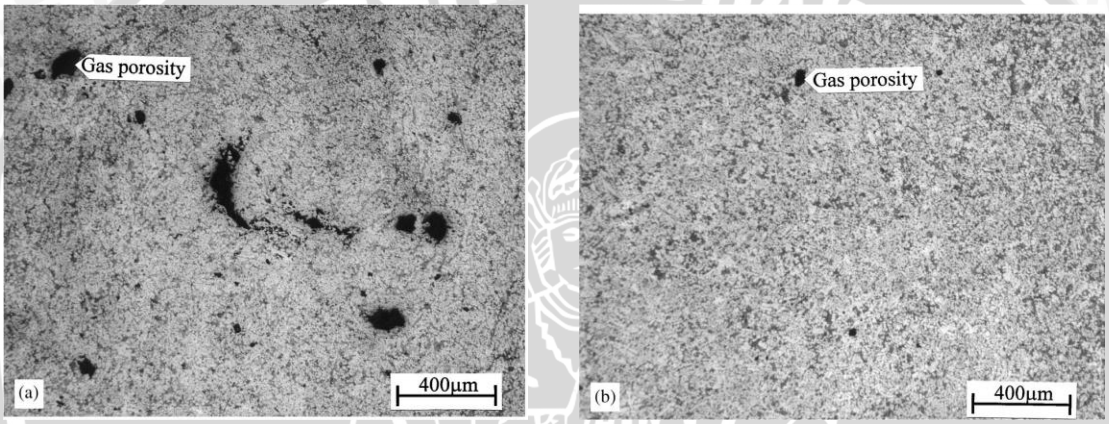
Adapun manfaat penelitian ini adalah :

1. Menghasilkan produk yang berkualitas
2. Meningkatkan produktivitas produk dengan mengetahui penyebab cacat porositas yang terjadi

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Niu, *et al.* (2000) dalam penelitiannya ditemukan bahwa volume porositas gas berkurang dan ukuran pori menjadi lebih kecil dalam coran paduan Al – Si dengan kadar silikon sebesar 5, 8, dan 18 wt% dengan menggunakan bantuan vakum selama *die casting*. Analisis metalurgi menunjukkan bahwa coran dengan bantuan vakum menghasilkan sifat mekanik yang baik.



Gambar 2.1 Mikrograf LOM coran pada Al ± 8% Si *alloy*, menunjukkan distribusi porositas dalam : (a) konvensional, (b) *vacuum die casting*
Sumber : Niu *et al.* (2000)

Mbuya, *et al*. (2010) dalam penelitiannya menjelaskan bahwa paduan *recycling* dapat digunakan kembali untuk menghasilkan produk yang sama tanpa mengalami penurunan kualitas yang signifikan.

Alatas (2011) dalam penelitiannya menyatakan bahwa ukuran gelembung gas pada pengecoran sistem vakum cenderung lebih kecil dibandingkan dengan pengecoran non vakum. Hal ini dikarenakan gas hidrogen yang terkandung akan berdifusi ke luar logam sehingga porositas yang terjadi akan semakin sedikit

2.2 Aluminium

Aluminium merupakan elemen logam kedua yang paling banyak di bumi. Perkembangan industri manufaktur saat ini menuntut karakteristik sebuah material yang mampu konsisten menghasilkan kualitas yang unik. Dalam aspek kehidupan, aluminium dapat diolah menjadi berbagai macam produk dengan lebih ekonomis.

Fleksibilitas dari aluminium membuat logam yang paling banyak digunakan setelah baja. Aluminium berasal dari bauksit mineral. Bauksit dikonversi menjadi aluminium oksida (alumina) melalui Proses Bayer. Alumina tersebut kemudian dikonversi ke logam aluminium dengan menggunakan sel-sel elektrolit dan Proses Hall-Heroult.

Aluminium merupakan material logam *non ferrous* yang ringan dengan densitas 2.7 gram/cm^3 setelah Magnesium (1.7 gram/cm^3) dan Berilium (1.85 gram/cm^3) atau sekitar 1/3 dari berat jenis besi (7.83 gram/cm^3), tembaga (8,93 gram/cm^3) atau kuningan (8.53 gram/cm^3). Dan alumunium memiliki titik cair yaitu 660ºC.

Aluminium dapat didaur ulang tanpa kehilangan kualitas, dan daur ulang menghemat 95% dari energi yang dibutuhkan untuk memproduksi aluminium dari bijih. Sejak 1980-an, tingkat permintaan untuk aluminium lebih dari 50%. Kelemahan serius aluminium dari sudut pandang rekayasa yaitu modulus yang relatif rendah, yang juga sekitar sepertiga dari baja. Modulus elastisitas tidak bisa secara signifikan diubah oleh paduan atau perlakuan panas, biasanya diperlukan untuk memberikan kekakuan dan lipatan (DeGarmo, 2008 : 145).

Aluminium murni yang dijual di pasaran tidak pernah mengandung 100% aluminium, dikarenakan selalu ada pengotor yang terkandung di dalamnya. Penyebab adanya pengotor di dalam aluminium murni adalah gelembung gas yang masuk akibat proses peleburan dan pendinginan/pengecoran yang tidak sempurna, kualitas material cetakan yang tidak baik, atau pengotor lainnya akibat dari bahan baku material yang tidak berkualitas.

2.2.1 Sifat-Sifat Aluminium

Sifat-sifat aluminium yang baik membuat logam ini dan paduannya paling ekonomis dan menarik untuk berbagai macam produk industri yang menunjang penampilan, ringan, *fabricability*, sifat fisik, sifat mekanik, dan ketahanan korosi.

Aluminium memiliki ketahanan korosi yang baik dalam atmosfer biasa karena aluminium merupakan material yang reaktif sehingga mudah teroksidasi dengan oksigen membentuk lapisan aluminium oksida, alumina (Al_2O_3) dan membuatnya tahan korosi yang baik. Namun bila kadar Fe, Cu dan Ni ditambahkan akan menurunkan sifat tahan korosi karena kadar aluminanya menurun. Penambahkan Mg, Mn tidak mempengaruhi sifat tahan korosinya.

Aluminium memiliki sifat *high strength to weight ratio*, sifat ini disebabkan oleh struktur FCC yang dimiliki oleh aluminium dan densitas aluminium yang rendah. Dan aluminium merupakan konduktivitas termal yang sangat baik. Konduktivitas termal paduan aluminium sekitar 50 sampai 60% dari tembaga, dan menguntungkan dalam penukar panas, evaporator, listrik peralatan pemanas dan peralatan, dan otomotif kepala silinder dan radiator (ASM Handbook vol. 2, 2004 : 18). Aluminium juga tidak beracun dan secara rutin digunakan dalam wadah untuk makanan dan minuman.

Sifat aluminium yang ulet, mudah dimesin dan dibentuk dengan kekuatan tarik untuk aluminium murni sekitar 4~5 kgf/mm^2 dan bila diproses penguatan regangan seperti dirol dingin kekuatan bisa mencapai ± 15 kgf/mm^2 menyebabkan aluminum aplikatif untuk berbagai jenis komponen mesin. Secara umum sifat fisik aluminium dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1. Sifat fisik Aluminium Murni.

Sifat – Sifat	**Kemurnian Al (%)**	
	99,996	>99,0
Massa Jenis (20 ºC)	2,6989	2,71
Titik Cair (ºC)	660,2	653 – 657
Panas Jenis (cal/gºC) (100 ºC)	0,2226	0,2297
Hantaran Listrik	64,94	59 (dianil)
Tahanan Listrik Koefisien Temperatur (/ºC)	0,00429	0,0115
Koefisien Pemuaian (20–100 ºC)	23,86 X 10^{-6}	23,5 X 10^{-6}
Jenis Kristal, konstanta kisi	FCC, a = 4,013 Kx	FCC, a = 4,04 kX

Sumber : Surdia dan Chijiwa, 1975

Untuk menghasilkan sifat mekanik aluminium yang diinginkan, tidak saja dipengaruhi oleh komposisi kimianya, tetapi jenis perlakuan yang dilakukan (*heat treatment*). Untuk mengetahui jenis perlakuan yang diberikan maka ditambahkan huruf dibelakang angka kode paduannya. Untuk huruf-huruf yang biasa digunakan adalah F untuk *as fabricated*, O untuk *annealed, recrystallized*, H untuk *strain hardened*, W untuk *solution heat treated* atau T untuk *thermally treated*.

2.2.2 Unsur Paduan Aluminium

Penambahan unsur-unsur paduan hingga konsentrasi tertentu akan mempengaruhi sifat mekanik pada Aluminium itu sendiri, paduan aluminium seperti: besi, chromium, magnesium, mangan, silikon, tembaga, dan *zinc* masing-masing memberikan pengaruh sebagai berikut :

1. Besi (Fe) digunakan untuk memperbaiki ketahanan *hot tearing*, dan mengurangi kecenderungan *die sticking* atau *soldering* dalam cetakan logam, memperbaiki keuletan dan mampu dimesin. Akan tetapi jumlahnya harus dibatasi karena kecenderungan membentuk campuran atau fasa tak larut akan berpengaruh jelek pada *casting*.
2. Chromium (Cr) digunakan dalam paduan aluminium untuk menekan pertumbuhan butir, fenomena ini terjadi karena fasa Cr_7Al mempunyai kelarutan yang rendah dan Cr memperbaiki ketahanan korosi dalam paduan aluminium.
3. Magnesium (Mg) berkonstribusi meningkatkan dan mempermudah pengerjaan mesin dan memiliki sifat daya tahan terhadap korosi yang cukup baik.
4. Manganese (Mn) dalam paduan aluminium dianggap sebagai pengotor dan keberadaannya dikontrol sekecil mungkin. Apabila berkombinasi dengan *ferro* membentuk fasa *insoluble*.
5. Silikon (Si) digunakan untuk meningkatkan karakteristik pengecoran dengan memperbaiki fluiditas, ketahanan *hot tearing* dan *feeding*. Jumlah maksimum Si dalam proses pengecoran tergantung pada kebutuhannya, untuk solidifikasi lambat (*sand* dan *investment*) sekitar 5-7%Si, untuk cetakan permanen sekitar 7-9%Si, dan untuk *die casting* sekitar 8-12%.
6. Tembaga (Cu) digunakan untuk memperbaiki kekuatan dan kekerasan dalam paduan *heat treatable*, tetapi unsur ini akan menurunkan ketahanan korosi, *hot tearing*, dan *castability*.
7. *Zinc* (Zn) ditambahkan kedalam paduan aluminium karena memberikan pengaruh yang baik pada *age hardening*.

2.2.3 Penggolongan Paduan Aluminium

Sebuah sistem empat digit yang dilengkapi dengan titik desimal digunakan untuk mengidentifikasi aluminium dan paduan aluminium dalam bentuk coran dan pengecoran ingot. Penetapan standarisasi logam aluminium menurut *American Standart Testing Materials* (ASTM) mempergunakan angka dalam menetapkan penggolongan

aluminium paduan. Berikut adalah cara penggolongan aluminium berdasarkan paduannya:

Tabel 2.2 Sistem Penamaan Paduan Aluminium Tempa

Unsur Paduan Utama	No. Seri
Aluminium, 99 % dan lebih besar	1xxx
Copper	2xxx
Manganese	3xxx
Silicon	4xxx
Magnesium	5xxx
Magnesium dan Silicon	6xxx
Zinc	7xxx
Unsur lain	8xxx

Sumber: DeGarmo, 2008 : 147

Cara pembacaan:

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

Contoh pembacaan :

ASTM 2017 artinya Adalah paduan aluminium – cupper tanpa perhatian khusus dan mengalami modifikasi dari paduan Al – Cu.

Dan berikut paduan aluminium tuang menurut *Aluminum Association of America (AA)* yang dirancang dalam 9 seri, yaitu

Tabel 2.3 Sistem Penamaan Aluminium Tuang

No. Seri	Komposisi Paduan
1xx.x	Aluminium murni
2xx.x	Paduan aluminium – tembaga
3xx.x	Paduan aluminium – silicon – magnesium
4xx.x	Paduan aluminium – silicon
5xx.x	Paduan alumminium – magnesium
6xx.x	Jarang digunakan
7xx.x	Paduan aluminium – seng
8xx.x	Paduan aluminium – timah

Sumber : ASM Handbook Vol. 2. 2004

Digit pertama mengidentifikasikan grup paduan, digit kedua dan ketiga mengidentifikasikan paduan aluminium atau kemurnian dari aluminium tersebut. Digit terakhir dipisahkan oleh titik desimal, menunjukkan bentuk produk (pengecoran atau ingot).

2.3 Silikon

Silikon adalah suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang Si dengan nomor atom 14. Unsur kimia ini ditemukan oleh Jöns Jakob Berzelius. Keberadaan silikon paling banyak terdistribusi pada debu, pasir, planetoid, dan planet dalam berbagai bentuk seperti silikon dioksida atau silikat. Lebih dari 90% kerak bumi terdiri dari mineral silikat, sehingga menjadikan silikon sebagai unsur kedua paling melimpah (sekitar 28% massa) setelah oksigen.

Beberapa karakteristik silikon yaitu: tak berbau, tak berwarna, kedap air, serta tak rusak akibat bahan kimia dan proses oksidasi, tahan dalam suhu tinggi, serta tidak dapat menghantarkan listrik. Produk berbasis silikon memberikan keuntungan di setiap segmen industri manufaktur saat ini. Silikon menyediakan spesifikasi yang baik seperti stabilitas suhu tinggi dan ketahanan terhadap penuaan dan serangan kimia (Dow Corning Corporation, 2002).

Silikon mempunyai fungsi sebagai komponen batu silikat dan unsur murninya sangat jarang ditemukan di alam. Oleh karena itu, silikon dihasilkan dengan mereduksi kuarsa dan pasir dengan karbon berkualitas tinggi dengan menggunakan alat tungku listrik dengan menggunakan elektroda karbon.

2.4 Paduan Aluminium Silikon (Al-Si)

Unsur aluminium sering dipakai sebagai paduan berbagai logam murni, karena dengan penambahan unsur-unsur lain akan dapat memperbaiki sifat-sifat mekanisnya, sifat mampu cornya. Unsur-unsur paduan itu adalah tembaga, silikon, magnesium, mangan, nikel, dan sebagainya yang dapat merubah sifat paduan aluminium.

Paduan Al-Si ditemukan oleh A. Pacz tahun 1921. Paduan Al-Si yang telah diberi perlakuan panas dinamakan silumin. Sifat-sifat silumin dapat diperbaiki oleh perlakuan panas dan sedikit perbaikan 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 γ, dan yang hanya mendapat perlakuan *aging* saja dinamakan silumin β. Paduan Al-Si yang

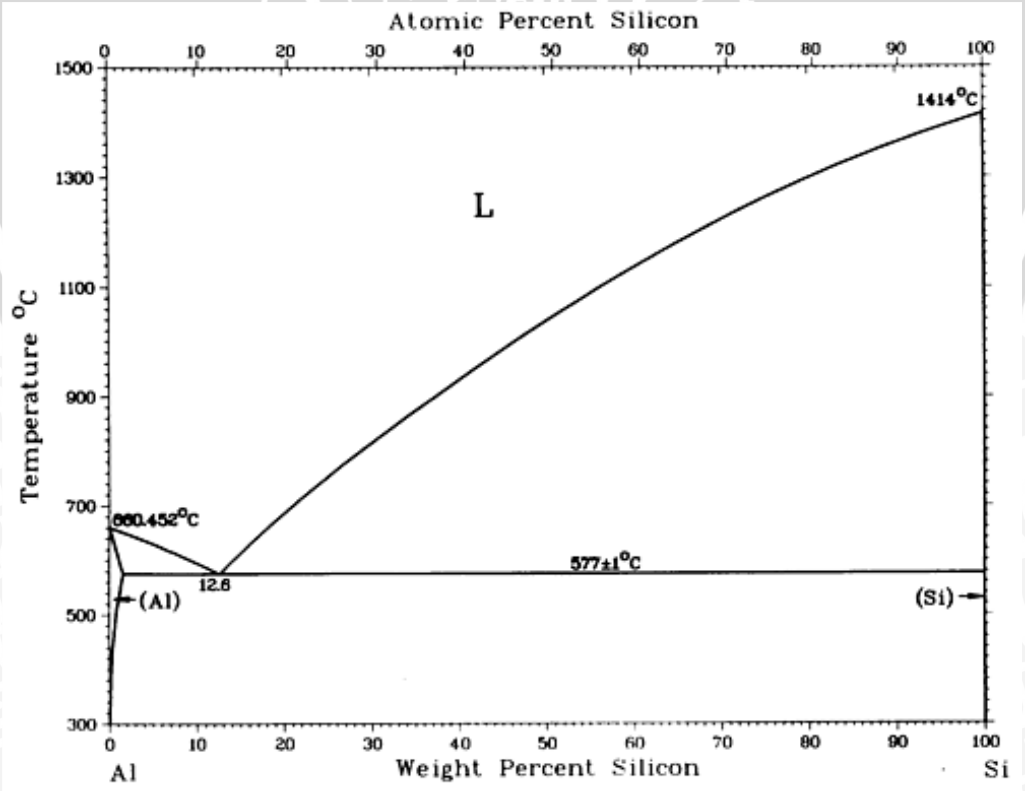
memerlukan perlakuan panas ditambah dengan Mg juga Cu serta Ni untuk memberikan kekerasan pada saat panas. Bahan paduan ini biasa dipakai untuk torak motor (Surdia, 1992). Kelebihan dari unsur silikon (Si) dalam paduan aluminium yaitu :

- Meningkatkan sifat mampu alir (*high fluidity*).
- Sangat baik kecairannya
- Ringan dan sifat koefisien pemuaian kecil
- Mempunyai ketahanan korosi yang sangat baik
- Memperbaiki sifat-sifat atau karakteristik coran
- Penghantar arus listrik dan panas yang baik
- Menurunkan penyusutan dalam hasil cor
- Tahan terhadap *hot tear* (retak panas pada saat solidifikasi karena adanya kontraksi)

Kelemahan dari unsur silikon (Si) berupa:

- Penurunan sifat keuletan bahan terhadap beban kejut jika kandungan silikon terlalu tinggi

Silicon mampu meningkatkan fluiditas logam, sehingga lebih mudah untuk menghasilkan bentuk yang kompleks atau bagian yang tipis, tapi silikon yang tinggi juga menghasilkan bahan abrasif sehingga sulit untuk dipotong (DeGarmo, 2008 : 150).



Gambar 2.2 Diagram Fasa Al-Si
Sumber : ASM Handbook Vol. 3, 2004 : 321

Kandungan silikon pada diagram fasa Al-Si ini terdiri dari 3 macam, yaitu:

a. *Hipoeutectic*, adalah kondisi dimana kandungan silikon kurang dari 12,6% (kaya aluminium) dengan struktur akhir yang terbentuk adalah struktur *ferrite*.
b. *Eutectic*, adalah kondisi dimana kandungan silikon didalam paduan Al-Si sekitar 12,6%.
c. *Hypereutectic*, adalah kondisi dimana kandungan silikon lebih dari 12,6% (kaya *silicon*). Karakteristik dari kondisi ini adalah ketahanan aus meningkat, ekspansi termal rendah, dan ketahanan retak panas yang baik.

2.5 Pengecoran logam

Pengecoran logam merupakan proses dimana logam dibentuk dengan cara mencairkan logam di dalam dapur kemudian menuangkan logam cair tersebut ke dalam cetakan, kemudian dibiarkan mengalami proses pembekuan (solidifikasi) sehingga terbentuk logam padat yang sesuai dengan cetakannya. Proses pengecoran mampu memproduksi komponen kompleks dalam logam apapun, mulai berat kurang dari satu ons atau berat beberapa ratus ton. Pengecoran merupakan proses yang ekonomis untuk memproduksi bagian prototipe.

Proses pengecoran logam memiliki kelebihan dibandingkan dengan proses pembentukan yang lain. Kelebihannya antara lain (Heine, 1990 : 1) :

1. Konstruksi dapat lebih sederhana
2. Dapat digunakan untuk produksi massal
3. Dengan proses ini kita dapat memperoleh sifat-sifat yang diinginkan
4. Ukuran bervariasi, baik besar maupun kecil
5. Untuk berbagai macam logam

2.5.1 Proses-proses Pengecoran Logam

Teknik pengecoran salah satu cabang dari teknik produksi untuk menghasilkan kualitas produk, kemampuan produksi yang dapat digunakan untuk produksi masal dengan tingkat ketelitian yang baik dan biaya produksi dalam memproduksi benda-benda coran. Metode pengecoran logam memiliki banyak fungsional dan manfaat ekonomis yang ditawarkan dibandingkan dengan metode lain. Proses pengecoran dibedakan menjadi dua macam, yaitu *Traditional casting* dan *Non-traditional/contemporary casting.*

a. Teknik Tradisional :
   1. Pengecoran dengan cetakan pasir (*Sand-Mold Casting).*
   2. Pengecoran dengan menggunakan Pasir Basah (*Dry-Sand Casting).*
   3. *Shell-Mold Casting.*
   4. Pengecoran dengan sistem vacum *(Vacuum-Mold Casting).*
   5. Pengecoran dengan cetakan semen (*Cement-Mold Casting).*

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

Perbedaan dari dua macam proses pengecoran ini yaitu pada proses dan hasil jadi coran yang dihasilkan. Proses pengecoran dengan cetakan pasir yang dipengaruhi gaya gravitasi masih banyak digunakan di industri-industri manufaktur yang berskala kecil karena biaya yang digunakan relatif rendah dibandingkan metode lainnya. Produk yang dihasilkan memiliki cacat yang relatif banyak dan menggunakan proses *finishing* yang memakan waktu lama. Sedangkan pada proses pengecoran *non-tradisional* dimana proses yang sudah digerakan dengan mesin-mesin yang terkontrol oleh progam yang ada. Dari hasil produk coran tidak perlu adanya proses *finishing* kerena tingkat kepressisian hasil coran sudah baik dengan adanya gaya tekan yang diberikan. Waktu proses produksi yang digunakan pun juga singkat.

Ada beberapa jenis cetakan dalam proses pengecoran logam yaitu :

1. Cetakan tidak permanen (*expendable mold*); hanya dapat digunakan satu kali saja. Contohnya : cetakan pasir (*sand casting*), cetakan kulit (*shell mold casting*), cetakan presisi (*precisian casting*).
2. Cetakan permanen (*permanent mold*); dapat digunakan berulang-ulang (biasanya dibuat dari logam).Contoh : *gravity permanent mold casting***,** *pressure die casting, centrifugal die casting*.

Dalam operasi pengecoran, logam harus dipanaskan sampai temperatur tertentu di atas titik leburnya dan kemudian dituangkan ke dalam rongga cetakan hingga

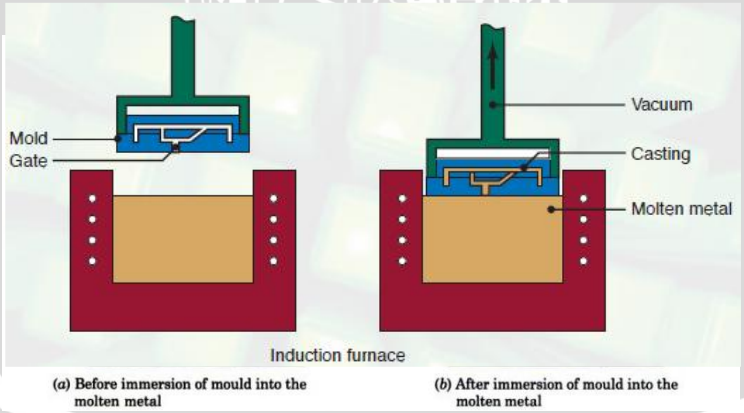
menjadi beku. Logam dipanaskan di dalam tungku peleburan hingga mencapai temperatur lebur yang cukup untuk penuangan.

2.5.2 Tungku Vakum

Tungku vakum merupakan jenis tungku yang digunakan untuk melebur logam dengan konsistensi tinggi dan kontaminasi rendah. Peleburan dengan temperatur tinggi menyebabkan oksidasi sehingga dapat menimbulkan gas-gas yang terlarut seperti hidrogen. Pengecoran dengan menggunakan sistem vakum dibuat untuk meminimalisir cacat porositas yang disebabkan kelarutan gas hidrogen pada paduan aluminium. Keuntungan dengan menggunakan tungku vakum yaitu :

1. Kontaminasi dari karbon oksien dan gas-gas lian pada produk coran menjadi rendah
2. Pendinginan produk coran menjadi lebih cepat

Cara kerja tungku vakum menggunakan prinsip tekanan udara. Dimana udara bergerak dari tempat yang bertekanan tinggi ke tempat yang tekanannya rendah. Perbedaan tekanan inilah yang membuat udara di dalam tungku peleburan terhisap. Tungku vakum dapat menghasilkan produk coran yang berkualitas, hal ini dikarenakan dengan adanya sistem vakum gas-gas hidrogen yang terjebak di dalam logam cair akan dipaksa keluar sehingga akan menurunkan jumlah cacat porositas yang terjadi dan akan menghasilkan permukaan logam yang baik.



Gambar 2.3 Proses pengecoran vakum
Sumber : Rajput, 2007 : 97

2.6 Proses Peleburan Logam

Peleburan logam adalah proses mencairkan logam yang pada awalnya memiliki fasa padat pada temperatur tertentu yang mengacu pada titik lebur dari masing-masing logam tertentu dengan menggunakan energi panas yang di hasilkan oleh tungku

peleburan. Menurut DeGarmo (2008:264) bahwa "proses peleburan harus mampu menyediakan bahan cair pada suhu yang tepat, dalam jumlah yang diinginkan dengan hasil yang berkualitas dan biaya yang masuk akal."

Untuk menghemat waktu peleburan dan mengurangi kehilangan karena oksidasi lebih baik memotong logam menjadi potongan kecil yang kemudian dipanaskan mula. Kalau bahan sudah mulai mencair, *fluks* harus ditaburkan untuk mengurangi oksidasi dan absorbsi gas (*fluxing*) dan dilakukan pengambilan gas yang berada dalam larutan logam (*degassing*). Selama pencairan, permukaan harus ditutup fluks dan cairan diaduk pada jangka waktu tertentu untuk mencegah segregasi (Surdia dan Chijiiwa, 1991:171).

Proses *covering flux* ini dilakukan dengan memberikan campuran dari garam NaCl dan KCl. Penggunaan fluks kering 1 % sampai 3 % dapat mengurangi gas dan mencegah gelembung udara serta lubang jarum, disamping itu juga memperbaiki sifat-sifat mekaniknya (Surdia dan Chijiwa, 1991 : 171). Setelah mencapai temperatur yang diinginkan, paduan aluminium cair diambil dari dalam dapur krusibel dan dituangkan ke dalam cetakan.

2.6.1 Peleburan Aluminium dan Silikon

Dalam melakukan proses peleburan untuk mendapatkan logam cair dilakukan peleburan dengan menggunakan suatu tungku peleburan di mana material bahan baku dan jenis tungku yang digunakan harus disesuaikan dengan material yang akan dilebur.

Tungku peleburan jenis krusibel dan tungku listrik menjadi wadah untuk melebur paduan aluminium dan paduan ringan lainnya. Tungku krusibel mempunyai konstruksi paling sederhana, fleksibel dan serba guna untuk peleburan skala kecil dan sedang. Bahan bakar tungku krusibel dapat berupa minyak, induksi listrik frekuensi rendah, dan juga dapat dioperasikan menggunakan bahan bakar gas. Sehingga besar kecilnya energi yang dibutuhkan saat proses peleburan sangat diperhatikan.

Penentuan temperatur peleburan serta waktu peleburan merupakan aspek yang paling penting dalam peleburan aluminium dan paduannya. Karena temperatur dan waktu peleburan sangat mempengaruhi kualitas produk hasil peleburan, khususnya untuk paduan Al-Si dimana keduanya memiliki titik lebur yang jauh berbeda yaitu Al 660 °C dan Si 1414 °C. Berikut ini adalah contoh dari beberapa titik cair dan temperatur dari paduan aluminium seperti tabel 2.4 berikut ini

Tabel 2.4 Titik Cair dan Temperatur dari Paduan Aluminium

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

Sumber : Surdia dan Chijiwa, 1991 : 237

2.6.2 Kelarutan Gas pada Cairan Aluminium dan Paduan

Menurut Suprapto dkk (2010) mengatakan bahwa "pada kondisi cair aluminium termasuk logam yang mudah menyerap gas hidrogen dari sekelilingnya (udara lembab, grease dan oil, kandungan air tungku, dan lain-lain)."

Gas-gas hidrogen, oxigen, dan nitrogen sering terlarut dalam pengecoran aluminium dan paduannya. Cacat aluminium bertambah dengan meningkatnya kelarutan gas dalam *liquidus* dari peleburan sampai solidifikasi. Kontrol dalam kondisi lebur dan perlakuan lebur dapat mengurangi tingkat kelarutan gas (Suprapto, 2012)

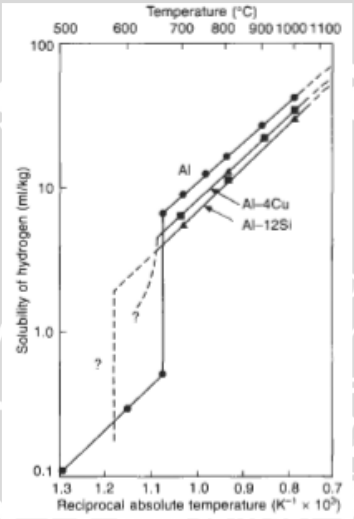
Hidrogen adalah salah satunya gas yang dapat timbul dalam peleburan aluminium dan paduannya. Kelarutan hidrogen secara signifikan lebih tinggi dalam aluminium cair dibandingkan dengan solid. Beberapa sumber potensial timbulnya hidrogen pada aluminium antara lain:

- Kelembaban udara, peralatan maupun bahan baku terlalu tinggi, sehingga ketersediaan H_2 menjadi besar.
- Temperatur cairan terlalu tinggi, sehingga afinitas Al terhadap O_2 yang terdapat didalam kelembaban udara menjadi sangat tinggi.
- Dari material logam yang kotor dan basah atau banyak mengandung minyak.
- Terjadinya asap hasil pembakaran pada waktu proses peleburan.
- Reaksi antara aluminium cair dengan cetakan

- Peleburan tanpa perlindungan akibat selalu rusaknya lapisan Al_2O_3 dipermukaan, sehingga kontaminasi kelembaban udara selalu terjadi.

Gas hidrogen akan menyebabkan porositas dalam benda cetak paduan aluminium dan memberikan pengaruh buruk pada kekuatan serta kesempurnaan dari benda tuang tersebut. Sumber utama hidrogen didalam Al adalah uap air dan uap panas. Berikut reaksi kimia timbulnya porositas pada logam coran paduan Aluminium yang disebabkan oleh terlarutnya gas hidrogen :

$$3H_2O_{(v)} + 2\ Al \rightarrow 6H + Al_2O_3$$



Gambar 2.4 Pengaruh temperatur terhadap kelarutan hidrogen dalam aluminium
Sumber: Campbell (2003 : 3)

Dari gambar diatas bahwa ketika temperatur logam cair naik, maka kelarutan gas hidrogen juga semakin meningkat. Sehingga temperatur peleburan berbanding lurus dengan kelarutan gas hidrogen. Beberapa unsur paduan dalam logam Aluminium yang dapat menurunkan kelarutan gas Hidrogen yaitu Si, Zn, Cu, dan Mn. Sedangkan unsur paduan lainnya yang dapat menaikan kelarutan gas Hidrogen yaitu Mg, Fe, Ni, dan Li.

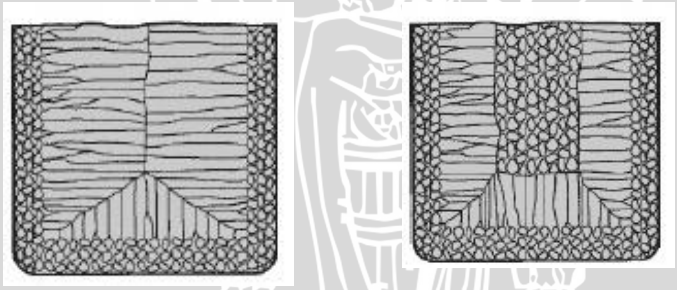
Metode untuk menghilangkan gas hidrogen saat peleburan yaitu metode degassing, tiga metode yang umumnya dilakukan dengan proses degassing (Jain, P. L. 1979 : 184) adalah :

1. Pembilasan logam cair dengan mengalirkan gas murni seperti argon, nitrogen.
2. Menggunakan *degasser* padat yang dapat menghasilkan suatu gas yang kemudian bereaksi secara kimia dengan gas-gas terlarut misalnya gas CO yang menghasilkan gas karbon, bertindak sebagai gas murni untuk membilas hidrogen dari logam cair.
3. *Degassing* hampa udara, dimana logam cair di dalam dapur kemudian dipindah ke dalam sebuah ruang kedap udara

2.7 Solidifikasi

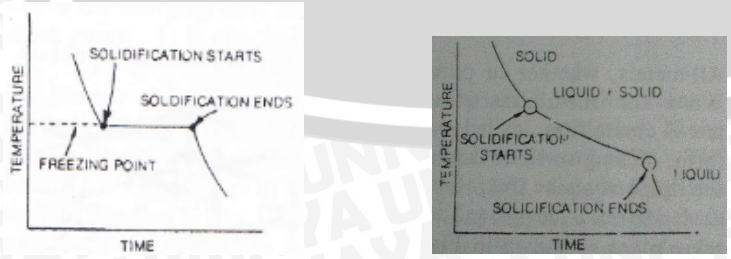
Solidification (pembekuan) merupakan proses perubahan bentuk logam cair ke bentuk padat. Proses solidification memiliki perbedaan antara jenis logam murni *(pure metal)* dan logam paduan *(alloy).* Logam murni memiliki suhu pembekuan yang konstan (lihat Gambar 2.6 a). Sedangkan suhu pembekuan logam paduan tidak konstan atau berupa taksiran (lihat Gambar 2.6 b). Taksiran suhu pembekuan logam paduan ini tergantung pada sistem paduan dan komposisi paduan. Hal ini karena masing-masing unsur logam memiliki sifat yang berbeda. Tahap yang dilalui dari suhu penuangan hingga mencapai suhu ruang yaitu, pendinginan cairan logam atau *liquid cooling (liquid),* pembekuan atau *freezing (liquid + solid),* dan pendinginan logam padat atau *solid cooling (solid).* Pembekuan dan pendinginan logam disebabkan oleh aksi pendinginan dinding cetakan, sehingga cairan logam membentuk cangkang padat.

Laju pembekuan dan pendinginan logam ini berawal dari luar logam menuju tengah logam. Oleh karena itu, semakin tebal suatu coran maka semakin lama coran tersebut padat dan dingin. Selain itu kecepatan pendinginan suatu coran juga dipengaruhi oleh sifat termal dari logam coran tersebut untuk memindahkan panas ke cetakan. Pada proses solidification juga terjadi pembentukan struktur butir maupun serat *(grain structure).*



(a) (b)

Gambar 2.5 (a) Struktur Logam Murni, (b) Struktur Logam Paduan
Sumber : Kalpakjian, 1990 : 279



(a) (b)

Gambar 2.6 Grafik Struktur Pembekuan
(a) Logam Murni, (b) Logam Paduan
Sumber : P.L Jain, 1979 : 180

Gambar 2.5 diatas menunjukkan *grain structure* dari logam murni dan logam paduan. Struktur dari logam hasil penuangan memiliki kulit atau cangkang yang terbentuk karena pendinginan cepat. Hal ini karena dinding cetakan berada pada suhu ruang atau lebih dingin daripada suhu logam cair. Pendinginan cepat pada kulit coran ini menghasilkan struktur yang halus dan terlihat acak. Proses pendinginan berlanjut dan membentuk serat *(grain)* yang berkembang menuju bagian tengah dari coran. Arah pembentukan serat ini berlawanan dengan arah perpindahan panas. Arah perpindahan panas *(heat transfer)* dari dalam menuju ke luar atau cetakan, sedangkan arah pembentukan serat dari sisi paling tepi coran menuju ke dalam coran. Pembentukan *grain* ke dalam terlihat seperti duri atau tulang dari logam padat. Struktur yang terdapat pada logam murni (gambar 2.5 a) membentuk cabang pada tengah-tengah logam dan disebut *columnar grains*.

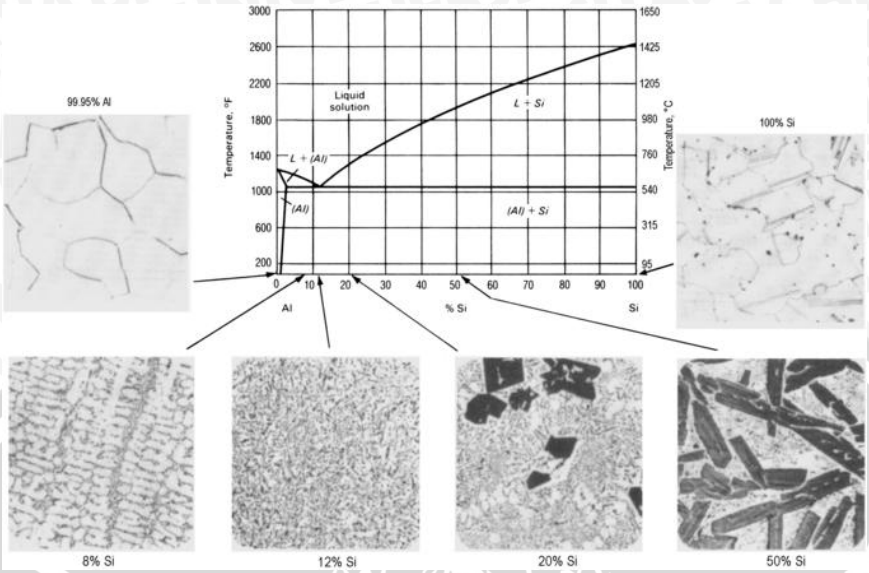
Sedangkan *grain structure* pada logam paduan (gambar 2.5 b) terbentuk secara terpisah. Hal ini terjadi karena komposisi logam paduan yang tidak seimbang. Komposisi yang tidak seimbang tersebut dinyatakan dalam hasil akhir pengecoran berupa pemisahan *(segregation)* elemen.

2.8 Strukturmikro Paduan Al-Si

Salah satu cara untuk mengetahui struktur kristal dalam coran sehingga kita dapat mengetahui sifat fisis dari coran adalah dengan melakukan pengamatan strukturmikro. Pengamatan ini dilakukan dengan bantuan alat pembesar seperti lope dan mikroskop optik. Proses untuk mendapatkan strukturmikro, terlebih dahulu spesimen harus diratakan dan dihaluskan terlebih dulu dengan mesin, misalnya dikikir, digerinda, diasah dan dipoles.

Rudi Siswanto (2011) dalam penelitiannya yang berjudul "*Pengaruh Temperatur dan Waktu Peleburan Pengecoran Tuang Terhadap Struktur Mikro Paduan Al-21% MG*" menyatakan bahwa pengasahan dan pemolesan harus berarah saling tegak lurus dengan bahan poles oksida chrom. Bila permukaan sudah mengkilap cermin disapukan bahan etsa yang dapat melarutkan dengan cepat bagian-bagian tertentu dari bahan benda uji atau akan memberi warna tertentu. Sebagai bahan etsa dapat dipergunakan antara lain : baja (HNO3 =15 cc , alkohol =100 cc), Cu (CrO_3 = 50 cc, HCl = 2 tetes), Al (H F = 10 cc, H Cl =15 cc, Air = 90 cc), paduan Al (NaOH). Dari

pernyataan tersebut, dapat dikatakan bahwa pengamatan struktur mikro dari paduan Al-Si menggunakan NaOH sebagai bahan etsa.

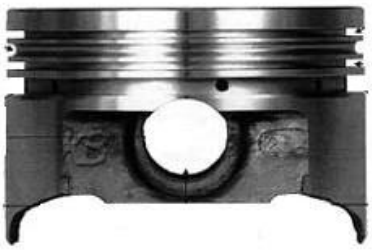


Gambar 2.7 Strukturmikro paduan Al-Si
Sumber : ASM Handbook Vol. 3. 2004

Pada gambar 2.7 diatas dapat dilihat struktur mikro pada komposisi hipoeutektoid (<12% Si), hipereutektoid (>12% Si), dan satu yang mendekati komposisi eutektik pada 12%. Berwarna putih adalah aluminium, sedangkan yang berwarna gelap adalah silikon. Semakin sedikit kadar Si pada paduan tersebut maka gambar dari mikrostrukturnya akan didominasi oleh warna putih, begitu juga sebaliknya apabila Si semakin banyak, maka warna hitam pada foto mikrostrukturnya akan semakin banyak.

2.9 *Recycling* Piston Aluminium

Piston adalah salah satu komponen utama pada kendaraan bermotor yang sangat memiliki peran dalam proses pembakaran pada ruang bakar. Beberapa sifat yang diinginkan dari aluminium paduan pembentuk piston adalah tahan tekanan dan temperatur tinggi, tahan korosi, koefisien pemuaian rendah, dan memiliki kekuatan yang tinggi. Sifat-sifat tersebut dibutuhkan pada material pembentuk piston karena piston bekerja tanpa henti selama masin hidup. Untuk mendapatkan sifat-sifat tersebut, pabrik memilih Al-Si sebagai material paduannya.



Gambar 2.8 Piston
Sumber : Fuad (2010)

Piston dibuat dari bahan-bahan yang berkualitas agar hasilnya sesuai dengan sifat-sifat mekanik yang harus dimiliki sebuah piston. Oleh karena itu, ketika piston didaur ulang untuk menjadi produk aluminium paduan dengan bentuk yang berbeda, diharapkan tetap memiliki sifat mekanik yang bagus dengan biaya produksi yang murah.

2.10 Pengujian Porositas

2.10.1 Porositas Pada Pengecoran Logam

Porositas dapat terjadi karena terjebaknya 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 alumunium akan memberikan pengaruh yang buruk pada kekuatan, serta kesempurnaan dari benda tuang tersebut. Penyebabnya antara lain kontrol yang kurang sempurna terhadap absorsi gas dengan logam selama peleburan dan penuangan.

Menurut Firdaus (2002) bahwa faktor-faktor penting yang berhubungan dengan pembentukan porositas gas antara lain ialah :

- Unsur-unsur gas atau sumber gas yang terkandung dalam paduan.
- Tekanan udara yang berlebih.
- Temperatur cetakan.
- 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 yang bernukliasi pada cairan selama pembekuan dan diantara fase padat-cair.

2.10.2 Jenis - Jenis Porositas Pada Pengecoran Logam

Menurut Suprapto (2011) Dalam pengecoran aluminium terdapat dua jenis porositas gas hidrogen, yaitu

1. Porositas *interdendritic* (kontraksi volumetrik saat solidifikasi yang biasanya disebut *shrinkage*), terjadi karena kandungan gas hidrogennya cukup tinggi selanjutnya hidrogen tersebut dilepas saat solidifikasi dan menghasilkan tekanan kelarutan diatas tekanan atmosfer.
2. Porositas ukuran mikro, terjadi bila kelarutan gas hidrogennya rendah dan membentuk *void* yang terkarakterisasi sebagai *subcritical*, akibatnya disekeliling aluminium padat dikelilingi gelembung (porositas).

2.10.3 Pengujian Porositas

Untuk mencari prosentase porositas yang terdapat dalam suatu coran dibandingkan 2 buah densitas, yaitu :

- *True Density*

  True density atau densitas teoritis merupakan kepadatan dari sebuah benda padat tanpa porositas yang terdapat di dalamnya. Didefinisikan sebagai perbandingan massanya terhadap volume sebenarnya (gr/cm^3). persamaan yang ada pada standar ASTM E252-84 yaitu:

$$\rho_{th} = \frac{100}{\left\{\left(\frac{\%Al}{\rho_{Al}}\right)+\left(\frac{\%Si}{\rho_{Si}}\right)+\left(\frac{\%Fe}{\rho_{Fe}}\right)+etc\right\}} \qquad (2\text{-}1)$$

dengan :

ρ_{th} = *True Density* (gr/cm^3).

ρ_{Al}, ρSi, ρ_{Fe}, *etc* = Densitas unsur (gr/cm^3).

%Al, %Si, *etc* = Prosentase berat unsur (%)

- *Apparent Density*

  Apparent density atau densitas sampel adalah berat setiap unit volum material termasuk cacat (void) yang terdapat dalam materia yang di uji (gr/cm^3). Standar ASTM B311-93 sebagaimana beikut:

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

dengan:

ρ_s = *Apparent Density* (gr/cm^3).

ρ_w = Densitas air (gr/cm^3).

W_s = Berat sampel di luar air (gr)

W_b = Berat keranjang di dalam air (gr)

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

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

$$\%\,P = \left(1 - \frac{\rho_s}{\rho_{th}}\right) x\ 100\% \quad (2\text{-}3)$$

dengan:

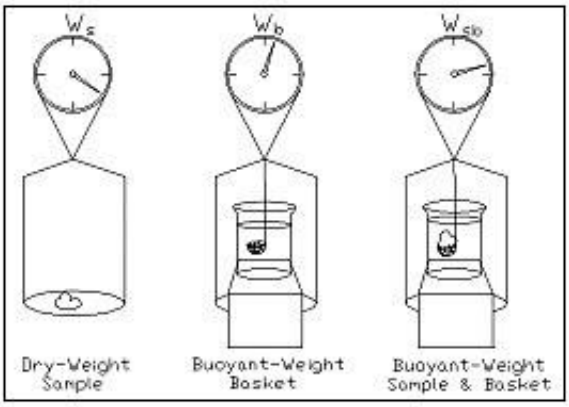
%P = Prosentasi porositas (%)

ρ_s = *Apparent Density* (gr/cm^3).

ρ_{th} = *True Density* (gr/cm^3)

2.10.4 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 2.9.



Gambar 2.9 Skema Piknometri
Sumber: Taylor (2000)

Tiga pengukuran berat yang diukur adalah Ws = berat kering spesimen (*dry weight*), Wsb = berat apung keranjang dan sampel dalam air, dan Wb= berat apung keranjang dalam air. Pada gambar 2.9, 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.

2.11 Tekanan Vakum Terhadap Porositas

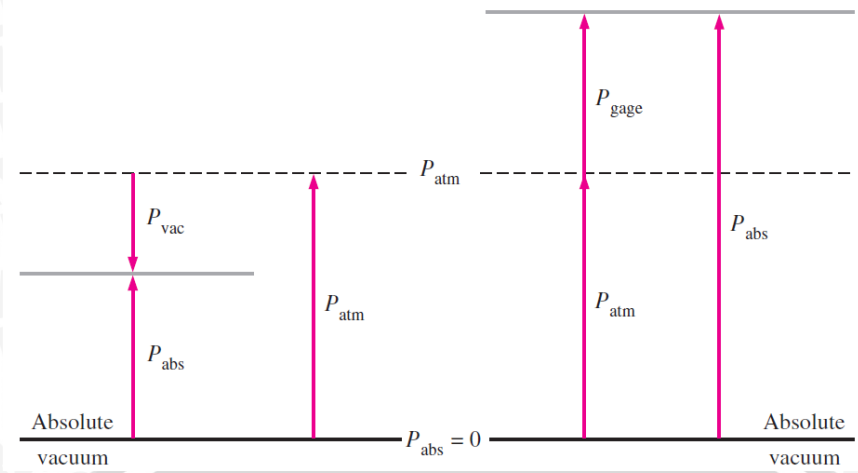
Tekanan udara diukur berdasarkan tekanan gaya pada permukaan dengan luas tertentu. Ada 3 jenis tekanan untuk gas yaitu :

1. Tekanan mutlak (absolut) adalah tekanan gas yang sebenarnya yang dinyatakan dalam psi. Tekanan aktual pada posisi tertentu disebut tekanan absolut dan diukur secara relatif terhadap tekanan vakum, yaitu tekanan nol mutlak.
2. Tekanan *gage* adalah tekanan lebihnya dari tekanan udara luar atau atmosfir (psig).
3. Tekanan vakum adalah tekanan di bawah tekanan atmosfer dan diukur dengan pengukur vakum yang menunjukkan perbedaan antara tekanan atmosfer dan tekanan absolut.

$$P_{gage} = P_{abs} - P_{atm} \quad (\text{untuk } P > P_{atm}) \qquad (2.4)$$

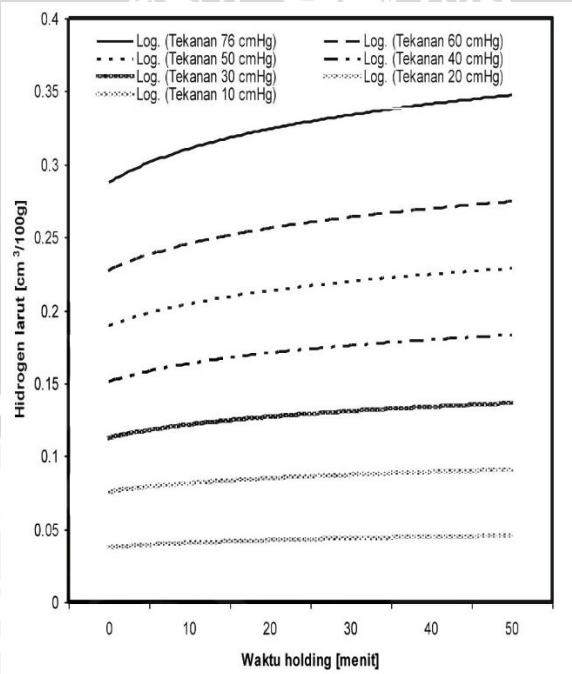
$$P_{vac} = P_{atm} - P_{abs} \quad (\text{untuk } P < P_{atm})$$

Perbedaan tekanan absolut dan tekanan atmosfer disebut tekanan ukur (*pressure gage*). Perbedaan antara tekanan *gage* dengan tekanan absolut adalah pada titik nolnya. Titik nol untuk tekanan *gage* terletak pada tekanan atmosfir sedangkan untuk tekanan absolut terletak pada titik nol mutlak (*zero absolute*).



Gambar 2.10 Tekanan absolut, *gage*, dan vakum
Sumber: Cengel, 2006 : 23

Suprapto (2011) dalam penelitiannya menyatakan bahwa pada gambar 2.11 menunjukan semakin rendahnya tekanan vakum yang diberikan, hidrogen yang larut dalam duralumin *melt* berkurang secara signifikan dan bertambah karena lamanya waktu *holding* tetapi kenaikannya tidak signifikan. Berkurangnya kelarutan hidrogen ini yang menyebabkan berat jenis pengecoran pada tungku PSV meningkat dan tekanan parsial hidrogen udara disekeliling rendah akibatnya porositas berkurang. Hal ini menunjukkan dengan berkurangnya tekanan udara maka secara kuantitatif masing-masing tekanan parsial dalam udara juga berkurang.



Gambar 2.11 Pengaruh tekanan vakum
Sumber: Suprapto (2011)

2.12 Hipotesis

Berdasarkan tinjauan pustaka maka dapat diambil hipotesis bahwa semakin rendah tekanan vakum maka gas hidrogen yang terperangkap di dalam coran paduan Al-Si daur ulang cair akan berkurang. Hal ini dikarenakan gas hidrogen yang terperangkap dihisap keluar dengan paksa sehingga distribusi cacat porositas semakin berkurang.

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Pada penelitian ini digunakan metode eksperimental sebenarnya dimana dengan secara langsung mengetahui seberapa besar pengaruh tekanan vakum yang paling optimal untuk menghasilkan hasil coran paduan Al-Si yang berkualitas terhadap distribusi porositas ingot dalam pengecoran *recycling* piston pada tungku vakum

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan pada 20 Mei 2015 hingga 9 Juni 2015 dan tempat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- Laboratorium α β γ Landungsari, Malang untuk proses pengecoran dan pengujian porositas
- Laboratorium Pengujian Bahan, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Brawijaya untuk proses pengujian foto mikrostruktur

3.3 Variabel Penelitian

Terdapat tiga variabel dalam penelitian ini, yaitu variabel bebas, variabel terikat, variabel terkontrol.

3.3.1 Variabel bebas

Variabel bebas pada penelitian ini terdiri dari tekanan vakum saat peleburan yaitu -10 cmHg, -20 cmHg, -30 cmHg, -40 cmHg, dan -50 cmHg

3.3.2 Variabel terikat

Variabel terikat dari penelitian ini antara lain distribusi porositas hasil coran (%) dan foto mikro dari hasil daur ulang paduan Al-Si yang berasal dari piston bekas.

3.3.3 Variabel terkontrol

Variabel yang dikontrol dalam penelitian ini antara lain :

1. Digunakan piston dengan diameter 50 mm.
2. Suhu peleburan yang digunakan 600ºC

3. Lama waktu *holding* yang digunakan yaitu 10 menit
4. Lama waktu solidifikasi dengan menggunakan blower 20 menit dalam kondisi tungku vakum mati

3.4 Persiapan Penelitian

3.4.1 Alat

Adapun peralatan yang digunakan dalam penelitian kali ini adalah sebagai berikut:

1. Alat ukur

(a)

(b)

(c)

(d)

Gambar 3.1 Alat-alat ukur yang digunakan dalam penelitian
(a) Timbangan Elektrik, (b) *Infrared Thermometer*, (c) *Stopwatch*
(d) *Pressure gage* vakum
Sumber : Laboratorium α β γ Landungsari, Malang

2. Tungku vakum

(a)

(b)

Gambar 3.2 Tungku vakum
(a) Tungku pengecoran, (b) Alat pemvakuman
Sumber : Laboratorium α β γ Landungsari, Malang

Spesifikasi :

Sumber panas = Arus listrik
Daya = 1980 W
Arus = 9 A
Tegangan = 220 V

3. Wadah pengecoran

Adalah wadah yang digunakan untuk membentuk logam cair seperti bentuk yang diinginkan.

Gambar 3.3 Wadah pengecoran
Sumber : Laboratorium α β γ Landungsari Malang

4. Alat bantu pengecoran

(a)

(b)

Gambar 3.4 Alat bantu pengecoran yang digunakan
(a) Pengaduk, (b) *Blower*
Sumber : Laboratorium α β γ Landungsari, Malang

5. Sarung tangan

Gambar 3.5 Sarung tangan
Sumber : Laboratorium α β γ Landungsari, Malang

3.4.2 Bahan

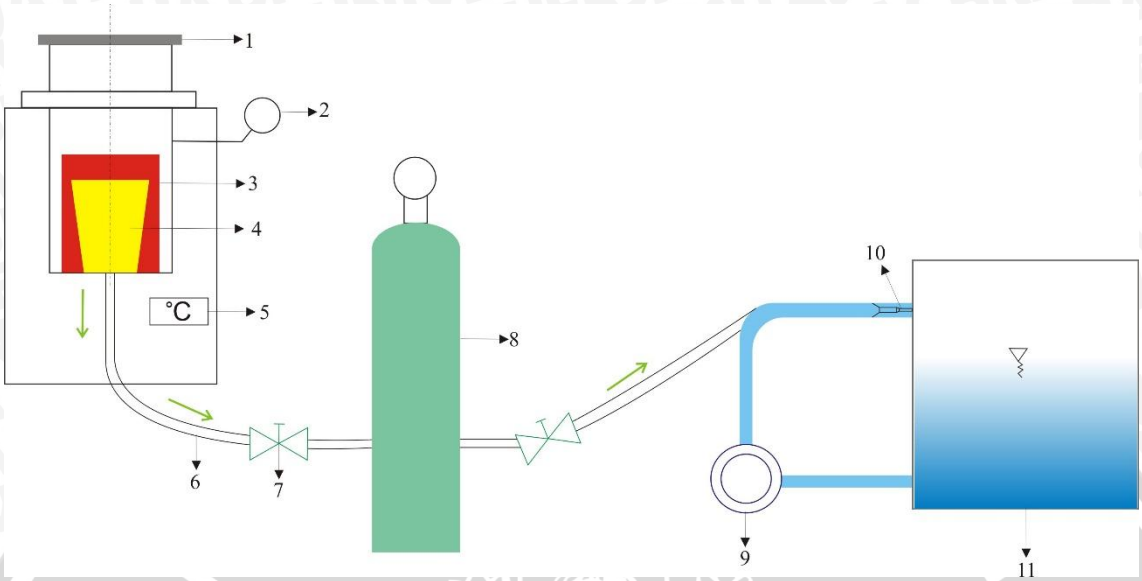
Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian kali ini adalah sebagai berikut:

1. Paduan Al-Si (Piston)

Gambar 3.6 Piston bekas
Sumber : Laboratorium α β γ Landungsari, Malang

3.5 Skema Tungku Vakum

Skema Instalasi pada tungku vakum bisa digambarkan pada gambar 3.7



Gambar 3.7 Skema Tungku vakum

Keterangan :

1. Lubang masuk cawan dan bahan baku
2. Instrumen tekanan
3. Elemen pemanas listrik
4. Mangkok peleburan (*crucible*)
5. Indikator suhu
6. Saluran pipa vakum
7. Katup
8. Tabung vakum
9. Pompa air
10. *Nozzle* dan pipa kapiler
11. Reservoir air

3.6 Prosedur Penelitian

1. Paduan Al-Si (piston) disiapkan beserta alat-alat lain yang diperlukan pada proses pengecoran spesimen.
2. Sebelum melakukan pengecoran, piston bekas dibersihkan terlebih dahulu dari oli yang menempel pada piston tersebut.

(a)

(b)

Gambar 3.8 Piston bekas
(a) Sebelum dibersihkan, (b) Sesudah dibersihkan
Sumber : Dokumentasi Pribadi

3. Setelah piston bekas sudah bersih, potong piston menjadi kecil-kecil dan kemudian masukkan kedalam cawan

Gambar 3.9 Piston yang sudah dipotong kecil-kecil
Sumber : Dokumentasi Pribadi

4. Masukkan paduan Al-Si (piston) pada tungku vakum, kemudian meleburnya dengan temperatur 600^{o}C dan variasi tekanan vakum sebagai berikut
   a. Untuk spesimen A : -10 cmHg
   b. Untuk spesimen B : -20 cmHg
   c. Untuk spesimen C : -30 cmHg
   d. Untuk spesimen D : -40 cmHg
   e. Untuk spesimen E : -50 cmHg
5. Digunakan waktu holding 10 menit
6. Setelah dilebur sesuai dengan waktu yang telah ditentukan, kemudian diamkan sekitar 20 menit di dalam tungku vakum (dalam keadaan mati) dengan bantuan blower hingga mengalami pembekuan, kemudian keluarkan cawan yang berisi specimen dan diamkan kembali hingga suhu kamar.

7. Membuka cetakannya dan lepas benda kerja secara perlahan setelah temperatur hasil coran sudah turun.
8. Foto Mikrostruktur pada hasil coran Al-Si daur ulang
9. Melakukan uji porositas hasil coran paduan Al-Si daur ulang pada masing-masing spesimen utuh dan kemudian dibagi per segmen dengan bagian diameter luar, tengah dan inti.

3.7 Rancangan Hasil Percobaan

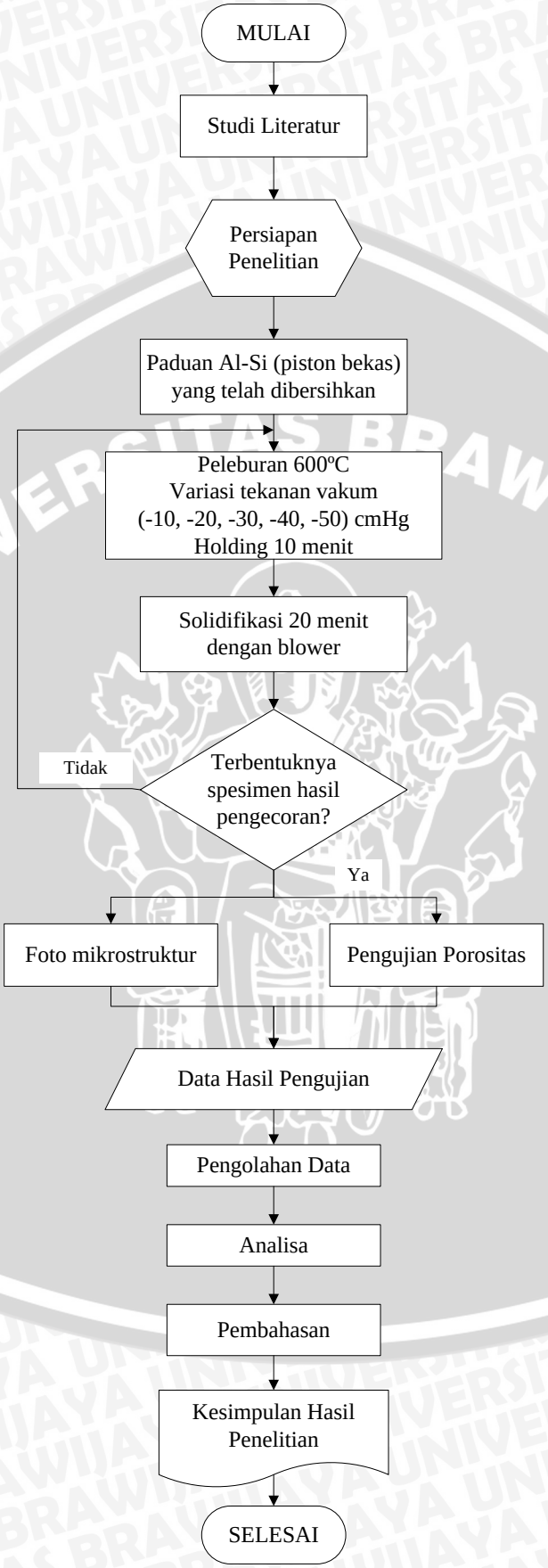
Hasil percobaan nantinya akan di sajikan dalam bentuk tabel dan grafik agar memudahkan untuk membaca informasi hasil penelitian.

3.7.1 Rancangan tabel hasil penelitian

Tabel 3.1. Rancangan Tabel Hasil Pengujian Porositas

Tekanan vakum	Bagian	ρ_{th} (gr/cm^3)	ρ_s (gr/cm^3)	Porositas (%)
Spesimen A (-10 cmHg)	Inti	ρ_{thAI}	ρ_{sAI}	% P_{AI}
	Tengah	ρ_{thAT}	ρ_{sAT}	% P_{AT}
	Luar	ρ_{thAL}	ρ_{sAL}	% P_{AL}
Spesimen B (-20 cmHg)	Inti	ρ_{thBI}	ρ_{sBI}	% P_{BI}
	Tengah	ρ_{thBT}	ρ_{sBT}	% P_{BT}
	Luar	ρ_{thBL}	ρ_{sBL}	% P_{BL}
Spesimen C (-30 cmHg)	Inti	ρ_{thCI}	ρ_{sCI}	% P_{CI}
	Tengah	ρ_{thCT}	ρ_{sCT}	% P_{CT}
	Luar	ρ_{thCL}	ρ_{sCL}	% P_{CL}
Spesimen D (-40 cmHg)	Inti	ρ_{thDI}	ρ_{sDI}	% P_{DI}
	Tengah	ρ_{thDT}	ρ_{sDT}	% P_{DT}
	Luar	ρ_{thDL}	ρ_{sDL}	% P_{DL}
Spesimen E (-50 cmHg)	Inti	ρ_{thEI}	ρ_{sEI}	% P_{EI}
	Tengah	ρ_{thET}	ρ_{sET}	% P_{ET}
	Luar	ρ_{thEL}	ρ_{sEL}	% P_{EL}

3.8 Diagram Alir Penelitian



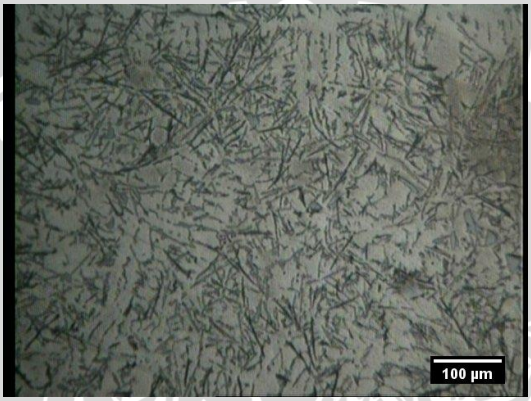
Gambar 3.10 Diagram alir penelitian

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data

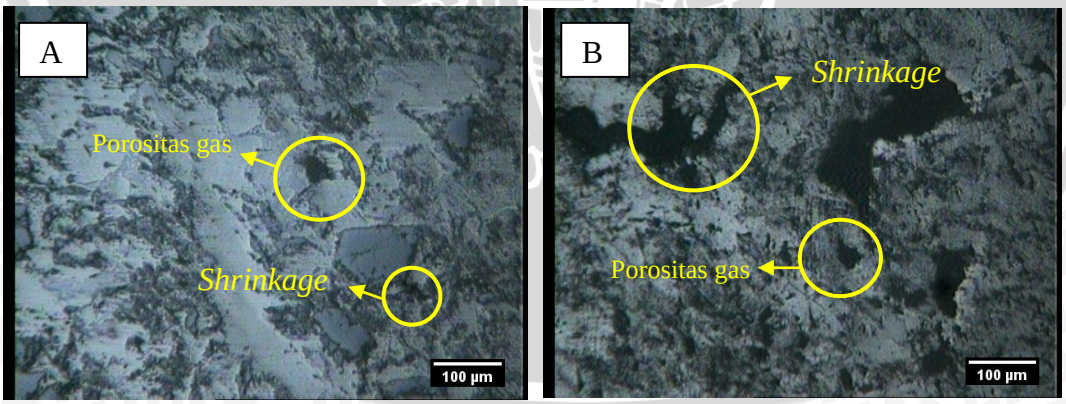
4.1.1 Hasil Foto Mikrostruktur

Untuk mendapatkan data visualisasi dari permukaan sebelum dan sesudah hasil coran *recycling* piston maka dilakukan pengujian foto mikro dengan menggunakan alat mikroskop dengan perbesaran 100x. Dibawah berikut merupakan foto mikro piston sebelum dilakukannya pengecoran



Gambar 4.1 Foto mikro sebelum dicor pada pembesaran 100x

Perbandingan sampel hasil foto mikro sesudah dicor yang diambil yaitu spesimen dengan tekanan -50 cmHg dan -10 cmHg.

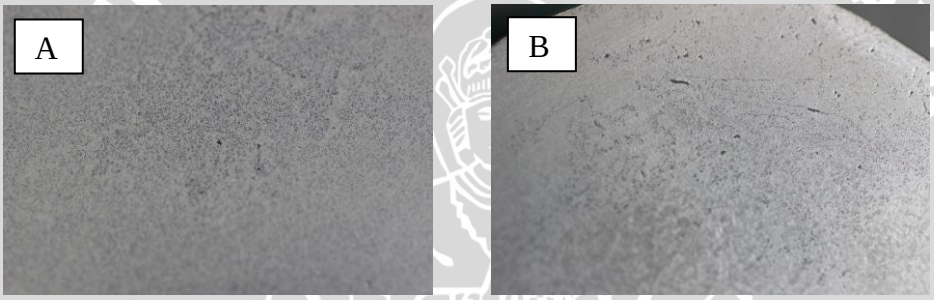


Gambar 4.2 Hasil foto mikro sesudah dicor pada pembesaran 100x
(A) -50 cmHg (B) -10 cmHg

Terdapat perbedaan visualisasi antara sebelum dan sesudah dicor (Gambar 4.1 dan 4.2). Spesimen yang sebelum cor memiliki hasil permukaan yang baik dibandingkan spesimen yang telah dicor. Gambar 4.2 menunjukkan cacat porositas gas

mempunyai tipikal yang berbentuk lubang-lubang bulat (*spherical*), terisolasi, dan permukaannya halus. Sedangkan porositas *shrinkage* berbentuk bercabang-cabang, tidak beraturan, bersudut, membuat jejaring, dan permukaanya kasar. Hal ini dibuktikan adanya warna sampel cor yang lebih gelap dibandingkan yang lain (ada lubang pada coran). Terdapat perbedaan porositas mulai dari ukuran bentuk dan jumlahnya. Pada perbesaran 100x tekanan vakum -50 cmHg memiliki lubang porositas yang kecil dan sangat sedikit.

Sedangkan spesimen dengan tekanan vakum -10 cmHg memiliki lubang porositas dengan ukuran yang lebih besar dan tersebar dipermukaannya. Jadi, ukuran lubang porositas dan jumlah dari porositas memiliki kecenderungan menurun seiring semakin tingginya tekanan vakum sehingga mengurangi gas-gas yang terjebak di dalam logam cair sehingga cacat porositas dapat berkurang.



Gambar 4.3 Hasil Foto Makro
(A)-50 cmHg (B) -10 cmHg

Hal ini juga dibuktikan pada foto makro pada gambar 4.2, terdapatnya perbedaan porositas yang terbentuk. Pada spesimen dengan tekanan -50 cmHg memiliki lubang porositas yang cenderung sedikit dikarenakan daya hisap vakum yang sangat tinggi sehingga dapat mengurangi kelarutan gas yang timbul. Sedangkan pada spesimen dengan tekanan -10 cmHg memiiliki tingkat porositas yang cenderung banyak dan tersebar pada permukaannya.

4.1.2 Data Hasil Pengujian

Dari data hasil pengujian berat spesimen pengecoran *recycling* piston dengan tekanan vakum yang berbeda-beda didapatkan data berat spesimen pada kondisi kering dan berat spesimen di dalam air. Data tersebut digunakan untuk pengujian piknometri dan dapat dilihat pada tabel 4.1 - 4.3. Hasil data digunakan untuk menghitung *apparent density*.

Tabel 4.1 Data spesimen pengujian piknometri spesimen utuh

Tekanan vakum	Ws (gr)	Wb (gr)	Wsb (gr)	Ws-(Wsb-Wb)
(-) 10 cmHg	56,28		45,6	23,46
	56,31		45,44	23,65
	56,35		45,13	24
(-) 20 cmHg	56,27		46,32	22,73
	56,32		46,22	22,88
	56,37		46,02	23,13
(-) 30 cmHg	55,84		46,27	22,35
	55,93	12,78	46,17	22,54
	55,97		46,04	22,71
(-) 40 cmHg	56,2		47,17	21,81
	56,34		46,96	22,16
	56,33		46,93	22,18
(-) 50 cmHg	55,9		47,25	21,43
	55,94		47,19	21,53
	55,97		47,13	21,62

Tabel 4.2 Data spesimen pengujian piknometri pemotongan inti

Tekanan vakum	Ws (gr)	Wb (gr)	Wsb (gr)	Ws-(Wsb-Wb)
(-) 10 cmHg	51,06		43,86	19,98
	51,24		43,64	20,38
	51,36		43,3	20,84
(-) 20 cmHg	50,82		43,78	19,82
	51,07		43,91	19,94
	51,14		43,77	20,15
(-) 30 cmHg	50,58		43,84	19,52
	50,81	12,78	43,7	19,89
	50,92		43,68	20,02
(-) 40 cmHg	51,1		44,54	19,34
	51,22		44,33	19,67
	51,35		44,27	19,86
(-) 50 cmHg	50,78		44,47	19,09
	50,89		44,38	19,29
	50,98		44,26	19,5

Tabel 4.3 Data spesimen pengujian piknometri diameter tengah

Tekanan vakum	Ws (gr)	Wb (gr)	Wsb (gr)	Ws-(Wsb-Wb)
(-) 10 cmHg	17,28	12,78	23,43	6,63
	17,34		23,43	6,69
	17,3		23,39	6,69
(-) 20 cmHg	17,83		23,79	6,82
	17,64		23,67	6,75
	17,62		23,65	6,75
(-) 30 cmHg	16,5		23	6,28
	16,47		22,96	6,29
	16,49		22,97	6,3
(-) 40 cmHg	17,25		23,52	6,51
	17,14		23,44	6,48
	17,23		23,49	6,52
(-) 50 cmHg	16,57		23,14	6,21
	16,72		23,21	6,29
	16,94		23,33	6,39

4.1.3 Perhitungan Densitas dan Porositas

Setelah mengetahui pengukuran berat hasil coran melalui piknometri maka dilakukan perhitungan porositas hasil coran. Untuk mengetahui porositas hasil coran terlebih dahulu dilakukan perhitungan untuk menentukan *true density* dan *apparent density*. Persamaan *true density* dan *apparent density* telah dijelaskan pada Bab II (2.1) hingga (2.3). Persamaan tersebut yaitu :

1. *True Density*

$$\rho_{th} = \frac{100}{\left\{\left(\%_{Al} / \rho_{Al}\right) + \left(\%_{Si} / \rho_{Si}\right) + \left(\%_{Fe} / \rho_{Fe}\right) + etc\right\}} \quad (2\text{-}1)$$

dengan :

ρ_{th} = *True Density* (gr/cm^3).

ρ_{Al}, ρSi, ρ_{Fe}, *etc* = Densitas unsur (gr/cm^3).

%Al, %Si, *etc* = Prosentase berat unsur (%)

Tabel 4.4 Data Uji Komposisi Kimia

Unsur	Kadar				ρ Unsur (gr/cm^3)	kadar / ρ
	1	2	3	rata-rata		
Al (aluminium)	83,7	83,8	83,8	83,76667	2,699	31,03618624
Si (silicon)	12,13	12,18	12,23	12,18000	2,34	5,205128205
Fe (iron)	0,429	0,423	0,416	0,42267	7,86	0,053774385
Cu (copper)	1,07	1,04	1,04	1,05000	8,92	0,117713004
Mn (manganese)	0,0288	0,0279	0,0283	0,02833	7,2	0,003935185
Mg (magnesium)	1,31	1,27	1,28	1,28667	1,74	0,739463602
Cr (chromium)	0,0209	0,0203	0,0205	0,02057	7,2	0,002856481
Zn (zinc)	0,039	0,0388	0,0386	0,03880	7,14	0,005434174
Ti (titanium)	0,0213	0,0214	0,0213	0,02133	4,5	0,004740741
Na (sodium)	0,00005	0,00005	0,00005	0,00005	0,97	5,15464E-05
Ca (calcium)	0,00053	0,00055	0,00058	0,00055	1,54	0,000359307
Ni (Nickel)	1,2	1,14	1,15	1,16333	8,9	0,13071161
Pb (lead)	0,006	0,0056	0,0058	0,00580	11,34	0,000511464
P (phospor)	0,00094	0,00094	0,00093	0,00094	1,82	0,000514652
Sn (Tin)	0,0015	0,0014	0,0015	0,00147	7,28	0,000201465
Sb (antimony)	0,0004	0,00063	0,0004	0,00048	6,684	7,13146E-05
Sr (strontium)	0,0001	0,0001	0,0001	0,00010	2,6	3,84615E-05
Be (beryllium)	0,00028	0,00027	0,00027	0,00027	1,848	0,000147908
Zr (Zirconium)	0,002	0,0019	0,002	0,00197	6,49	0,00030303
Bi (bismuth)	0,0003	0,0003	0,0003	0,00030	9,8	3,06122E-05
Cd (cadmium)	0,0013	0,0013	0,0012	0,00127	8,642	0,000146571
Σ	99,9624	99,97444	100,03783	99,99156	==========	37,30231996

$$\rho_{th} = \frac{100}{37{,}30231996} = 2{,}68079841 gr/cm^3$$

2. *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 beikut:

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

dengan:

ρ_s = *Apparent Density* (gr/cm^3).

ρ_w = Densitas air (gr/cm^3).

W_s = Berat sampel di luar air (gr)

W_b = Berat keranjang di dalam air (gr)

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

Tabel 4.5 Data hasil perhitungan *apparent density* pada spesimen utuh

Tekanan vakum	Ws (gr)	Wb (gr)	Wsb (gr)	Ws-(Wsb-Wb)	ρw (gr/cm³)	ρs (gr/cm³)
(-) 10 cmHg	56,28	12,78	45,6	23,46	0,997	2,39
	56,31		45,44	23,65		2,37
	56,35		45,13	24		2,34
(-) 20 cmHg	56,27		46,32	22,73		2,47
	56,32		46,22	22,88		2,45
	56,37		46,02	23,13		2,43
(-) 30 cmHg	55,84		46,27	22,35		2,49
	55,93		46,17	22,54		2,47
	55,97		46,04	22,71		2,46
(-) 40 cmHg	56,2		47,17	21,81		2,57
	56,34		46,96	22,16		2,53
	56,33		46,93	22,18		2,53
(-) 50 cmHg	55,9		47,25	21,43		2,60
	55,94		47,19	21,53		2,59
	55,97		47,13	21,62		2,58

Tabel 4.6 Data hasil perhitungan *apparent density* pada spesimen yang intinya berlubang

Tekanan vakum	Ws (gr)	Wb (gr)	Wsb (gr)	Ws-(Wsb-Wb)	ρw (gr/cm³)	ρs (gr/cm³)
(-) 10 cmHg	51,06	12,78	43,86	19,98	0,997	2,55
	51,24		43,64	20,38		2,51
	51,36		43,3	20,84		2,46
(-) 20 cmHg	50,82		43,78	19,82		2,56
	51,07		43,91	19,94		2,55
	51,14		43,77	20,15		2,53
(-) 30 cmHg	50,58		43,84	19,52		2,58
	50,81		43,7	19,89		2,55
	50,92		43,68	20,02		2,54
(-) 40 cmHg	51,1		44,54	19,34		2,63
	51,22		44,33	19,67		2,60
	51,35		44,27	19,86		2,58
(-) 50 cmHg	50,78		44,47	19,09		2,65
	50,89		44,38	19,29		2,63
	50,98		44,26	19,5		2,61

Tabel 4.7 Data hasil perhitungan *apparent density* pada spesimen diameter tengah

Tekanan vakum	Ws (gr)	Wb (gr)	Wsb (gr)	Ws-(Wsb-Wb)	ρw (gr/cm³)	ρs (gr/cm³)
(-) 10 cmHg	17,28	12,78	23,43	6,63	0,997	2,60
	17,34		23,43	6,69		2,58
	17,3		23,39	6,69		2,58
(-) 20 cmHg	17,83		23,79	6,82		2,61
	17,64		23,67	6,75		2,61
	17,62		23,65	6,75		2,60
(-) 30 cmHg	16,5		23	6,28		2,62
	16,47		22,96	6,29		2,61
	16,49		22,97	6,3		2,61
(-) 40 cmHg	17,25		23,52	6,51		2,64
	17,14		23,44	6,48		2,64
	17,23		23,49	6,52		2,63
(-) 50 cmHg	16,57		23,14	6,21		2,66
	16,72		23,21	6,29		2,65
	16,94		23,33	6,39		2,64

Setelah diketahui *true density* dan *apparent density* dari spesimen kemudian dilakukan perhitungan porositas

$$\%\ P = \left(1 - \frac{\rho_s}{\rho_{th}}\right) x\ 100\% \qquad (2\text{-}3)$$

dengan:

%P = Prosentase porositas (%)

ρ_s = *Apparent Density* (gr/cm^3).

ρ_{th} = *True Density* (gr/cm^3)

Tabel 4.8 Data hasil pengujian porositas spesimen utuh

Tekanan vakum	Ws (gr)	Wb (gr)	Wsb (gr)	Ws-(Wsb-Wb)	ρw (gr/cm³)	ρs (gr/cm³)	Porositas (%)
(-) 10 cmHg	56,28	12,78	45,6	23,46	0,997	2,39	10,78
	56,31		45,44	23,65		2,37	11,45
	56,35		45,13	24		2,34	12,68
(-) 20 cmHg	56,27		46,32	22,73		2,47	7,93
	56,32		46,22	22,88		2,45	8,45
	56,37		46,02	23,13		2,43	9,36
(-) 30 cmHg	55,84		46,27	22,35		2,49	7,08
	55,93		46,17	22,54		2,47	7,72
	55,97		46,04	22,71		2,46	8,34
(-) 40 cmHg	56,2		47,17	21,81		2,57	4,17
	56,34		46,96	22,16		2,53	5,45
	56,33		46,93	22,18		2,53	5,55
(-) 50 cmHg	55,9		47,25	21,43		2,60	2,99
	55,94		47,19	21,53		2,59	3,37
	55,97		47,13	21,62		2,58	3,72

Tabel 4.9 Data hasil pengujian porositas spesimen yang intinya berlubang

Tekanan vakum	Ws (gr)	Wb (gr)	Wsb (gr)	Ws-(Wsb-Wb)	ρw (gr/cm³)	ρs (gr/cm³)	Porositas (%)
(-) 10 cmHg	51,06	12,78	43,86	19,98	0,997	2,55	4,96
	51,24		43,64	20,38		2,51	6,49
	51,36		43,3	20,84		2,46	8,34
(-) 20 cmHg	50,82		43,78	19,82		2,56	4,64
	51,07		43,91	19,94		2,55	4,75
	51,14		43,77	20,15		2,53	5,61
(-) 30 cmHg	50,58		43,84	19,52		2,58	3,63
	50,81		43,7	19,89		2,55	5,00
	50,92		43,68	20,02		2,54	5,41
(-) 40 cmHg	51,1		44,54	19,34		2,63	1,74
	51,22		44,33	19,67		2,60	3,16
	51,35		44,27	19,86		2,58	3,84
(-) 50 cmHg	50,78		44,47	19,09		2,65	1,07
	50,89		44,38	19,29		2,63	1,89
	50,98		44,26	19,5		2,61	2,77

Untuk mendapatkan porositas pada diameter inti, maka hasilnya didapat dari porositas pada spesimen utuh dikurangi porositas pada spesimen yang dilubangi bagian intinya. Dan hasilnya sebagai berikut :

Tabel 4.10 Data spesimen pengujian porositas diameter inti

Tekanan vakum	Porositas inti (%)
(-) 10 cmHg	5,82
	4,96
	4,34
(-) 20 cmHg	3,29
	3,71
	3,75
(-) 30 cmHg	3,45
	2,72
	2,93
(-) 40 cmHg	2,43
	2,29
	1,71
(-) 50 cmHg	1,92
	1,48
	0,95

Tabel 4.11 Data spesimen pengujian piknometri diameter tengah

Tekanan vakum	Ws (gr)	Wb (gr)	Wsb (gr)	Ws-(Wsb-Wb)	ρw (gr/cm³)	ρs (gr/cm³)	Porositas (%)
(-) 10 cmHg	17,28	12,78	23,43	6,63	0,997	2,60	3,07
	17,34		23,43	6,69		2,58	3,61
	17,3		23,39	6,69		2,58	3,83
(-) 20 cmHg	17,83		23,79	6,82		2,61	2,77
	17,64		23,67	6,75		2,61	2,81
	17,62		23,65	6,75		2,60	2,92
(-) 30 cmHg	16,5		23	6,28		2,62	2,29
	16,47		22,96	6,29		2,61	2,62
	16,49		22,97	6,3		2,61	2,66
(-) 40 cmHg	17,25		23,52	6,51		2,64	1,45
	17,14		23,44	6,48		2,64	1,63
	17,23		23,49	6,52		2,63	1,72
(-) 50 cmHg	16,57		23,14	6,21		2,66	0,77
	16,72		23,21	6,29		2,65	1,14
	16,94		23,33	6,39		2,64	1,41

Untuk mendapatkan porositas pada diameter luar, maka hasilnya didapat dari penjumlahan porositas pada spesimen diameter inti dan tengah kemudian dikurangi porositas pada spesimen yang utuh. Dan hasilnya sebagai berikut :

Tabel 4.12 Data spesimen pengujian distribusi porositas

Tekanan vakum	Utuh (%)	$\overline{X}$	Luar (%)	$\overline{X}$	Tengah (%)	$\overline{X}$	Inti (%)	$\overline{X}$
	10,78		1,89		3,07		5,82	
(-) 10 cmHg	11,45	11,64	2,89	3,1	3,61	3,5	4,96	5,04
	12,68		4,52		3,83		4,34	
	7,93		1,87		2,77		3,29	
(-) 20 cmHg	8,45	8,58	1,94	2,17	2,81	2,83	3,71	3,58
	9,36		2,69		2,92		3,75	
	7,08		1,35		2,29		3,45	
(-) 30 cmHg	7,72	7,71	2,38	2,16	2,62	2,52	2,72	3,03
	8,34		2,75		2,66		2,93	
	4,17		0,28		1,45		2,43	
(-) 40 cmHg	5,45	5,05	1,53	1,31	1,63	1,6	2,29	2,14
	5,55		2,12		1,72		1,71	
	2,99		0,31		0,77		1,92	
(-) 50 cmHg	3,37	3,36	0,75	0,81	1,14	1,1	1,48	1,46
	3,72		1,36		1,41		0,95	

4.2 Analisa Varian Satu Arah

Analisis Statistik ini akan dilakukan pada hasil pengujian porositas.. Untuk itu akan dilakukan analisa statistik satu arah (*Analisis of Variant One Way Classification*). Dengan analisis varian akan diketahui ada tidaknya perbedaan hasil dari perbedaan tekanan vakum yang diberikan dalam pengecoran *recycling* piston terhadap distribusi porositas. Dari data yang diperoleh secara statistik, akan diketahui bagaimana pengaruh variabel bebas secara bersama-sama terhadap variabel terikatnya. Untuk mengetahui apakah F hitung > F tabel maka dilakukan perhitungan statistik sebagai berikut (α = 0,05).

Sedangkan untuk mengetahui apakah variabel secara sendiri berpengaruh signifikan terhadap variabel terikat maka menggunakan uji t parsial dalam analisis regresi. Berdasarkan nilai signifikan yaitu :

- Jika nilai Sig. < 0,05 maka variabel bebas berpengaruh signifikan terhadap variabel terikat.
- Jika nilai Sig. > 0,05 maka variabel bebas tidak berpengaruh signifikan terhadap variabel terikat.

Uji t ini dapat dilakukan dengan mambandingkan t hitung dengan t tabel atau dengan melihat kolom signifikansi pada masing-masing t hitung.

Tabel 4.13 Data Prosentase Porositas Setiap Segmen untuk RAL Faktorial

Tekanan vakum	Porositas utuh (%)	Porositas tengah (%)	Porositas inti (%)	Porositas luar (%)
(-) 10 cmHg	10,78	3,07	5,82	1,89
	11,45	3,61	4,96	2,89
	12,68	3,83	4,34	4,52
(-) 20 cmHg	7,93	2,77	3,29	1,87
	8,45	2,81	3,71	1,94
	9,36	2,92	3,75	2,69
(-) 30 cmHg	7,08	2,29	3,45	1,35
	7,72	2,62	2,72	2,38
	8,34	2,66	2,93	2,75
(-) 40 cmHg	4,17	1,45	2,43	0,28
	5,45	1,63	2,29	1,53
	5,55	1,72	1,71	2,12
(-) 50 cmHg	2,99	0,77	1,92	0,31
	3,37	1,14	1,48	0,75
	3,72	1,41	0,95	1,36
ΣJKporositas	109,05	34,68	45,75	28,62
Σ		218,09		
$\Sigma JKporositas^2$	11891,12	1202,57	2092,99	819,05
Σ		16005,74		

Faktor Koreksi (FK)

$$FK = \frac{Y\ldots^2}{rab}$$

$$FK = \frac{218{,}09^2}{3 \times 4 \times 5}$$

$$= 792{,}74$$

Jumlah Kuadrat Total (JKT)

$$JKT = \sum_{i,j,k} {Y_{ijk}}^2 - FK$$

$$JKT = (10{,}78)^2 + (11{,}45)^2 + \cdots + (0{,}75)^2 + (1{,}36)^2 - 792{,}74$$

$$= 1249{,}31 - 792{,}74$$

$$= 456{,}57$$

Jumlah kuadrat perlakuan

$$JKA = \sum_i \frac{Y_i^2}{rb} - FK$$

$$JKA = \frac{(109{,}05)^2 + (34{,}68)^2 + (45{,}75)^2 + (28{,}62)^2}{3\ X\ 5} - 792{,}74$$

$$= \frac{16005{,}73}{15} - 792{,}74$$

$$= 274{,}31$$

$$JKB = \sum_j \frac{Y_j^2}{ra} - FK$$

$$JKB = \frac{(69{,}82)^2 + (51{,}50)^2 + (46{,}28)^2 + (30{,}33)^2 + (20{,}16)^2}{3\ X\ 4} - 792{,}74$$

$$= \frac{10995{,}74}{12} - 792{,}74$$

$$= 123{,}57$$

Tabel 4.14 Data untuk menghitung jumlah kuadrat porositas dan tekanan vakum

Tekanan vakum	Porositas utuh (%)	Porositas tengah (%)	Porositas inti (%)	Porositas luar (%)
(-) 10 cmHg	10,78	3,07	5,82	1,89
	11,45	3,61	4,96	2,89
	12,68	3,83	4,34	4,52
ΣX	34,91	10,50	15,11	9,30
X^2	1218,83	110,29	228,45	86,40
(-) 20 cmHg	7,93	2,77	3,29	1,87
	8,45	2,81	3,71	1,94
	9,36	2,92	3,75	2,69
ΣX	25,75	8,50	10,75	6,50
X^2	663,06	72,23	115,53	42,28
(-) 30 cmHg	7,08	2,29	3,45	1,35
	7,72	2,62	2,72	2,38
	8,34	2,66	2,93	2,75
ΣX	23,14	7,56	9,11	6,47
X^2	535,53	57,17	82,91	41,92
(-) 40 cmHg	4,17	1,45	2,43	0,28
	5,45	1,63	2,29	1,53
	5,55	1,72	1,71	2,12
ΣX	15,16	4,80	6,43	3,93
X^2	229,90	23,06	41,33	15,46
(-) 50 cmHg	2,99	0,77	1,92	0,31
	3,37	1,14	1,48	0,75
	3,72	1,41	0,95	1,36
ΣX	10,08	3,31	4,35	2,42
X^2	101,62	10,98	18,94	5,83

$$JK(AB) = \sum_{i,j} \frac{Y_{i,j}{}^2}{r} - FK - JKA - JKB$$

$$JK(AB) = \frac{(25{,}75)^2 + (23{,}14)^2 + \cdots + (3{,}93)^2 + (2{,}42)^2}{3} - 792{,}74 - 274{,}31 - 123{,}57$$

$$= \frac{3701{,}73}{3} - 792{,}74 - 274{,}31 - 123{,}57$$

$$= 43{,}29$$

Jumlah kuadrat galat

$$JKG = JKT - JKA - JKB - JK(AB)$$

$$= 456{,}57 - 792{,}74 - 123{,}57 - 43{,}29$$

$$= 15{,}40$$

Derajat Bebas Perlakuan ($db_{perlakuan}$)

dbp = ab - 1

= (4 x 5) – 1

= 19

Derajat Bebas Porositas ($db_{porositas}$)

dbporositas = a - 1

= 4 – 1

= 3

Derajat Bebas Tekanan Vakum ($db_{tekanan\ vakum}$)

Dbtek. vakum = b - 1

= 5 – 1

= 4

Derajat Bebas Porositas dan Tekanan Vakum ($db_{porositas}$*$_{tekanan\ vakum}$)

Dbporositas*tek. vakum = (a – 1)(b - 1)

= (4 – 1)(5 – 1)

= 12

Derajat Bebas Galat (db_{galat})

dbg = ab(r – 1)

= 4 x 5 (3 – 1)

= 40

Derajat Bebas Total (db_{total})

dbt = (3 x 4 x 5) – 1

= 60 – 1

= 59

Kuadrat Tengah A (KTA)

$$KTA = \frac{JKA}{dbA}$$

= 91,44

Kuadrat Tengah B (KTB)

$$KTB = \frac{JKB}{dbB}$$

= 30,89

Kuadrat Tengah AB (KT(AB))

$$KT(AB) = \frac{JK(AB)}{db(AB)}$$

= 3,61

Kuadrat Tengah Galat (KTG)

$$KTG = \frac{JKG}{dbG}$$

= 0,39

Dari data perhitungan diatas dapat dicari F_{hitung} dengan rumus:

$$F_{hitungA} = \frac{KT(A)}{KTG}$$

$$= 237,43$$

$$F_{hitungB} = \frac{KT(B)}{KTG}$$

$$= 80,22$$

$$F_{hitungAB} = \frac{KT(AB)}{KTG}$$

$$= 9,37$$

Tabel 4.15 Analisis Ragam RAL Faktorial

Sumber Keragaman	**Derajat Bebas (db)**	**Jumlah Kuadrat (JK)**	**Kuadrat Tengah (KT)**	**F-Hitung**	**F-Tabel**
Perlakuan	19				
Porositas (A)	3	274,31	91,44	237,43	$F_{(0,05;\ 3;\ 40)}$ = 2,84
Te. Vakum (B)	4	123,57	30,89	80,22	$F_{(0,05;\ 4;\ 40)}$ = 2,61
A x B	12	43,29	3,61	9,37	$F_{(0,05;\ 12;\ 40)}$ = 2
Galat	40	15,40	0,39		
Total	59	456,57			

Berdasarkan tabel 4.15 dapat disimpulkan bahwa pada :

Porositas dan tekanan vakum : F Hitung (9,37) > F Tabel (2) H_0 ditolak dan H_1 diterima. Dengan tingkat kesalahan 5%, maka sudah ada cukup bukti untuk mengatakan

bahwa ada pengaruh antara variasi tekanan vakum pada setiap segmen spesimen terhadap distribusi porositas ingot.

Tabel 4.16 Data uji signifikan pada spesimen utuh

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Significance
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	13.292	.467		28.467	.000
	Vakum	.201	.014	.969	14.260	.000

a. Dependent Variable: Utuh

Tabel 4.17 Data uji signifikan pada spesimen diameter luar

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Significance
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	3.542	.469		7.556	.000
	Vakum	.054	.014	.730	3.852	.002

a. Dependent Variable: Luar

Tabel 4.18 Data uji signifikan pada spesimen diameter tengah

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Significance
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	4.121	.153		26.857	.000
	Vakum	.060	.005	.964	13.025	.000

a. Dependent Variable: Tengah

Tabel 4.19 Data uji signifikan pada spesimen diameter inti

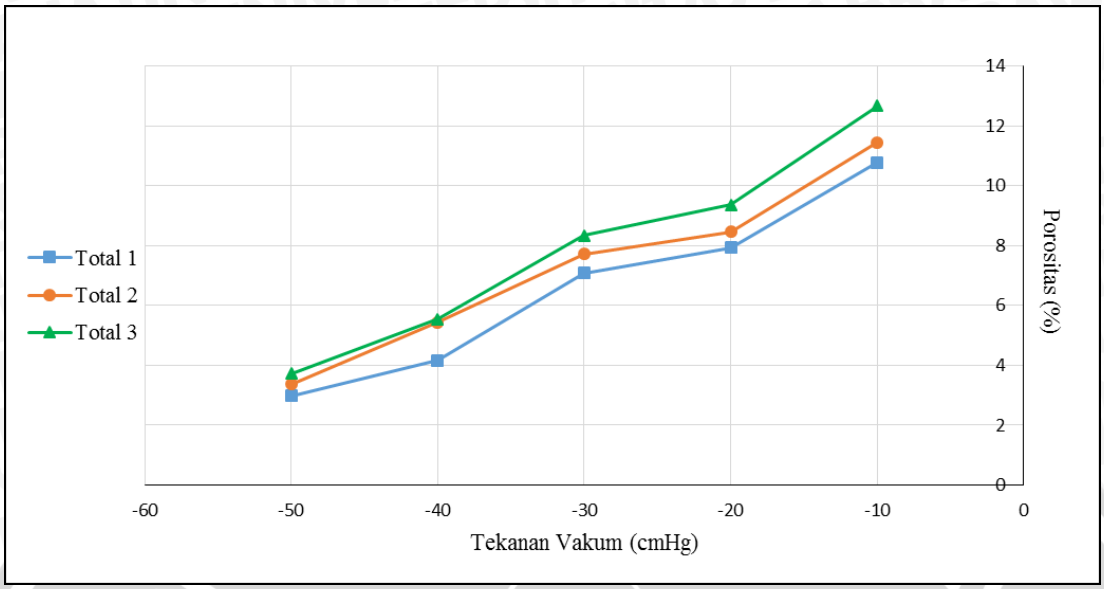
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Significance
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	5.636	.284		19.810	.000
	Vakum	.086	.009	.941	10.049	.000

a. Dependent Variable: Inti

Berdasarkan pada tabel 4.16 – 4.19 dengan tingkat signifikan 5 % didapatkan bahwa dengan nilai Sig. < 0,05 tekanan vakum (variabel bebas) berpengaruh signifikan terhadap porositas setiap segmen. Hal ini dibuktikan pada spesimen utuh, diameter luar, tengah dan inti nilai Sig. < 0,05.

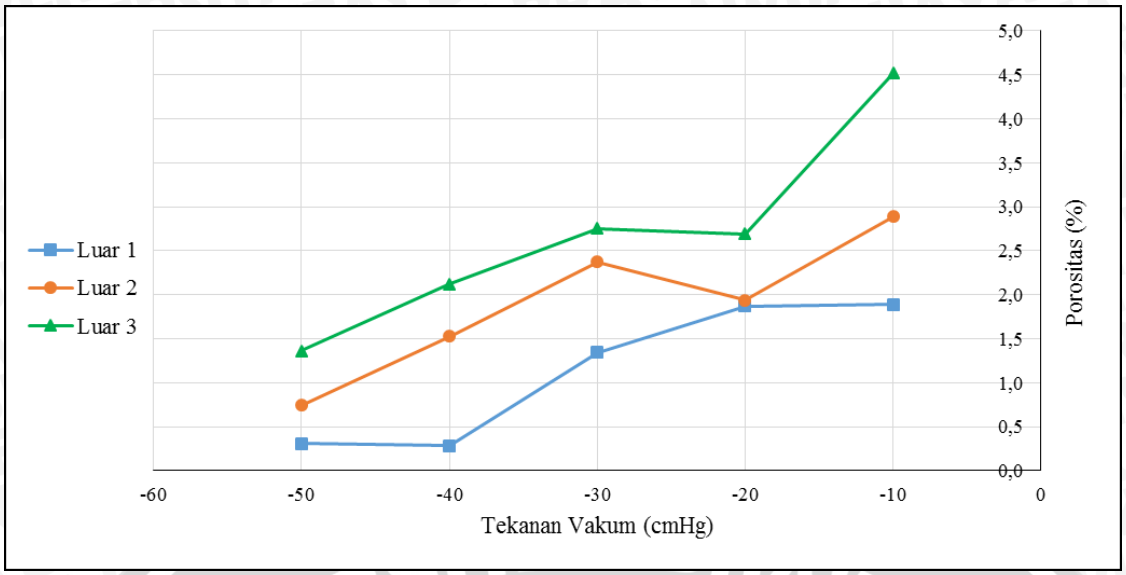
4.3 Pembahasan

4.3.1 Pembahasan Grafik



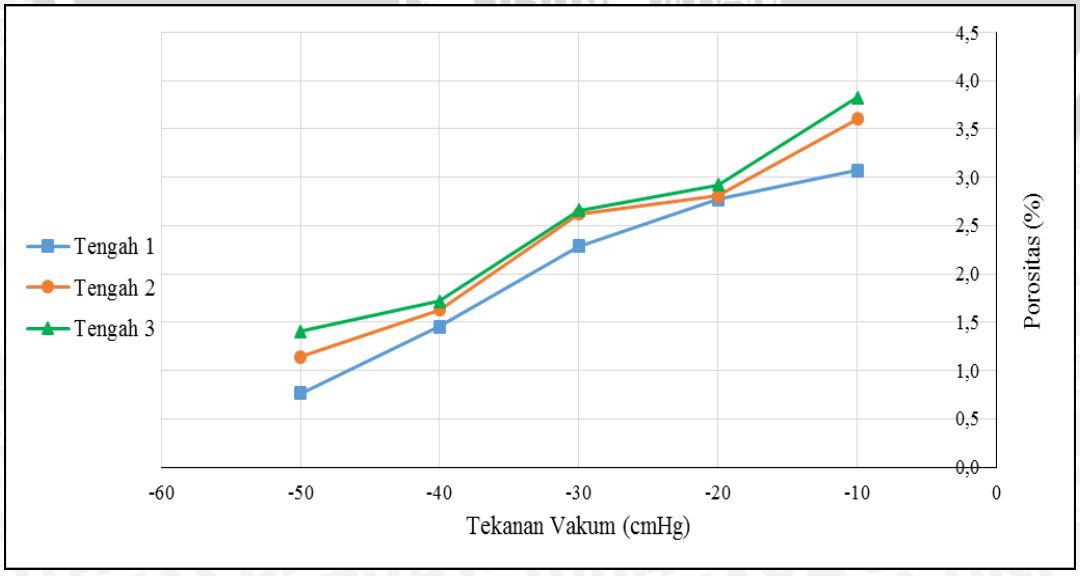
Gambar 4.4 Grafik Hubungan Tekanan Vakum Terhadap Distribusi Porositas pada Spesimen Utuh

Dari gambar 4.4 dapat dilihat bahwa terdapat pengaruh tekanan vakum terhadap distribusi porositas spesimen pada setiap segmen mulai dari diameter inti, tengah dan luar. Grafik ini menunjukkan kecenderungan porositas yang semakin menurun dengan semakin rendahnya tekanan vakum yang diberikan. Hal ini dapat dibuktikan dengan melihat gambar 4.4 pada porositas spesimen utuh. Rata-rata prosentase porositas terendah terdapat pada spesimen dengan tekanan vakum -50 cmHg yaitu sebesar 3,36%. Sedangkan untuk rata-rata prosentase porositas tertinggi pada tekanan vakum -10 cmHg yaitu sebesar 11,64 %.



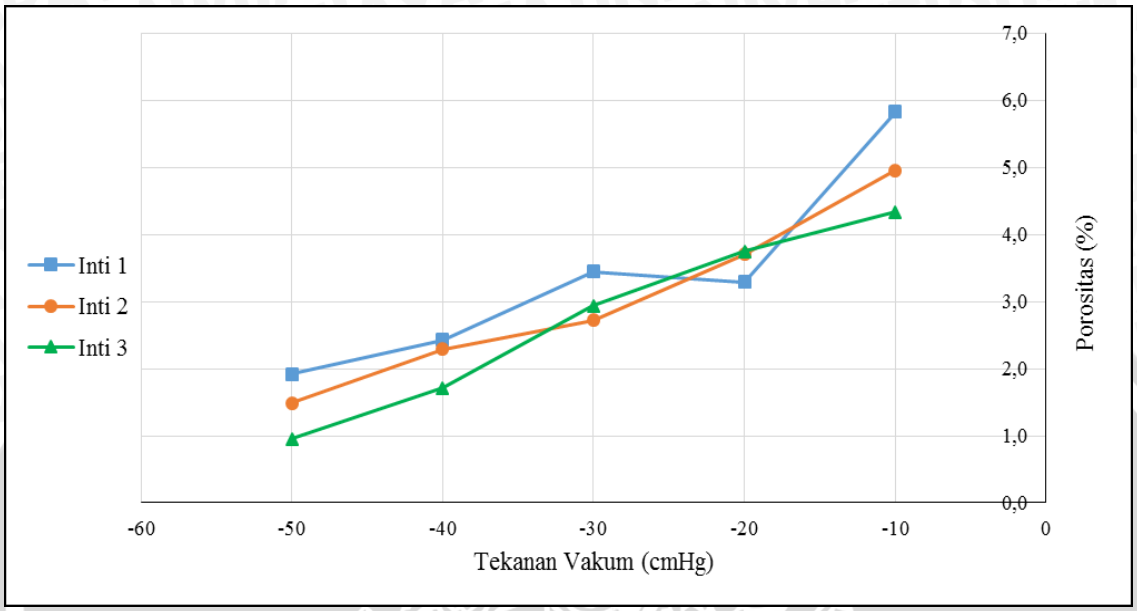
Gambar 4.5 Grafik Hubungan Tekanan Vakum Terhadap Distribusi Porositas pada Spesimen Diameter Luar

Pada spesimen diameter luar, rata-rata prosentase porositas juga cenderung turun dengan tekanan vakum yang rendah. Dengan tekanan vakum -50 cmHg memiliki porositas terendah sebesar 0,81 %, sedangkan tekanan vakum -10 cmHg memiliki porositas tertinggi yaitu 3,1 %. Rata-rata distribusi porositas terendah ada pada spesimen dengan tekanan -50 cmHg, secara berurutan porositas diameter luar, tengah dan inti yaitu 0,81 %; 1,1 %; dan 1,46 %. Sedangkan yang memiliki rata-rata prosentase distribusi porositas tertinggi adalah spesimen dengan tekanan -10 cmHg yaitu 3,1 %; 3,5 %; dan 5,04 %.



Gambar 4.6 Grafik Hubungan Tekanan Vakum Terhadap Distribusi Porositas pada Spesimen Diameter Tengah

Prosentase porositas pada spesimen diameter tengah juga cenderung turun dengan tekanan vakum yang semakin rendah. Dengan rata-rata porositas terendah diameter tengah terdapat pada tekanan vakum -50 cmHg yaitu 1,1 %. Dan rata-rata porositas tertingginya terdapat pada tekanan vakum -10 cmHg yaitu 3,5 %.



Gambar 4.7 Grafik Hubungan Tekanan Vakum Terhadap Distribusi Porositas pada Spesimen Diameter Inti

Pada gambar 4.7 spesimen diameter inti, prosentase porositas cenderung turun dengan semakin rendahnya tekanan vakum yang diberikan saat peleburan hingga solidifikasi. Dengan rata-rata porositas terendah spesimen diameter inti terdapat pada tekanan vakum -50 cmHg yaitu 1,46 %. Dan rata-rata porositas tertingginya terdapat pada tekanan vakum -10 cmHg yaitu 5,04 %.

Penurunan prosentase porositas ini terjadi dikarenakan gas yang terkandung di dalam aluminium cair yang menjadi penyebab porositas, terutama gas hidrogen yang mudah larut akan dipaksa keluar seiring dengan bertambahnya tingkat kevakuman. Sehingga kelarutan gas pada saat kondisi cair hingga solidifikasi dapat berkurang dan mengakibatkan cacat porositas pun juga berkurang.

Cacat porositas paling banyak terjadi di bagian inti, hal ini dikarenakan kecepatan pertumbuhan ujung-ujung dari cabang dendrit yang lambat. Kecepatan pertumbuhan ujung-ujung dari cabang dendrit sangat tergantung pada kecepatan perpindahan panasnya. Kecepatan perpindahan panas bagian inti sangat lambat karena harus melewati bagian tengah dan pinggir sesuai dengan arah perpindahan panas yang

tegak lurus terhadap dinding cetakan, sehingga gas dapat terjebak diantara pertumbuhan cabang-cabang dendrit dan mengakibatkan gas yang terjebak susah untuk keluar.

Sedangkan bagian diameter luar mempunyai prosentase porositas yang paling kecil, hal ini disebabkan logam cair menyentuh dinding cetakan terlebih dahulu sehingga mengalami pembekuan yang lebih cepat. Jadi, urutan pembekuan pada pengecoran dimulai dari yang menyentuh dinding cetakan terlebih dahulu yaitu diameter luar (tepi), tengah dan bagian inti.

BAB V
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Semakin rendah tekanan vakum menyebabkan distribusi cacat porositas berkurang. Pada setiap segmen rata-rata prosentase porositas terendah ada pada spesimen dengan tekanan vakum -50 cmHg, secara berurutan porositas diameter luar, tengah dan inti yaitu 0,81 %; 1,1 %; dan 1,46 %. Sedangkan yang memiliki rata-rata prosentase porositas tertinggi adalah spesimen dengan tekanan vakum -10 cmHg yaitu 3,1 %; 3,5 %; dan 5,04 %.
2. Pengamatan foto mikro dan foto makro pada spesimen tekanan vakum -50 cmHg dan -10 cmHg yang dilakukan dapat disimpulkan semakin rendah tekanan vakum menyebabkan persebaran jumlah porositas semakin sedikit dan ukuran porositas itu sendiri juga semakin kecil.

5.2 Saran

1. Untuk menghasilkan hasil coran yang berkualitas lebih baik menggunakan metode pengecoran secara vakum karena cacat porositas yang sering timbul dalam dunia pengecoran dapat diminimalisir dengan menggunakan proses pemvakuman yang disebabkan oleh tingginya kelarutan gas pada kondisi cair hingga solidifikasi.

DAFTAR PUSTAKA

Abdillah, Fuad. 2010. *Perlakuan Panas Paduan Al-Si Pada Prototipe Piston Berbasis Material Piston Bekas*. Semarang : Universitas Diponegoro Semarang

Ager P, Iortsor A, Obotu GM. 2014. *Behavior of Aluminum Alloy Castings under Different Pouring Temperatures and Speeds*. The International Daily Journal. ISSN 2278-5469, Volume 22, Number 74

Alatas, Abdurahman. 2011. *Porositas Gas Paduan Duralumin Pada Pengecoran Sistem Vakum*. Depok : Universitas Indonesia

ASM Handbook vol. 2. 2004. *Properties and Selection: Nonferrous alloys and special purpose materials.* Materials Park, OH : ASM International

ASM Handbook vol. 3. 2004. *Alloy Phase Diagrams.* Materials Park, OH : ASM International

ASTM B311-93

ASTM E252-84

Budinski, K. 1996. *Engineering Materials*: Properties and Selection.

Campbell, John. 2003. *Castings Second Edition*. Oxford : Butterworth-Heinemann

Cengel, Y. A. dan Boles, M. A. 2006. *Thermodynamics: An Engineering Approach 5th edition*. New York: Mc Graw-Hill Book.

De Garmo, E. P. 2008. *Materials and Processes In Manufacturing*. John Wiley and Sons, Inc

Dow Corning. 2002. *The Advantage of Silicon-Based Materials*. USA : Dow Corning Corporation

Firdaus. 2002. *Analisis Parameter Proses Pengecoran Squeeze Terhadap Cacat Porositas Produk Flens Motor Sungai*. Surabaya : Jurnal Teknik Mesin Vol. 4

Heine, R. W. 1990. *Principles of Metal Casting*. New Delhi: Tata McGraw -Hill, M.P. Groover,dkk. 2002. Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Process, and Systems. New Jersey : John Wiley & Sons, Inc.

Jain, P.L. 1986. *Principles of Foundry Technology.* New Delhi: Tata McGraw –Hill

Kalpakjian, S. 1990. *Manufacturing Engineering and Technology*. Massachusetts: Adison-Wesley Publish Company.

Kementerian Perindustrian. 2014. *64% dari Industri Nasional Bergantung pada Bahan Baku Impor*. Jakarta : Kemenperin

Niu, B.H. Hu, I. Pinwilla, H. Li. 2000. *Vacuum assisted high pressure die casting of aluminium alloys*. Journal of Materials Processing Technology 105 (2000) 119 - 127

Rajput, R. K. 2007. *A Textbook of Manufacturing Technology: Manufacturing Processes*. New Delhi : Firewall Media

Siswanto, R. 2011. *Pengaruh Temperatur dan Waktu Peleburan Pengecoran Tuang Terhadap Struktur Mikro aduan Al – 21% Mg*. Jurnal : vol. 3 no. 1, ISSN 2085-3548.

Suprapto, W, Bambang Suharno, Johny Wahyuadi Sudarsono, Dedi Priadi. 2010. *Uji Penentuan Kuantitas Porositas Casting Product Duralumin Dengan Mass Balance Dan Proses Hot Isostatic Pressing*. Universitas Tirtayasa

Suprapto, W. 2011. *Porositas Gas Pada Material Duralumin Dalam Pengecoran Sistem Vakum*. Jakarta : Universitas Indonesia.

Suprapto, W. 2012. *The Fluidity Characteristics of Liquid Duralumin by Piece Test Methode on Permanent Mold in Low Pressure.* Jurnal Rekayasa Mesin Vol.3, No. 1 Tahun 2012 : 268-275 ISSN 0216-468X

Surdia,Tata. & Chijiiwa Kenji. 1975. *Teknik Pengecoran Logam*. Jakarta: Pradnya Paramita.

Mbuya, B. O. Odera, S. P. Ng'ang'a & F. M. Oduori. 2010. *Effective Recycling of Cast Aluminium Alloys for Small Foundries*. Kenya : *Department of Mechanical and Manufacturing Engineering, University of Nairobi.* JAGST Vol. 12(2)

Taylor, Sum & McClain, and Berry. 2000. *Uncertainty Analysis of Metal Casting Porosity Measurements Using Archimedes Principle International Journal of Cast Metals Research Vol 11*. America: Prentice-Hall International, Inc.

SPECTRO

PT.H.P.METALS INDONESIA

122804

Method: Al-SS-6063 2/26/2015 5:04:06 PM
Comment: Al-Base SS-6063 Element Concentration
Sample No.: Sample ID:

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
	%	%	%	%	%	%	%	%
1	12.13	0.429	1.07	0.0288	1.31	0.0209	0.0390	0.0213
2	12.18	0.423	1.04	0.0279	1.27	0.0203	0.0388	0.0214
3	12.23	0.416	1.04	0.0283	1.28	0.0205	0.0386	0.0213

	Na	Ca	Ni	Pb	P	Sn	Sb	Sr
	%	%	%	%	%	%	%	%
1	< 0.00005	0.00053	1.20	0.0060	0.00094	0.0015	< 0.00040	< 0.00010
2	< 0.00005	0.00055	1.14	0.0056	0.00094	0.0014	0.00063	< 0.00010
3	< 0.00005	0.00058	1.15	0.0058	0.00093	0.0015	< 0.00040	< 0.00010

	Be	Zr	Bi	Cd	Al			
	%	%	%	%	%			
1	0.00028	0.0020	< 0.00030	0.0013	83.7			
2	0.00027	0.0019	< 0.00030	0.0013	83.8			
3	0.00027	0.0020	< 0.00030	0.0012	83.8			

Lab. 26/02 2015

Jeffrey.

LABORATORIUM MATERIAL αβγ

Melayani; Pembuatan Spesimen, Pengujian dan Menyewakan Alat

Jl. TIRTO UTOMO V/10 LANDUNGSARI-MALANG

Telp. (0341) 460901, HP. 08123394088

Nomor : 033/PL/06/2015
Perihal : Pengujian Piknometri
Lampiran : -

Dengan surat ini memberikan keterangan bahwa saudara :

Nama : SALSABIILA VELINA AGUS

NIM : 11506020111014

Instansi : Universitas Brawijaya

Telah menggunakan laboratorium αβγ guna menyelesaikan penelitian skripsi yang dilaksanakan pada tanggal 7- 9 Juni 2015. Berikut terlampir proses penelitian dan data yang didapatkan.

Proses pengujian piknometri pada ingot *secondary* Al-Si

1. Pengukuran berat tiap spesimen di udara dengan timbangan elektrik
2. Pengukuran berat keranjang dalam air
3. Pengukuran berat tiap spesimen pada keranjang dalam air
4. Melakukan perhitungan *apparent density* dari data yang telah didapatkan

Tabel Berat Spesimen Utuh

Tekanan Vakum	Ws	Wb	Wsb
(-) 10 cmHg	56,28	12,78	45,6
	56,31		45,44
	56,35		45,13
(-) 20 cmHg	56,27		46,32
	56,32		46,22
	56,37		46,02
(-) 30 cmHg	55,84		46,27
	55,93		46,17
	55,97		46,04
(-) 40 cmHg	56,2		47,17
	56,34		46,96
	56,33		46,93
(-) 50 cmHg	55,9		47,25
	55,94		47,19
	55,97		47,13

Tabel Berat Spesimen Tepi

Tekanan Vakum	Ws	Wb	Wsb
(-) 10 cmHg	51,06	12,78	43,86
	51,24		43,64
	51,36		43,3
(-) 20 cmHg	50,82		43,78
	51,07		43,91
	51,14		43,77
(-) 30 cmHg	50,58		43,84
	50,81		43,7
	50,92		43,68
(-) 40 cmHg	51,1		44,54
	51,22		44,33
	51,35		44,27
(-) 50 cmHg	50,78		44,47
	50,89		44,38
	50,98		44,26

LABORATORIUM MATERIAL αβγ

Melayani; Pembuatan Spesimen, Pengujian dan Menyewakan Alat

Jl. TIRTO UTOMO V/10 LANDUNGSARI-MALANG

Telp. (0341) 460901, HP. 08123394088

Tabel Berat Spesimen Diameter Tengah

Tekanan Vakum	Ws	Wb	Wsb
(-) 10 cmHg	17,28	12,78	23,43
	17,34		23,43
	17,3		23,39
(-) 20 cmHg	17,83		23,79
	17,64		23,67
	17,62		23,65
(-) 30 cmHg	16,5		23
	16,47		22,96
	16,49		22,97
(-) 40 cmHg	17,25		23,52
	17,14		23,44
	17,23		23,49
(-) 50 cmHg	16,57		23,14
	16,72		23,21
	16,94		23,33

Catatan.
Material : Piston (Al-Si)
Satuan : gram (g)

Malang, 9 Juni 2015
Penanggung Jawab

LAB MATERIAL αβγ

Dr. Ir. Wahyono Suprapto,MT.Met

LAMPIRAN 3

Tabel *Density of Air-Free Water* ASTM B 311-93

Temperature (°C)	Density (gram/cm^3)
18,0	0,9986
18,5	0,9985
19,0	0,9984
19,5	0,9983
20,0	0,9982
20,5	0,9981
21,0	0,9980
21,5	0,9979
22,0	0,9978
22,5	0,9976
23,0	0,9975
23,5	0,9974
24,0	0,9973
24,5	0,9972
25,0	0,9970
25,5	0,9969
26,0	0,9968
26,5	0,9966
27,0	0,9965
27,5	0,9964
28,0	0,9962
28,5	0,9961
29,0	0,9959
29,5	0,9958
30,0	0,9956