



TUGAS AKHIR - TM 141585

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH LETAK,
DIAMETER DAN JUMLAH PENAMBAH (*RISER*)
TERHADAP KUALITAS PRODUK COR PADA
PENGECORAN ADC 12 DENGAN
METODE *LOST-FOAM CASTING***

**JOSEPH ANANTA
NRP. 2112 106 040**

**Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Abdullah Shahab, M.Sc**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015**



TUGAS AKHIR (METALURGI) - TM 141585

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH LETAK,
DIAMETER DAN JUMLAH PENAMBAH (*RISER*)
TERHADAP KUALITAS PRODUK COR PADA
PENGECORAN ADC 12 DENGAN
METODE *LOST-FOAM CASTING***

**JOSEPH ANANTA
NRP. 2112 106 040**

**Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Abdullah Shahab, M.Sc**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015**



FINAL PROJECT - TM 141585

**EXPERIMENTAL STUDY OF THE EFFECT OF LOCATION,
DIAMETER AND AMOUNT OF RISER ON THE QUALITY
OF CAST PRODUCT IN ADC 12 CASTING WITH
THE LOST-FOAM CASTING METHOD**

**JOSEPH ANANTA
NRP. 2112 106 040**

**Counselor Lecture
Prof. Dr. Ir. Abdullah Shahab, M.Sc**

**MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2015**



FINAL PROJECT - TM141585

**EXPERIMENTAL STUDY OF THE EFFECT OF LOCATION,
DIAMETER AND AMOUNT OF RISER ON THE QUALITY
OF CAST PRODUCT IN ADC 12 CASTING WITH
THE LOST-FOAM CASTING METHOD**

**Joseph Ananta
NRP. 2112 106 040**

**Counselor Lecture
Prof. Dr. Ir. Abdullah Shahab, M.Sc**

**MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2015**

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH LETAK,
DIAMETER DAN JUMLAH PENAMBAH (*RISER*)
TERHADAP KUALITAS PRODUK COR
PADA PENGECORAN ADC 12 DENGAN
METODE *LOST-FOAM CASTING***

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik pada Bidang Studi Metalurgi
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

JOSEPH ANANTA
NRP. 2112 106 040

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

- 
1. Prof. Dr. Ir. Abdullah Shabab, M.Sc.
NIP. 195204171979031002 (Pembimbing)
 2. Dr. Ir. Soeharto, DEA.
NIP. 194809111981031001 (Penguji 1)
 3. Ir. Hari Subiyanto, M.Sc.
NIP. 196006231988031002 (Penguji 2)
 4. Ika Dewi Wijayanti, S.T., M.Sc.
NIP. 198512022014042002 (Penguji 3)

SURABAYA
2015

(halaman ini sengaja dikosongkan)

Studi Eksperimental Pengaruh Letak, Diameter dan Jumlah Penambah (*Riser*) Terhadap Kualitas Produk Cor Pada Pengecoran ADC 12 dengan Metode *Lost-Foam Casting*

Nama Mahasiswa : Joseph Ananta
NRP : 2112 106 040
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Abdullah Shahab, M.Sc

ABSTRAK

Metode pengecoran *lost-foam* merupakan langkah baru untuk memproduksi benda-benda berbentuk sederhana bahkan benda dengan bentuk kompleks sekalipun. Namun dalam praktiknya seringkali ditemukan beberapa cacat pada produk cor seperti cacat penyusutan (*shrinkage*) dan cacat gelembung gas atau porositas. Kedua cacat tersebut sangat merugikan karena dapat mengubah sifat mekanik dari produk cor dan mengakibatkan kualitas produk cor menjadi buruk. Sehingga kebutuhan akan adanya penambah (*riser*) perlu dipertimbangkan berdasarkan beberapa penelitian untuk mengetahui pengaruhnya terhadap cacat tersebut. Salah satu upaya untuk mengetahuinya, perlu dilakukan studi eksperimental pengaruh letak penambah, diameter penambah dan jumlah penambah terhadap kualitas produk cor.

Material yang digunakan dalam pengecoran *lost-foam* ini adalah ADC 12. Terdapat 3 (tiga) faktor penambah (*riser*) yang diteliti untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kualitas produk cor. Faktor pertama yaitu letak penambah dengan sistem penambah atas (*top riser*) dan sistem penambah samping (*side riser*). Faktor kedua yaitu diameter penambah pada sistem penambah atas dan sistem penambah samping masing-masing berdiameter 22 mm dan 25 mm. Faktor ketiga yaitu jumlah penambah pada sistem penambah atas masing-masing satu penambah dan dua penambah. Masing-masing faktor kemudian diteliti dengan pengujian porositas secara kuantitatif dan kualitatif serta pengujian kekerasan *Vickers*.

Setelah dilakukan analisa dan pembahasan cacat porositas secara kuantitatif dan kualitatif maka dapat disimpulkan bahwa cacat yang dihasilkan pada pengecoran *lost-foam* didominasi oleh cacat mikroporositas dan cacat gas pore. Letak penambah menjadi faktor paling dominan dalam meminimalisir cacat penyusutan dan porositas yaitu dengan menggunakan sistem penambah samping dan diameter penambah 25 mm. Rasio antara diameter penambah dengan tebal benda pada sistem penambah atas (*top riser*) memiliki peran penting dalam mengurangi jumlah cacat penyusutan. Penambah tunggal lebih efektif mengurangi cacat porositas daripada menggunakan penambah ganda. Beberapa hasil pengujian kekerasan cenderung tidak menunjukkan adanya hubungan yang jelas antara nilai kekerasan dengan parameter yang diuji.

Kata Kunci : Pengecoran *lost-foam*, sistem penambah (*riser*), penyusutan, porositas.

Experimental Study of The Effect of Location, Diameter and Amount of Riser on The Quality of Cast Product in ADC 12 Casting with The Lost-Foam Casting Method

Name : Joseph Ananta
NRP : 2112 106 040
Department : Mechanical Eng. FTI-ITS
Counselor Lecture : Prof. Dr. Ir. Abdullah Shahab, M.Sc

Abstract

Lost-foam casting method is a new step for the production of simple shaped objects even though objects with complex shapes. However, in practice often found some defects in cast products such as shrinkage defects and gas holes or porosity. Both of these defects are very harmful because it can alter the mechanical properties of the cast product and resulting bad quality of the cast product. So the need for riser system should be considered by several studies to determine the effects on such defects. One effort to figure it out, necessary to do an experimental study on the influence of riser location, riser diameter and amount of riser to the quality of the cast product.

The material used in the lost-foam casting is ADC 12. There are three factors of riser under study to determine its effects on the quality of the cast product. The first factor is the location of risers that includes the top riser and the side riser. The second factor is the diameter of risers, the top riser and the side riser that each riser has 22 mm and 25 mm of diameters. The third factor is the number of risers in the riser system by using a single riser and multiple risers. Each factors then evaluated by qualitative and quantitative porosity testing and Vickers hardness testing.

After analysis and discussion of porosity defects quantitatively and qualitatively it can be concluded that the defect in lost-foam casting is dominated by micro porosity and gas pore. Riser locations become the most dominant factor in minimizing the amount of porosity defects by using side riser system and 25 mm diameter of riser. The ratio between the diameter of riser and the thickness of cast product on top riser system play an important role in reducing the number of shrinkage. Using a single riser is more effective to reduce the porosity defects than using multiple riser. Some test results of hardness did not show a clear correlation between hardness values to the parameters being tested.

Keywords: Lost-foam casting, riser systems, shrinkage, porosity.

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis haturkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan kasih dan berkat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“Studi Eksperimental Pengaruh Letak, Diameter dan Jumlah Penambah (*Riser*) Terhadap Kualitas Produk Cor Pada Pengecoran ADC 12 dengan Metode *Lost-Foam Casting*”** tepat pada waktunya. Tugas Akhir ini merupakan salah satu prasyarat kelulusan yang harus dipenuhi oleh setiap mahasiswa S-1 Teknik Mesin ITS, sesuai dengan kurikulum yang telah ditetapkan.

Berbagai hambatan dan kesulitan selama penyusunan tugas akhir ini akhirnya dapat diselesaikan berkat dukungan dan bantuan yang sangat berharga dari berbagai pihak. Penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih atas segala bantuannya kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Abdullah Shahab, M.Sc, selaku Dosen Pembimbing yang dengan baik dan sabar membimbing penelitian ini hingga selesai.
2. Bapak Dr. Ir. Soeharto, DEA, Bapak Ir. Hari Subiyanto, M.Sc. dan Bapak Indra Sidharta, ST.,M.Sc. selaku pembahas yang selalu memberi masukan dalam menyelesaikan penelitian ini.
3. Bapak Arif Wahjudi, ST.,MT.,Ph.D selaku Kepala Seksi Tugas Akhir.
4. Bapak Ir. Bambang Pramujati, M.Sc, Ph.D selaku Kepala Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS.
5. Bapak Alief Wikarta, ST., M.Sc., Ph.D. selaku dosen wali yang telah memberikan arahan selama kuliah.
6. Karyawan Lab. Metalurgi yang telah membantu dalam proses penelitian yaitu Pak Gatot, Pak Endang, Pak Budi, Pak Bambang Sumantri dan Mas Agus.
7. Ayah dan Ibu beserta keluarga tercinta di Kendal yang selalu memberi dukungan doa dan motivasi selama ini.

8. Motivator terhebatku, Christina Trijayanti dan keluarga tercinta di Bali yang senantiasa memberi semangat dan doa selama ini.
9. Teman-teman Lintas Jalur 2012 dan rekan-rekan di Laboratorium Metalurgi yang selalu menghibur dan memberi semangat.
10. Seluruh Civitas Akademika Teknik Mesin FTI-ITS yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Semoga segala partisipasi yang telah diberikan dalam penelitian ini mendapatkan balasan kasih dan berkat dari Allah Bapa.

Penulis menyadari bahwa dalam penyelesaian Tugas Akhir ini masih banyak kesalahan serta kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran yang sifatnya membangun dari semua pihak sangat penulis harapkan untuk perbaikan di rnsa yang akan datang. Semoga hasil penelitian ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membacanya.

Surabaya, 7 Juli 2015

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL	xiii
ABSTRAK	xv
BAB 1 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.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	5
2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.2 Dasar Teori.....	6
2.2.1 Aluminium.....	6
2.2.2 Klasfikasi Pengecoran	11
2.2.3 <i>Lost-foam Casting</i>	12
2.2.4 Dekomposisi <i>Polystyrene Foam (Styrofoam)</i>	14
2.2.5 Pasir Cetak.....	17

2.2.6	Pola <i>Polystyrene Foam (Styrofoam)</i>	18
2.2.7	Penggetaran Cetakan	18
2.2.8	Penuangan.....	19
2.2.9	Pembekuan (<i>Solidification</i>)	21
2.2.10	Gambaran Umum <i>Riser</i>	27
2.2.11	Merancang Sistem Saluran	31
2.2.12	Pengujian Spesimen	34
BAB 3	METODOLOGI PENELITIAN.....	37
3.1	Perancangan Eksperimen	37
3.2	Material dan Peralatan Penelitian	43
3.2.1	Material Penelitian	43
3.2.2	Peralatan Penelitian	45
3.3	Tahapan Pengujian	50
BAB 4	PERANCANGAN SISTEM SALURAN DAN HASIL PENGECORAN.....	55
4.1	Perancangan Sistem Saluran	55
4.1.1	Perhitungan Sistem Saluran Cetakan A.....	55
4.1.2	Perhitungan Sistem Saluran Cetakan B.....	58
4.1.3	Perhitungan Sistem Penambah.....	61
4.2	Hasil Pengecoran.....	65
BAB 5	ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	69
5.1	Hasil Pengujian Persentase Porositas	69
5.1.1	Data Hasil Pengujian Persentase Porositas Secara Kuantitatif	69

5.1.2	Data Hasil Pengujian Persentase Porositas Secara Kualitatif	72
5.1.3	Analisa Data Hasil Pengujian Porositas	77
5.2	Hasil Pengujian Kekerasan	86
5.2.1	Data Hasil Pengujian Kekerasan.....	86
5.2.2	Analisa Data Hasil Pengujian Kekerasan	99
BAB 6	KESIMPULAN DAN SARAN	103
6.1	Kesimpulan	103
6.2	Saran	104
	DAFTAR PUSTAKA	107
	LAMPIRAN A	109
	LAMPIRAN B	117
	RIWAYAT PENULIS.....	120

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Daftar seri paduan Aluminium tuang (cast aluminium) sesuai standar AA ^[6]	7
Tabel 2.2 Perbandingan Unsur Kimia Paduan ADC 12.....	10
Tabel 2.3 Sifat Utama dari Paduan ADC 12 ^[17]	10
Tabel 2.4 Hubungan temperatur dengan daya larut hidrogen pada aluminium ^[18]	27
Tabel 3.1 Contoh tabel hasil pengujian porositas secara kuantitatif.	51
Tabel 3.2 Contoh tabel hasil pengujian porositas secara kualitatif.	52
Tabel 3.3 Contoh tabel hasil pengujian kekerasan <i>Vickers</i>	53
Tabel 5.1 Data Hasil Pengujian Persentase Porositas Secara Kuantitatif untuk Parameter Letak Penambah dan Diameter Penambah	70
Tabel 5.2 Data Hasil Pengujian Persentase Porositas Secara Kuantitatif untuk Parameter Jumlah Penambah	71
Tabel 5.3 Hasil pengujian porositas secara kualitatif untuk parameter 1 dengan diameter penambah 22 mm	73
Tabel 5.4 Hasil pengujian porositas secara kualitatif untuk parameter 1 dengan diameter penambah 25 mm	74

Tabel 5.5	Hasil pengujian porositas secara kualitatif untuk parameter 3 (jumlah penambah)	76
Tabel A.1	Hasil Pengujian Persentase Porositas Secara Kuantitatif untuk Parameter 1 dan Parameter 2.....	110
Tabel A.2	Data hasil uji <i>Two-Way ANOVA</i> dengan 2 replikasi ($\alpha = 5\%$) untuk parameter 1 dan parameter 2.....	110
Tabel A.3	Hasil Pengujian Persentase Porositas Secara Kuantitatif untuk Parameter 3	111
Tabel A.4	Data hasil uji <i>One-Way ANOVA</i> dengan 2 replikasi ($\alpha = 5\%$) untuk parameter 3.....	111
Tabel A.5	Hasil Pengujian Kekerasan Vickers untuk Parameter 1 dan Parameter 2.....	113
Tabel A.6	Hasil Pengujian Kekerasan Vickers untuk Parameter 1 dan Parameter 2 (Lanjutan).....	114
Tabel A.7	Hasil Pengujian Kekerasan Vickers untuk Parameter 3	115

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pada beberapa tahun terakhir, Indonesia mengalami perkembangan di dunia industri terutama pada industri pengecoran logam. Satu diantara beberapa jenis metode pengecoran logam adalah metode pengecoran *lost-foam*. Metode pengecoran *lost-foam* merupakan langkah baru untuk memproduksi benda-benda berbentuk sederhana bahkan benda dengan bentuk kompleks sekalipun. Saat ini belum banyak industri pengecoran logam yang menerapkan metode ini. Sedikitnya industri yang menerapkan metode pengecoran ini dikarenakan mereka belum banyak mengetahui seluk beluk metode pengecoran *lost-foam*^[1].

Metode pengecoran *lost-foam* dipatenkan oleh Shroyer pada tahun 1958. Metode pengecoran ini menggunakan bahan *styrofoam* sebagai bahan untuk membuat pola lengkap dengan sistem salurannya. Sistem saluran dirangkai dengan cara dilem menyatu dengan rangkaian pola. Beberapa pola dapat dilakukan pengecoran dengan dirangkai dalam satu sistem saluran. Pola yang telah terangkai dengan sistem saluran diistilahkan dengan *cluster*^[1]. Pola lengkap dengan sistem salurannya kemudian ditanam dalam pasir silika kering lalu digetarkan untuk memadatkan pasir. Pola *polystyrene foam* akan mencair dan menguap ketika logam cair dituangkan ke dalam cetakan, bekas tempat *polysterene foam* tersebut akan terisi cairan logam. Metode ini dipilih karena memiliki banyak keuntungan ditinjau dari sisi harga produk dan lingkungan. Selain itu metode ini dapat

mengurangi proses pemesinan sehingga mengurangi sampah benda padat dan biaya produksi. Pengecoran *lost-foam* dapat memproduksi benda yang rumit, tidak ada pembagian cetakan, mengurangi tenaga kerja dalam pengecorannya sehingga cepat untuk membuat benda-benda prototip^[2].

Dalam teknologi pengecoran logam seringkali ditemukan beberapa cacat pada produk cor seperti cacat penyusutan (*shrinkage*) dan cacat gelembung gas atau porositas. Kedua cacat tersebut sangat merugikan karena dapat mengubah sifat mekanik dari produk cor dan mengakibatkan kualitas produk cor menjadi buruk. Oleh sebab itu, beberapa faktor penting perlu diperhatikan dalam pengecoran dengan metode *lost-foam* antara lain ukuran benda cor, ukuran pasir silika, lama penggetaran cetakan dan komposisi material yang dituang. Temperatur tuang memiliki faktor dominan dalam menentukan nilai tegangan tarik dan elongasi benda cor^[8]. Fluiditas logam cair meningkat sebanding dengan peningkatan temperatur. Ketebalan pola bertambah besar akan meningkatkan panjang mampu alir logam^[2].

Pada pengecoran metode *lost-foam*, kebutuhan akan adanya penambah (*riser*) perlu dipertimbangkan berdasarkan beberapa penelitian untuk mengetahui pengaruhnya terhadap cacat penyusutan dan porositas serta nilai kekerasan produk cor. Salah satu upaya untuk mengetahuinya, perlu dilakukan studi eksperimental pengaruh letak penambah, diameter penambah dan jumlah penambah terhadap kualitas produk cor. Dengan demikian kebutuhan akan adanya penambah pada pengecoran *lost-foam* dapat diketahui dan produk cor yang berkualitas serta bernilai ekonomis tinggi dapat diperoleh demi meningkatkan perkembangan industri dalam bidang pengecoran logam.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan yang telah diuraikan diatas, dapat ditentukan rumusan permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh variasi letak penambah, diameter penambah dan jumlah penambah terhadap cacat porositas produk cor.
2. Bagaimana pengaruh variasi letak penambah, diameter penambah dan jumlah penambah terhadap nilai kekerasan produk cor.

1.3. Batasan Masalah

Untuk memberikan gambaran yang jelas mengenai masalah yang akan dikaji dalam penelitian ini, maka permasalahan dalam penelitian ini dibatasi oleh beberapa hal sebagai berikut :

1. Material yang digunakan adalah ADC 12, diasumsikan memiliki komposisi yang homogen.
2. Pasir cetak yang digunakan diasumsikan memiliki butir pasir dan permeabilitas yang seragam (homogen).
3. Pada saat pembuatan pola *styrofoam* tidak dilakukan proses *coating*.
4. Gaya gesek selama logam cair mengalir melalui sistem saluran dianggap konstan.
5. Logam cair dianggap sebagai *Newtonian Fluid*.
6. Kecepatan penuangan diasumsikan konstan.
7. Waktu penuangan diasumsikan sesuai perhitungan.
8. Alat uji yang digunakan untuk pengujian dan pengambilan data berfungsi dengan baik.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini antara lain :

1. Mengetahui cacat porositas produk cor yang dipengaruhi oleh variasi letak penambah, diameter penambah dan jumlah penambah.

2. Mengetahui perbedaan nilai kekerasan produk cor yang dipengaruhi oleh variasi letak penambah, diameter penambah dan jumlah penambah.

1.5. Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini dapat dimanfaatkan sebagai :

1. Referensi untuk menentukan kebutuhan penambah dalam metode pengecoran *lost-foam*.
2. Referensi untuk menentukan sistem penambah yang ideal agar menghasilkan produk cor dengan nilai kekerasan yang optimal dan cacat porositas yang minimal.
3. Literatur untuk penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Soejono Tjitro^[3] melakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh bentuk *riser* (penambah) terhadap cacat penyusutan produk cor aluminium cetakan pasir. Bentuk dan dimensi penambah mempengaruhi laju pembekuan logam cair di rongga cetakan. Penelitian tersebut menggunakan penambah dengan bentuk dan modulus penambah yang berbeda. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa modulus penambah mempunyai pengaruh yang signifikan bagi timbulnya cacat penyusutan pada produk cor. Penambah harus memiliki diameter leher penambah dengan batas minimal untuk menghindari tidak berfungsinya penambah.

Soejono Tjitro dan Lily Setyati^[4] melakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh modulus cor penambah terhadap cacat penyusutan pada produk paduan Al-Si. Cacat penyusutan dapat dieliminasi dengan mengontrol modulus cor penambah. Modulus cor merupakan perbandingan antara volume terhadap luas permukaan coran. Modulus cor besar berarti waktu pembekuan cairan logam lebih lama. Akibatnya gradien temperatur cair logam rendah. Namun demikian, gradien temperatur cair logam juga dipengaruhi oleh komposisi paduan aluminium-silikon. Penelitian ini menggunakan paduan Al-Si 7% dan Al-Si 12,5%. Penambah yang digunakan dua jenis yang memiliki modulus cor yang berbeda. Proses pengecoran yang

digunakan adalah pengecoran dengan cetakan pasir. Hasil penelitian menunjukkan bahwa modulus cor penambah dan komposisi paduan berpengaruh terhadap terjadinya cacat penyusutan. Meskipun modulus cor penambah lebih besar dibandingkan modulus cor produk coran tidak menjamin tidak terjadi cacat penyusutan rongga (*shrinkage cavity*). Konduktivitas thermal paduan berpengaruh terhadap kemungkinan terjadi cacat penyusutan rongga. Besar butir tidak dipengaruhi oleh modulus cor penambah untuk paduan Al-Si yang sama.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Aluminium

Aluminium murni mempunyai sifat mampu cor dan sifat mekanik yang buruk. Oleh karena itu dipergunakan paduan aluminium karena sifat mekanisnya akan diperbaiki dengan menambahkan tembaga, silisium, magnesium, mangan, nikel dan sebagainya. Coran paduan aluminium memiliki berat jenis ringan dan merupakan penghantar panas yang baik. Paduan Al-Si, Al-Cu-Si, dan Al-Si-Mg adalah deretan paduan aluminium yang banyak dipergunakan untuk komponen-komponen mesin, Al-Cu-Ni-Mg dan Al-Si-Cu-Ni-Mg adalah deretan paduan yang banyak dipergunakan pada komponen mesin yang tahan panas, dan Al-Mg untuk bagian-bagian yang tahan korosi.

2.2.1.1 Klasifikasi Aluminium

Sistem klasifikasi paduan aluminium yang banyak dipakai adalah sistem *Aluminium Association* (AA). Standar ini mencakup klasifikasi berdasarkan cara pembuatan serta unsur paduan utamanya. Baik paduan tempa maupun paduan cor diklasifikasikan dalam empat digit, namun untuk paduan cor, digit keempat dipisahkan dengan tanda titik dari ketiga digit sebelumnya (tabel 2.1). Standar AA (*Aluminium Association*) telah dimasukkan kedalam *American Standard*, ANSI H35.1-1978 oleh *American Standard Institute*^[14].

Tabel 2.1 Daftar seri paduan Aluminium tuang (cast aluminium) sesuai standar AA^[6]

Kelas	Unsur Paduan Utama
1xx.x	Aluminium murni (99.00% atau lebih)
2xx.x	Al-Cu alloy
3xx.x	Al-Si-Cu dan atau Mg
4xx.x	Al-Si
5xx.x	Al-Mg
6xx.x	Seri yang tidak digunakan
7xx.x	Al-Zn
8xx.x	Al-Sn
9xx.x	Al dengan unsur-unsur lain

Pada standar AA (*Aluminium Association*) terdapat empat digit yang memiliki makna sebagai berikut :

- Digit pertama menandakan unsur paduan utama dari aluminium.
- Digit kedua dan ketiga merupakan unsur paduan spesifik dari aluminium yang berbeda tiap materialnya. Paduan ini jumlahnya tidak signifikan tetapi unik.
- Digit keempat menandakan bentuk produk, yaitu :
 - .0 untuk spesifikasi paduan coran
 - .1 untuk spesifikasi ingot yang digunakan untuk membuat paduan cor
 - .2 untuk spesifikasi ingot yang lebih spesifik.
- Prefix huruf, seperti “A”, menandakan modifikasi dari spesifikasi paduan aslinya^[14].

Aluminium tuang memiliki sifat-sifat yang menguntungkan dan merugikan. Sifat yang menguntungkan dari aluminium antara lain :

- titik lebur rendah,
- fluiditas baik,
- struktur butir dapat dikontrol,
- kualitas permukaan bagus,

- kelarutan gas rendah,
- bisa dikuatkan dengan perlakuan panas^[5].

Sedangkan sifat yang merugikan dari aluminium tuang adalah sebagai berikut :

- penyusutan cukup tinggi (4-8%),
- kelarutan hidrogen tinggi,
- dapat mengalami *hot cracking*,
- keuletan rendah^[5].

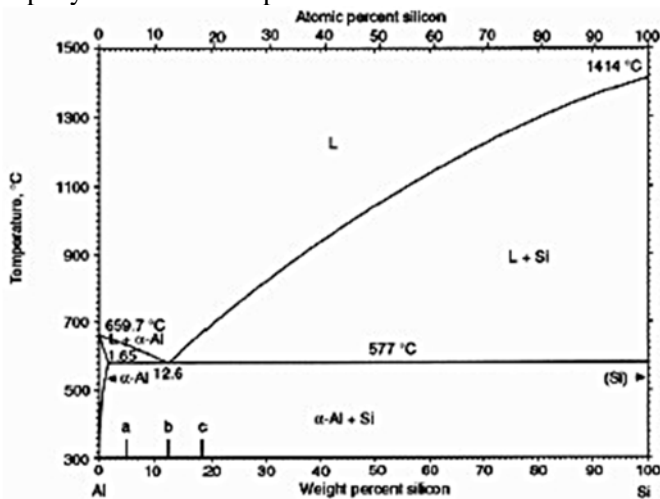
2.2.1.2 Diagram Fasa Al-Si

Paduan Al-Si memiliki sifat mampu cor yang baik, tahan korosi, dapat diproses dengan permesinan dan dapat dilas. Diagram fasa dari Al-Si ditunjukkan pada gambar 2.1, diagram ini digunakan sebagai pedoman umum untuk menganalisa perubahan fasa pada proses pengecoran paduan Al-Si^[14].

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

- Hypoeutectic* yaitu apabila terdapat kandungan silikon < 11.7 % dimana struktur akhir yang terbentuk pada fasa ini adalah struktur ferrite (*alpha*) kaya aluminium, dengan struktur eutektik sebagai tambahan.
- Eutectic* yaitu apabila kandungan silikon yang terkandung didalamnya sekitar 11.7% sampai 12.6%. Pada komposisi ini paduan Al-Si dapat membeku secara langsung (*dari fasa cair ke padat*) pada temperatur yang relatif konstan.
- Hypereutectic* yaitu apabila komposisi silikon diatas 12.6 % sehingga kaya akan silikon dengan fasa eutektik sebagai fasa tambahan. Keberadaan struktur kristal silikon primer pada daerah ini mengakibatkan karakteristik yaitu:
 - Ketahanan aus paduan meningkat.
 - Ekspansi termal yang rendah.
 - Memiliki ketahanan retak panas (*hot cracking*) yang baik^[14].

Fungsi lain dari unsur silikon dapat mereduksi koefisien ekspansi termal dari paduan Aluminium. Selama pemanasan terjadi, pemuai volume paduan tidak terlalu besar. Hal ini akan menjadi sangat penting saat proses pendinginan dimana akan terjadi penyusutan volume paduan Aluminium^[14].



Gambar 2.3 Diagram Fasa Al-Si^[14]

2.2.1.3 Paduan Aluminium Die Casting (ADC 12)

Berdasarkan CSIRO, National Research^[15], *Aluminium Die Casting* (ADC xx) merupakan paduan aluminium tuang yang mengikuti tata nama JIS (*Japan Industrial Standard*). Sebagai contoh, paduan ADC12 memiliki kesetaraan dengan paduan Al 384.0-F dan 383.0-F^[13]. Menurut standar klasifikasi AA, aluminium jenis tersebut termasuk ke dalam paduan Al-Si-Cu. Pada tabel 2.2 ditunjukkan komposisi kimia ADC12 versi PT. Global Metalindo Asia dengan ADC12 versi JIS. Material ADC12 yang diproduksi PT. Global Metalindo Asia termasuk jenis aluminium paduan eutektik yang sifat-sifat utamanya ditunjukkan pada tabel 2.3.

Tabel 2.2 Perbandingan Unsur Kimia Paduan ADC 12

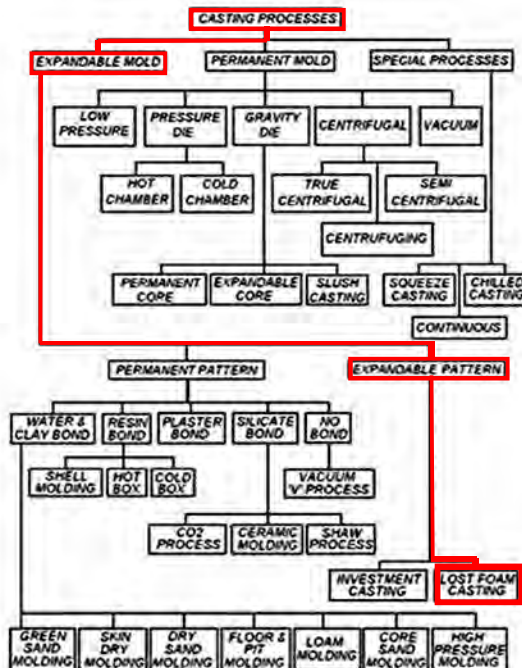
Elemen Paduan	ADC 12 ^[8]	ADC 12 (JIS) ^[9]
	Al	80,6 - 85 wt%
Cu	1,5 – 3,5 wt%	1,5 – 3,5 wt%
Si	9,6 – 12 wt%	10,5 – 12,5 wt%
Mg	< 0,3 wt%	0,5 wt%
Zn	< 1 wt%	1 maks wt%
Fe	< 1,3 wt%	1,3 maks wt%
Mn	< 0,5 wt%	0,5 maks wt%
Ni	< 0,5 wt%	0,5 maks wt%
Sn	< 0,3 wt%	0,3 maks wt%

Tabel 2.3 Sifat Utama dari Paduan ADC 12^[17]

Sifat	Nilai
Densitas	2,74 – 2,823 g/cm ³
Temperatur cair	516 - 528°C
Temperatur tuang	616 - 699°C
Kekerasan <i>Brinell</i>	75 – 85 Hb
Kekeuatan tarik	310 – 331 Mpa
Kekeuatan luluh	150 – 165 Mpa
Perpanjangan	2,5 – 3,5 %

2.2.2 Klasifikasi Pengecoran

Proses pengecoran logam dapat dikelompokkan menurut jenis cetakan maupun gaya yang bekerja ketika proses penuangan logam cair ke rongga cetakan. Skema lengkap mengenai pengelompokan proses pengecoran dapat dilihat pada Gambar 2.2. Dalam hal ini metode pengecoran metode *lost-foam casting* termasuk dalam kategori *expandable pattern* yaitu pola sekali pakai yang akan hilang atau menguap ketika cairan logam dituangkan.



Gambar 2.4 Klasifikasi Pengecoran

2.2.3 *Lost-foam Casting*

Pengecoran *lost-foam* merupakan salah satu jenis pengecoran yang menggunakan bahan *polystyrene foam* atau sering disebut *styrofoam* sebagai bahan untuk membuat pola dan ditanam dalam pasir cetak menjadi cetakan. Ketika logam cair dimasukkan ke dalam cetakan, *styrofoam* akan mencair dan menguap sehingga tempat itu akan diisi oleh cairan logam^[2].

Pengecoran *lost-foam* dimulai dengan membuat pola *stryofoam* dengan kerapatan / masa jenis tertentu sesuai yang direncanakan. Dalam beberapa aplikasi, bagian – bagian yang dilem untuk mendapatkan bentuk keseluruhan dari benda yang kompleks. Sistem saluran dirangkai dengan cara dilem menyatu dengan rangkaian pola. Beberapa pola dapat dilakukan pengecoran dengan dirangkai dalam satu sistem saluran. Pola yang telah dirangkai dengan sistem saluran diistilahkan dengan *cluster*. Sistem saluran memiliki pengaruh besar terhadap adanya cacat pada benda cor misalnya saluran masuk bawah akan menyebabkan porositas dan cacat lipatan (*folded*) paling sedikit dibanding saluran samping atau atas^[1].

Terdapat beberapa proses dalam metode *lost-foam casting*, diantaranya:

1. Proses pembuatan pola *styrofoam* yang dapat dikerjakan menggunakan tangan maupun dengan bantuan mesin,
2. Menyusun pola cetakan dalam satu *cluster* atau merangkai benda rakitan,
3. Proses *coating*,
4. Proses pengisian pasir kedalam *flask*,
5. Proses penggetaran (*vibration*),
6. Proses penuangan cairan logam kedalam cetakan,
7. Mengeluarkan benda hasil cetak dari dalam *flask*.

Pengecoran *lost-foam* memiliki banyak keuntungan^[1], diantaranya :

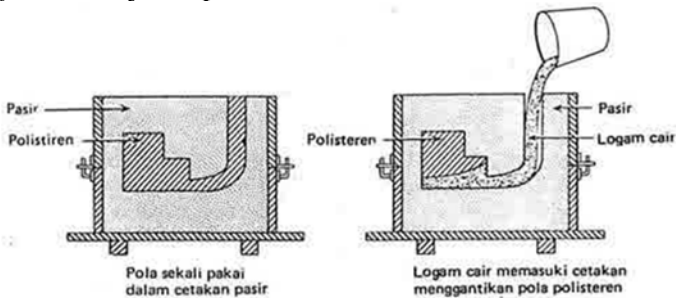
- Pengecoran *lost-foam* dapat memproduksi benda yang kompleks/ bentuknya rumit, tidak ada pembagian cetakan, tidak memakai inti, mengurangi tenaga kerja dalam pengecorannya sehingga cepat untuk membuat benda-benda prototip.
- Cetakan dari pola berbahan *styrofoam* mudah dibuat dan murah.
- Dapat memproduksi benda-benda ringan.
- Pasir yang digunakan dapat dengan mudah dipakai kembali karena tidak menggunakan pengikat.
- Meningkatnya keakuratan dimensi dan memberikan peningkatan kualitas coran dibandingkan cetakan konvensional.
- Tidak memerlukan toleransi kemiringan pada pola.
- Proses pembersihan dan permesinan dapat dikurangi secara dramatis.
- Pencemaran lingkungan karena emisi bahan-bahan pengikat dan pembuangan pasir dapat dikurangi karena tidak menggunakan bahan pengikat dan pasir dapat langsung digunakan kembali^[2].

Pengecoran *lost-foam* juga memiliki beberapa kekurangan, diantaranya :

- Porositas dalam pengecoran aluminium dengan pola styrofoam lebih tinggi dibandingkan dengan cetakan CO₂. Hal ini menunjukkan bahwa sulit untuk mendapatkan kekuatan mekanik yang lebih baik pada pengecoran aluminium tanpa perlakuan tertentu^[1].
- Pasir yang tidak diikat memicu terjadinya cacat pada benda cor karena pasir yang jatuh ke logam cair^[1].
- Usaha untuk mengikat cetakan *lost-foam* adalah dengan membuat cetakan tersebut vakum dimana cetakan dilapisi dengan lapisan polietilen. Proses ini menghasilkan emisi ke gas hasil pembakaran *styrofoam* yang dapat membahayakan

lingkungan dan kesehatan pekerja. Untuk mengatasi kekurangan ini maka diperlukan peralatan APD lengkap untuk menghindari bahaya yang timbul pada saat proses pengecoran^[2].

Kualitas hasil pengecoran *lost-foam* dipengaruhi oleh banyak parameter. Parameter parameter tersebut diantaranya temperatur penuangan, ukuran pasir silika, massa jenis *styrofoam*, lama penggetaran cetakan, ukuran benda dan komposisi material yang dituang. Temperatur penuangan aluminium semakin meningkat akan memberikan panjang mampu alir yang lebih baik^[1]. Penempatan pola dan proses pengecoran *lost-foam* ditunjukkan pada Gambar 2.3.



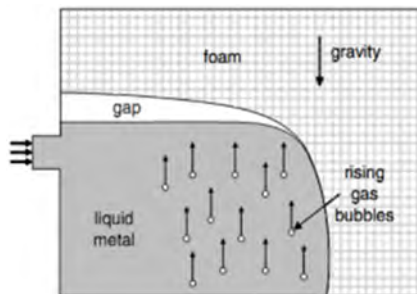
Gambar 2.5 Proses *Lost-foam Casting*^[10].

2.2.4 Dekomposisi *Polystyrene Foam (Styrofoam)*

Polystyrene yang digunakan dalam pengecoran *lost-foam* terdiri dari 92% C dan 8% H. Rantai benzena C_6H_5 dalam *polystyrene* relatif stabil sedangkan rantai $-CH = CH_2 -$ cenderung terurai pertama kali. Rantai benzena bertahan dalam bentuk cair dan bereaksi dengan cairan logam yang dapat menyebabkan cacat cor. *Polystyrene co-polymer* dan *polymethylmetacrylate* (PMMA) dikembangkan untuk mengurangi karbon yang berhubungan dengan cacat cor pada pengecoran logam ferro^[1]. PMMA sebagian besar (sekitar 80%) terdekomposisi menjadi fase gas pada suhu $700^\circ C$ sedangkan

polystyrene hanya sekitar 40% pada suhu yang sama^[1]. Hasil dekomposisi *polystyrene foam* akan menghalangi logam jika tidak segera keluar dari cetakan.

Pola *polystyrene foam* yang dituang cairan logam dapat membentuk gap (adanya ruang pemisah) antara logam cair dan pola yang belum terkena cairan, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.4. Pada pengecoran aluminium, pola *polystyrene foam* dapat terurai menjadi cair dan gas. *Polystyrene foam* terdekomposisi menjadi hidrogen dan karbon saat penuangan cairan. Sebagian karbon masih tersisa pada pori-pori dalam benda cor yang dibuktikan dari analisis WDS pada pengecoran ingot aluminium A 356.2^[1]. Gas hasil penguraian keluar dari cetakan dengan berdifusi melalui *coating*. *Coating* menyerap cairan yang terurai dari *polystyrene foam* dan sisanya tertinggal dipermukaan dalam *coating*. Cairan logam langsung menyusul cairan yang tersisa tersebut dan menguapkannya menjadi gelembung-gelembung gas kecil. Gelembung-gelembung gas dari seluruh bagian cetakan akan bergerak naik ke bagian atas. Gelembung-gelembung ini akan mengalir dan saling bertemu pada bagian yang lebih tinggi dari cetakan dan memebentuk gap/pemisah antara cairan logam dan *polystyrene foam*^[1].



Gambar 2.6 Skema terbentuknya gap antara *polystyrene foam* dengan cairan logam^[1]

Dengan membesarnya ukuran gap, perpindahan panas konduksi dari logam cair ke *polystyrene foam* berkurang dan kecepatan pengisian cairan berkurang sehingga *polystyrene foam* mengalami pengurangan lebih banyak dengan cara mencair dari pada dengan cara terbakar (*ablation*). Ketika hal ini terjadi, kita katakan *polystyrene foam* terdekomposisi pada daerah gap. Gap yang terbentuk ini pada kenyataanya tidak terjadi pada satu tempat saja karena gelembung-gelembung gas ini terjadi pada seluruh permukaan cairan logam dalam cetakan. Dekomposisi *polystyrene foam* akan menghasilkan tekanan balik yang berlawanan dengan aliran logam sehingga menghasilkan gaya tekan yang menahan cetakan tetap berada pada tempatnya^[1].

Salah satu permasalahan unik dalam produksi cor dengan pengecoran *lost-foam* adalah terbentuknya cacat pengecoran yang berkaitan dengan dekomposisi *polystyrene foam*. Berbagai macam bentuk cacat yang disebabkan karena dekomposisi ini diantaranya porositas didalam benda cor, *blister* (melepuh), *fold* (lipatan) dan permukaan yang kasar^[1]. Porositas didalam benda cor disebabkan hasil dekomposisi *polystyrene foam* yang terjebak dalam logam cair. Logam membeku sebelum hasil dekomposisi *polystyrene foam* keluar melalui pori-pori pada *coating*. Dekomposisi *polystyrene foam* juga memepengaruhi waktu pengisian logam cair. Pada pengecoran aluminium, tahap awal terbentuk residu cair dibagian depan logam dan menembus pori-pori pada *coating* dalam bentuk gas. Gas yang terbentuk dapat dikurangi dengan pori-pori pada lapisan *coating*. Laju eliminasi gas tergantung pada beberapa faktor diantaranya jumlah produksi gas, permeabilitas pada *coating* dan pasir, sifat termal dari *coating* dan pasir serta temperatur cair^[1].

Residu cair terutama terdiri dari dimer, trimer, tetramer dan oligomer yang lain. Gas atau residu hasil dekomposisi *polystyrene foam* yang terperangkap karena adanya aliran turbulen ketika pengisian cetakan dalam proses pengecoran konvensional akan

menghasilkan porositas. Urutan pengisian cetakan pada pengecoran *lost-foam* berbeda dengan pengecoran konvensional. Konsekuensinya porositas pada pengecoran *lost-foam* lebih tinggi dari pengecoran biasa karena pola yang terbakar saat cairan dimasukkan^[1].

2.2.5 Pasir Cetak

Pasir cetak dapat digunakan secara terus menerus selama masih mampu menahan temperatur cairan ketika dituangkan. Pasir silika, pasir zirkon, pasir olivine dan kromate dapat digunakan sebagai pasir cetak pada pengecoran *lost-foam*. Penggunaan pasir yang mahal seperti pasir zirkon dan kromite dapat dilakukan untuk mendapatkan tingkat reklamasi pasir yang tinggi. Kekuatan cetakan pasir ditentukan oleh resistensi gesek antar butir pasir. Kekuatan cetakan pasir akan lebih tinggi jika menggunakan pasir dengan bentuk *rounded* (bulat) akan memberikan densitas yang lebih tinggi. Perubahan bentuk pasir dari *angular* ke *rounded* akan menaikkan densitasnya sekitar 8-10%^[1]. Densitas pasir cetak dapat ditingkatkan dengan digetarkan.

Waktu pengisian logam cair ke dalam cetakan akan lebih lama apabila menggunakan pasir cetak yang memiliki ukuran lebih kecil. Kecepatan penuangan semakin besar dengan bertambahnya ukuran pasir cetak. Hal ini karena rongga-rongga antar pasir akan semakin kecil dengan mengecilnya ukuran pasir sehingga gas hasil degradasi lebih sulit keluar melalui pasir. Pada pengecoran Al7%Si, ukuran pasir cetak memiliki faktor dominan dalam menentukan nilai tegangan tarik dan elongasi benda cor^[1]. Pemilihan jenis pasir cetak dan metode pemadatan sangat penting untuk mendapatkan permeabilitas yang tepat dan mencegah deformasi pola. Ukuran butir pasir AFS GFN 30-45 menjamin permeabilitas yang baik untuk pola yang terdekomposisi menjadi gas dan cairan^[1].

2.2.6 Pola *Polystyrene Foam* (Styrofoam)

Massa jenis dan ukuran butiran *polystyrene foam* (*styrofoam*) memegang peranan penting dalam pengecoran *lost-foam*. Massa jenis yang rendah diperlukan untuk meminimalisir jumlah gas yang terbentuk pada saat pola menguap. Gas akan keluar ke atmosfer melalui coating dan celah-celah pasir. Jika pembentukan gas lebih cepat dari pada keluarnya gas ke atmosfer maka akan terbentuk cacat dalam benda cor. Pembentukan gas tergantung pada massa jenis pola *polystyrene foam* dan temperatur penuangan. Gas terbentuk makin banyak apabila massa jenis pola dinaikan pada temperatur tuang konstan. Jika massa jenis pola tetap dan temperatur tuang dinaikan maka gas akan terbentuk lebih banyak karena pola akan terurai menjadi molekul-molekul yang lebih banyak pada temperatur lebih tinggi^[1].

Modulus benda cor yaitu perbandingan volume dan luas permukaan pola harus diperhatikan karena gas hasil dekomposisi *polystyrene foam* yang terbentuk harus segera keluar melalui permukaan pola. Ukuran butir *polystyrene foam* yang lebih kecil akan meningkatkan kehalusan pola dan mampu untuk mengisi tempat-tempat yang sempit dari pola. Massa jenis *polystyrene foam* secara umum berbanding terbalik dengan massa jenis hasil benda cor. Hal ini berarti jika pengecoran menggunakan massa jenis *polystyrene foam* lebih rendah maka massa jenis benda cor akan lebih tinggi^[1].

2.2.7 Penggetaran Cetakan

Kekasaran permukaan benda cor Al-7%Si menurun dengan peningkatan amplitudo penggetaran sampai $485\mu\text{m}$. Hal ini terjadi karena peningkatan amplitudo getaran akan menyebabkan partikel-partikel pasir yang lebih halus bergerak mengisi ruangan diantara butir-butir pasir. Amplitudo yang lebih besar dari $485\mu\text{m}$ menyebabkan butir-butir pasir yang lebih besar bergerak dan gaya antar butir pasir akan menyebabkan pasir bergerak menuju ke

permukaan pola. Hal ini menyebabkan keruncingan permukaan pola lebih besar dan kekasaran permukaan benda cor menjadi lebih kasar^[1].

Peningkatan lama penggetaran cetakan akan menyebabkan kekasaran permukaan benda cor Al-7%Si menurun. Hal ini karena semakin lama waktu penggetaran akan menyebabkan partikel-partikel yang lebih kecil berada pada batas antara pola dan pasir. Keruncingan permukaan pasir pada perbatasan pola akan berkurang sehingga permukaan benda cor lebih halus^[1].

2.2.8 Penuangan

Dalam teknik penuangan logam cair, temperatur tuang, waktu tuang dan kecepatan penuangan memegang peranan penting dalam menentukan kualitas produk cor. Temperatur tuang adalah temperatur ideal yang ditentukan untuk melakukan penuangan agar logam cair tidak membeku sebelum keseluruhan cetakan terisi. *Superheat* (suhu diatas temperatur cair) yang lebih tinggi akan menurunkan tegangan permukaan cairan logam. Hal ini akan menjadikan cairan logam mudah teresap ke celah-celah diantara pasir yang menyebabkan kekasaran benda cor meningkat. Temperatur tuang memiliki faktor dominan dalam menentukan nilai tegangan tarik dan elongasi benda cor^[1].

Semua logam pada temperatur tuang 100°C diatas temperatur *liquidus* praktis mempunyai kepekatan yang sama. Bila dibandingkan paduan aluminium pada temperatur 770°C, besi cor 1400°C dan baja 1650°C ketiganya akan mempunyai kepekatan yang relatif sama. Temperatur tuang yang diambil untuk teknik pengecoran 100 – 150 °C diatas garis liquidus. Temperatur tuang lebih dari ketentuan 100 – 150 °C tidak mutlak. Selama pada waktu menuang *range* temperturnya tetap, maka setiap logam akan cukup mempunyai keenceran untuk mengisi rongga cetakan^[16].

Apabila temperatur logam paduan turun sedikit dibawah temperatur *liquidus* maka kepekatan akan berubah sangat drastis. Untuk itu temperatur penuangan harus dalam batas yang ditentukan dan waktu tuang tidak dapat diabaikan. Besarnya temperatur penuangan paduan aluminium biasanya 100 - 150°C diatas temperatur *liquidus*. Dalam pengecoran ini, diketahui temperatur *liquidus* material ADC 12 adalah 515 – 580 °C, sehingga bila ditambahkan 100°C – 150 °C maka temperatur penuangannya adalah antara 615°C hingga 730°C.

Aliran logam cair dalam rongga cetak terdiri atas 2 (dua) jenis aliran yaitu :

1. Aliran turbulen

Pada aliran turbulen partikel- partikel cairan mempunyai arah yang berbeda satu sama lain. Partikel tersebut bergerak tidak beraturan kesegala arah. Sistem tuangan dan penambah pada cetakan harus yang didesain sedemikian rupa untuk menghindari adanya turbulensi aliran antara lain dengan meminimalisir adanya sudut-sudut tajam sepanjang aliran masuk logam cair. Hal tersebut perlu dilakukan karena turbulensi aliran dapat menyebabkan kesalahan tuangan seperti terbentuknya *gas hole*, *shrinkage*, masuknya terak kedalam rongga cetakan dan lain-lain.

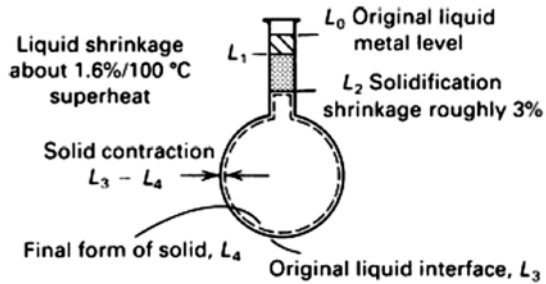
2. Aliran laminar

Kebalikan dari aliran turbulen adalah aliran laminar. Garis aliran dari jenis aliran ini cenderung sejajar dan tenang. Contoh yang khas dari aliran ini adalah aliran madu atau aliran sirup yang kental. Pada praktik penuangan logam cair sangat sulit untuk mendapatkan aliran laminar. Dibutuhkan sudut-sudut cetakan dan kecepatan penuangan yang ideal untuk mendapatkan aliran logam cair yang tenang dalam rongga cetakan.

Kecepatan penuangan aluminium cair berkisar 0,015-0,02 m/s untuk mendapatkan jumlah dan jenis cacat pada benda cor yang minimal. Kecepatan pengisian logam dan keluarnya hasil dekomposisi *polystyrene foam* tergantung pada banyak faktor diantaranya massa jenis *foam*, ikatan *foam* ketebalan *coating*, temperatur logam dan kecepatan bagian depan logam cair. Kecepatan aliran logam meningkat dengan bertambahnya temperatur tuang^[1].

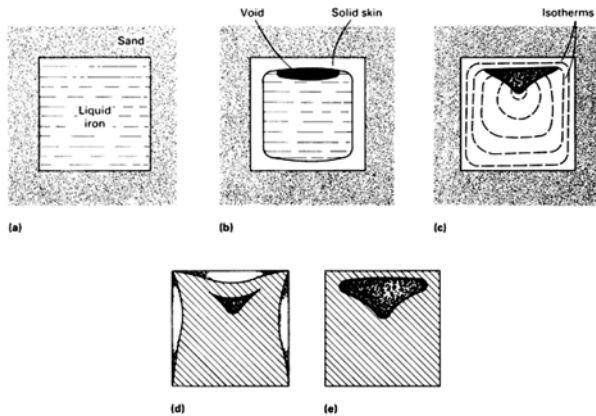
2.2.9 Pembekuan (*Solidification*)

Pembekuan (*solidification*) selama pengecoran mengalami 3 (tiga) jenis penyusutan yaitu: *liquid contraction*, *solidification contraction* dan *solid contraction*. *Liquid contraction* adalah penyusutan yang terjadi pada logam cair jika logam cair didinginkan dari temperatur tuang menuju temperatur pembekuan (*solidification temperature*). *Solidification contraction* adalah penyusutan yang terjadi selama logam cair melalui fasa pembekuan perubahan fasa cair menjadi fasa padat. *Solid contraction* adalah penyusutan yang terjadi selama periode *solid metal* didinginkan dari temperatur pembekuan menuju temperatur ruang^[20]. Ketiga jenis penyusutan selama pengecoran tersebut dapat diukur besarnya dengan percobaan yang diilustrasikan pada gambar 2.5.



Gambar 2.7 Skema percobaan untuk mengukur besarnya penyusutan pada pembekuan logam^[16].

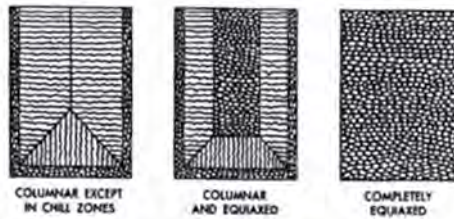
Kekosongan (*void*) pada gambar 2.6 ditimbulkan oleh *liquid contraction* dan *solidification contraction* dapat dihindari dengan adanya penambah (*riser*) yang mampu menyuplai logam cair. Sedangkan *solid contraction* dapat diatasi dengan membuat dimensi pola lebih besar daripada dimensi produk cor untuk mengkompensasi penyusutan yang terjadi. Bila *solid contraction* tidak dikontrol dengan baik maka produk cor akan melengkung atau mengalami cacat *hot tear* disamping kesalahan dimensi produk cor^[20].



Gambar 2.8 Skema terjadinya penyusutan (*shrinkage*) pada pembekuan logam^[16].

(a) *Initial liquid metal.* (b) *Solid skin and formation of shrinkage void.* (c) *Internal shrinkage* (d) *Internal shrinkage plus dishing.* (e) *Surface puncture.*

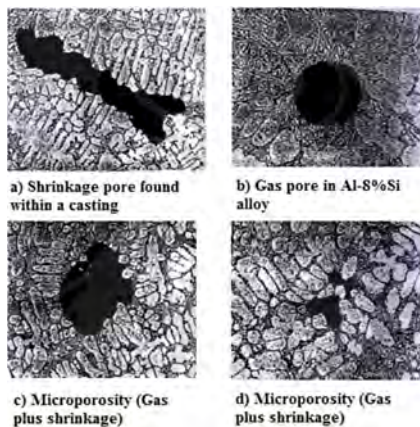
Besar butir dan kerapatan akan berpengaruh terhadap kekuatan dan kekerasan dari suatu material. Besar butir dan kerapatan material yang pengerjaannya melalui proses pengecoran dapat dipengaruhi oleh jenis cetakan, proses pengecoran dan proses pembekuannya^[11]. Paduan Al seperti kebanyakan paduan logam ringan yang lain, secara normal akan memiliki struktur butir yang kasar, yaitu butir kristal *equiaxed* dan *columnar* selama proses pembekuan (gambar 2.7). Tingkat kekasaran atau panjang dari kristal *columnar* tergantung dari temperatur penuangan. Paduan yang memiliki kelarutan tinggi dalam aluminium (Cu, Mg, Zn) secara alami membentuk fasa padat yang halus, yaitu butir dengan struktur *equiaxed* yang berukuran kecil, dibanding dengan paduan yang memiliki kelarutan kurang seperti Si. Jadi paduan aluminium Al-Cu (A2xx.x) lebih mudah membentuk butir yang halus dari pada aluminium yang mengandung Si dalam jumlah yang banyak.



Gambar 2.9 Struktur butir pada aluminium tuang^[12]

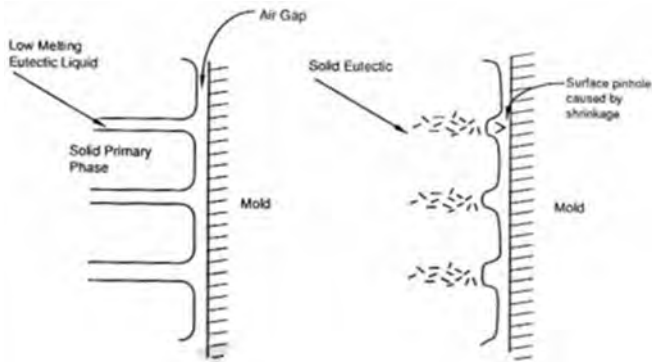
2.2.9.1 Cacat yang Terbentuk Selama Proses Pembekuan

Porositas adalah salah satu cacat yang sering terjadi pada produk aluminium tuang, dan akan menjadi awal suatu produk dikatakan gagal. Porositas pada aluminium tuang ada dua jenis yaitu yang berasal dari *shrinkage* dan gas. Namun pada kebanyakan kasus porositas yang terjadi adalah kombinasi dari keduanya, yaitu akibat *shrinkage* dan juga gas yang terperangkap selama proses pembekuan. Hanya sedikit kasus di mana porositas karena *shrinkage* murni atau karena gas murni yang dapat diidentifikasi. Gambar 2.8 menunjukkan berbagai tipikal porositas yang terjadi pada paduan aluminium^[12].

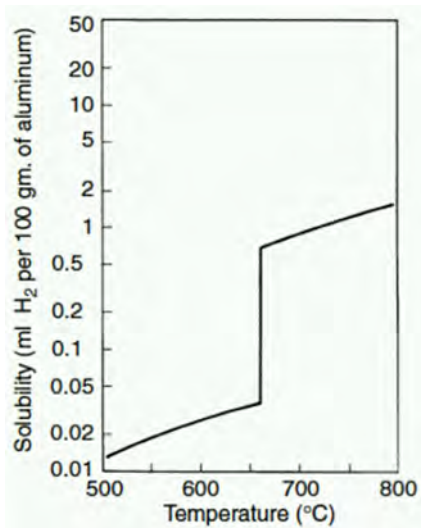


Gambar 2.10 Bentuk porositas pada paduan aluminium tuang^[12].

Porositas akibat *shrinkage* biasanya terbentuk pada bagian saluran masuk logam cair dan pada bagian penambah (*riser*), atau dapat juga terjadi pada bagian permukaan yang berdekatan dengan cetakan. Selama proses pembekuan yang cukup lama, sesuai arah pembekuan yang bermula dari bagian paling dekat dengan cetakan yang kemudian pada fasa liquid mulai membeku dan menyusut ke arah dalam sehingga pada bagian permukaan meninggalkan porositas yang disebut *pinhole*, proses ini ditunjukkan oleh gambar 2.9.



Gambar 2.11 Kemungkinan mekanisme *shrinkage* dalam membentuk formasi porositas *pinhole* di permukaan^[12].



Gambar 2.12 Pengaruh temperatur terhadap kelarutan hidrogen dalam aluminium^[19].

Porositas juga bisa disebabkan oleh gas yang terperangkap pada saat pembentukan fasa padat. Gas hidrogen merupakan gas yang sangat mendominasi karena kelarutannya yang sangat tinggi dalam larutan aluminium, terutama pada suhu melewati 600°C, kelarutan gas hidrogen meningkat drastis ditunjukkan oleh gambar 2.10. Peningkatan kelarutan hidrogen yang amat drastis tersebut terjadi pada saat aluminium mulai mengalami perubahan fasa (*liquid* ke *solid*) dimana pada saat yang bersamaan aluminium mengalami *solidification contraction* seperti diilustrasikan pada gambar 2.5. Temperatur logam cair juga menentukan jumlah hidrogen yang diserap. Ketika temperatur naik, volume hidrogen yang larut kedalam logam cair akan semakin besar seperti terlihat pada tabel 2.4.

Tabel 2.4 Hubungan temperatur dengan daya larut hidrogen pada aluminium^[18].

Temperatur		Hidrogen Solubility (cc/100 gms*)
°C	°F	
0	32	0,0000001
400	752	0,005
660-solid	1220	0,036
660-liquid	1220	0,69
700	1292	0,92
750	1382	1,23
800	1472	1,67
850	1562	2,15

*measured at pressure of one atmosphere and a temperature 20°C

2.2.10 Gambaran Umum Riser

2.2.10.1 Definisi Riser (Penambah)

Riser atau penambah adalah sistem saluran yang berfungsi untuk menampung kelebihan logam cair, sebagai cadangan logam cair bila terjadi penyusutan dan pengumpan untuk menyuplai cairan logam kepada produk cor bila terjadi penyusutan^[4], sehingga penambah harus membeku lebih lambat dari produk cor. Penambah biasanya berbentuk seperti silinder ataupun kerucut terpancung. Menurut letaknya terhadap benda tuang, dapat dibedakan antara *top riser* (penambah atas) dan *side riser* (penambah samping). Penambah atas biasanya diletakkan diatas benda, sedangkan penambah samping biasanya diletakkan pada samping benda dekat saluran masuk maupun saluran keluar. Berdasarkan fungsinya, jenis penambah terdiri dari *open riser* (penambah terbuka) dan *blind riser* (penambah tertutup). Penambah terbuka berhubungan langsung dengan udara sekitarnya, sehingga tekanan udara luar dapat berfungsi untuk memberikan tekanan hidrolis yang diakibatkan oleh tinggi penambah. Penambah tertutup biasanya dipergunakan untuk

menambah cairan pada bagian benda yang tidak terjangkau oleh penambah atas.

2.2.10.2 Desain Riser

Dalam mendesain penambah, perlu diketahui beberapa aspek penting agar penambah tersebut mampu berfungsi secara optimal yaitu :

- Penambah perlu didesain dengan jumlah dan ukuran yang sesuai dengan kebutuhan produk cor, sehingga jumlah dan ukuran penambah tidak mengurangi kekuatan cetakan dan membuat biaya produksi menjadi mahal.
- Penambah diletakkan pada posisi yang tepat dalam *gating system* (sistem saluran), sehingga tidak memicu adanya potensi permasalahan baru pada desain pengecoran.
- Penambah digunakan pada saat yang tepat yaitu tergantung pada ukuran modulus benda cor dan mempertimbangkan faktor biaya.

Terdapat beberapa metoda untuk menentukan ukuran penambah, antara lain metoda kurva Caine, metoda faktor bentuk dan sebagainya. Penambah yang digunakan untuk penelitian ini ditentukan berdasarkan metode *casting modulus* (modulus pengecoran) dimana modulus penambah harus lebih besar dibandingkan modulus produk cor. Hal tersebut dimaksudkan agar pada saat proses pembekuan, penambah akan membeku lebih lambat daripada produk cor sehingga penambah mampu menyuplai logam cair untuk penyusutan produk cor.

a. *Casting Modulus*

Dalam perancangan sistem penambah pada suatu cetakan diperlukan nilai modulus pengecoran. Nilai modulus pengecoran merupakan perbandingan antara volume produk dengan luas

permukaannya. Hal ini berfungsi untuk menentukan letak paling panas pada benda yang akan dicor, menentukan urutan terjadinya proses pembekuan, menentukan ukuran penambah yang diperlukan, menentukan letak penambah dan menentukan jumlah penambah.

b. Dimensi Penambah

Secara umum perhitungan dimensi penambah harus mempertimbangkan urutan terjadinya proses pembekuan, dimana pembekuan terakhir harus terjadi pada penambah. Perbandingan nilai *casting modulus* (modulus benda cor) dan *riser modulus* (modulus penambah) harus diperhitungkan dengan memperhatikan perbandingan minimal antara volume penambah dan volume benda cor. Selain itu perlu dipertimbangkan pula perbandingan ukuran antara tinggi penambah dan diameter penampang penambah dengan sistem *blind riser* (penambah tertutup) atau *open riser* (penambah terbuka). Sesuai dengan urutan terjadinya pembekuan pengecoran aluminium, pada umumnya ditentukan besar perbandingan nilai modulus benda cor (M_c) : modulus leher penambah (M_n) : modulus penambah (M_r) secara berturut-turut adalah 1 : 1,1 : 1,1 atau 1 : 1,2 : 1,2. Perbandingan tersebut dimaksudkan agar pembekuan terakhir harus terjadi pada penambah sehingga penambah dapat menyuplai logam cair ke arah penyusutan benda cor.

c. Jangkauan Penambah

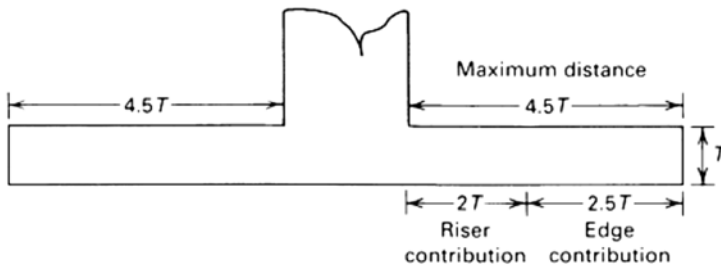
Jangkauan penambah merupakan jarak yang mampu dicapai oleh suatu penambah untuk memberikan suplai logam cair. Ketika terjadi proses pembekuan, logam akan membentuk inti – inti kristal yang akan tumbuh dari bagian yang mengalami pembekuan paling cepat, yaitu bagian yang paling dekat dengan dinding cetakan menuju ke arah tengah rongga cetakan yang mengalami proses pembekuan paling lama. Kristal – kristal tersebut akhirnya

bertemu di tengah – tengah dan dapat menghambat suplai logam cair dari penambah. Sehingga jangkauan penambah perlu diperhitungkan agar memiliki jarak yang cukup untuk menyuplai logam cair ke bagian yang membeku terakhir tersebut.

Besar jangkauan penambah merupakan fungsi dari tebal penampang rongga cetakan yang dirumuskan dengan persamaan :

$$Jp = 4,5 \cdot t \quad (2.1)^{[16]}$$

dimana Jp merupakan jangkauan penambah (mm) dan t adalah tebal penampang cetakan (mm). Namun jangkauan penambah tersebut tidak bersifat mutlak mengingat pola pembekuan yang berbeda-beda pada tiap metode pengecoran dan adanya kontribusi kecepatan pendinginan yang berawal dari dinding cetakan (*edge contribution*) seperti ditunjukkan pada gambar 2.11.



Gambar 2.13 Pengaruh *riser contribution* dan *edge contribution* terhadap nilai Jp ^[19].

d. Perhitungan Jumlah Penambah

Dalam menentukan jumlah penambah, perlu dilakukan perhitungan berdasarkan nilai jangkauan penambah (Jp) dengan persamaan berikut:

$$Np = \frac{K}{2 \cdot Jp + Dp} \quad (2.2)^{[6]}$$

dimana :

N_p : jumlah penambah,

D_p : diameter penambah (mm),

K : keliling permukaan benda cor yang diberi penambah (mm),

J_p : jangkauan penambah (mm).

e. Volume Penambah

Dalam proses pembekuan yang dialami benda coran, maka akan terjadi proses penusutan, begitu juga yang terjadi pada penambah. Pada waktu terjadi pembekuan, permukaan penambah akan mengalami penurunan dan menyusut sampai kedalaman tertentu dan terbentuk rongga susut. Akibat terbentuknya rongga penyusutan pada sistem penambah, maka umumnya penambah memiliki efisiensi antara 14% - 20%, sehingga volume logam cair yang mampu disediakan penambah untuk produk cor dapat dihitung dengan persamaan :

$$V_f = \frac{s \cdot V_c}{x - s} \quad (2.3)^{[6]}$$

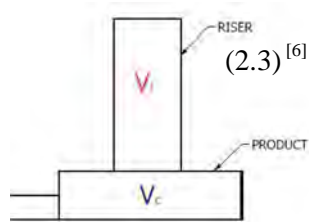
dimana :

V_f : volume penambah (mm^3),

V_c : volume rongga cetakan (mm^3),

s : besar penyusutan (%),

x : efisiensi penambah (14 - 20%).



2.2.11 Merancang Sistem Saluran

Logam cair yang mengalir dalam sistem saluran dianggap sebagai aliran fluida sehingga dalam perancangan sistem saluran perlu memperhatikan sifat-sifat dari aliran fluida untuk mendapatkan sistem saluran yang tepat. Pada perancangan sistem saluran, aliran turbulen sangat dihindari karena dapat mengakibatkan terbentuknya daerah yang bertekanan lebih rendah

sehingga akan menyebabkan terjebaknya udara atau gas dalam coran.

Di dalam melakukan perhitungan sistem saluran dibutuhkan beberapa data awal yang akan digunakan untuk membentuk dimensi sistem saluran.

1. Menghitung *Pouring Volume*, Qp (cm³)

$$Qp = \frac{W}{\rho} \quad (2.4)^{[6]}$$

Keterangan :

$$Qp = \text{Pouring volume (cm}^3\text{)}$$

$$W = \text{Pouring weight (kg)}$$

$$\rho = \text{Densitas}$$

2. Menghitung *Pouring Time*, Tp (s).

Menurut Nielsen, sebagai berikut :

$$Tp = 0.32 \cdot t \cdot Wp^{0.4} \quad (2.5)^{[6]}$$

Keterangan:

$$Tp = \text{Pouring time (s)}$$

$$Wp = \text{Massa benda cor (kg)}$$

$$t = \text{Tebal dominan (mm)}$$

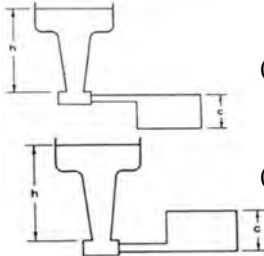
3. Menghitung *Effective Sprue Height*, H (cm)

- a. *Top Gating*

$$\text{Effective head, } H = h \quad (2.6)^{[6]}$$

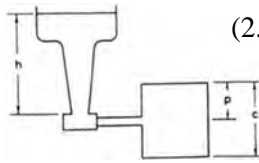
- b. *Bottom Gating*

$$\text{Effective head, } H = h - \frac{c}{2} \quad (2.7)^{[6]}$$



c. *Parting Line Gating*

$$\text{Effective head, } H = \frac{2hc - p^2}{2c} \quad (2.8)^{[6]}$$



4. Menghitung *Sprue Area*

f. Luas *sprue* bagian bawah, A_B (mm^2)

$$A_B = \frac{W}{\rho t c \sqrt{2qH}} \quad (2.9)^{[6]}$$

Keterangan :

A_B = Luas *sprue* bagian bawah (mm^2)

W = berat coran (Kg)

ρ = density of molten metal (Kg/m^3)

t = pouring time (sec)

H = effective *sprue* height (cm)

q = acc due to gravity ($9,81 \text{ kg } \text{m}/\text{s}^2$)

c = efficiency factor of *sprue*

= 0,88 (*tapered sprue*)

= 0,47 (*round straight sprue*)

= 0,74 (*square tapered sprue*)

b. Luas *sprue* bagian atas, A_A (mm^2)

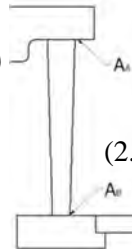
$$A_A = A_B \sqrt{\frac{h}{b}} \quad (2.10)^{[6]}$$

Keterangan :

A_B = Luas *sprue* bagian bawah (mm^2)

h = length of *sprue* (mm)

b = depth of metal in pouring basin (mm)



5. Menghitung Luasan Pengalir (*Runner Area*) dan Luas Saluran Masuk (*Gate Area*)

Dengan menggunakan rekomendasi AFS *horizontal gating system* maka untuk menentukan luasan pengalir menggunakan perbandingan *sprue : runner : gate = 1 : 4 : 4 (Non-Pressurized System)*. Maka *runner area* sama dengan empat kali luas sprue bagian bawah dan *gate area* sama dengan empat kali luas sprue bagian bawah.

2.2.12 Pengujian Spesimen

2.2.12.1 Pengujian Porositas

Umumnya pengujian porositas pada produk cor dilakukan secara kualitatif dan kuantitatif. Pengujian porositas kuantitatif dilakukan dengan cara menghitung perbandingan volume porositas terhadap volume total spesimen^[21]. Persamaan yang digunakan dalam menghitung porositas adalah sebagai berikut:

$$P = \frac{V_P}{V_T} \times 100\% \quad (2.11)^{[18]}$$

Dimana :

P = Prosentase Porositas (%)

V_P = Volume Porositas (cm^3)

V_T = Volume total spesimen (cm^3)

Karena porositas tidak dapat diukur secara langsung, maka perlu dilakukan penurunan rumus dari persamaan (2.11).

$$P = \frac{V_P}{V_T} \times 100\%$$

$$P = \frac{V_T - V_m}{V_T} \times 100\%$$

$$P = \frac{V_T - \left(\frac{M_S}{\rho_S}\right)}{V_T} \times 100\% \quad (2.12)^{[18]}$$

Dimana :

P = Prosentase Porositas (%)

V_T = Volume total spesimen (cm^3)

$$M_S = \text{Massa Spesimen (gr)}$$

$$\rho_S = \text{Massa Jenis Spesimen (gr/ cm}^3\text{)}$$

Sedangkan untuk pengujian secara kualitatif dilakukan dengan cara pengamatan visual secara langsung pada bagian permukaan potongan untuk mendapatkan foto porositas makro.

2.2.12.2 Pengujian Kekerasan

Kekerasan dapat didefinisikan sebagai ketahanan logam terhadap indentasi. Nilai kekerasan berkaitan dengan kekuatan luluh logam karena selama indentasi logam mengalami deformasi plastis^[7]. Kekerasan biasanya dapat dinyatakan dalam tiga skala yaitu *Brinell*, *Rockwell*, atau *Vickers*. Perbedaan utama dari ketiga skala ini adalah pada beban dan indentor yang digunakan dalam pengukurannya. Masing-masing skala ini mempunyai kelebihan dimana *Vickers* hanya butuh satu *setup* pengujian untuk semua material, *Rockwell* akan memberikan kesalahan operator yang lebih kecil karena tidak memerlukan mikroskop, sedangkan *Brinell* dapat dengan mudah dikonversikan kedalam kekuatan tarik *ultimate*-nya.

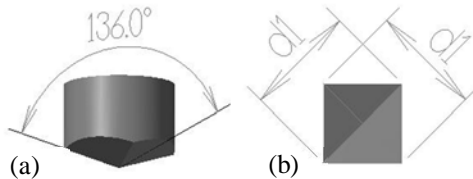
Untuk pengujian spesimen-spesimen sangat kecil, metode yang digunakan adalah *Vickershardness test* untuk prosedur pengujian menggunakan referensi ASTM E 92. Pada metode ini digunakan indentor intan berbentuk piramida dengan sudut 136°, seperti diperlihatkan pada gambar 2.12 prinsip pengujian adalah sama dengan metode *Brinell*, hanya saja jejak indentasi yang dihasilkan berbentuk bujur sangkar berdiagonal. Panjang diagonal diukur dengan skala pada mikroskop pengukur jejak. Untuk menghitung nilai kekerasan suatu material menggunakan rumus sebagai berikut :

$$VHN = \frac{1,854 \times P}{d^2} \quad (2.13)^{[7]}$$

Dimana: P = Besar beban (kg)

d = Rata-rata diameter pijakan indenter d1 dan d2 (mm)

VHN = *Vickers Hardness Number*



Gambar 2.14 (a) Indentor dan (b) Jejak *Vickers*^[7].

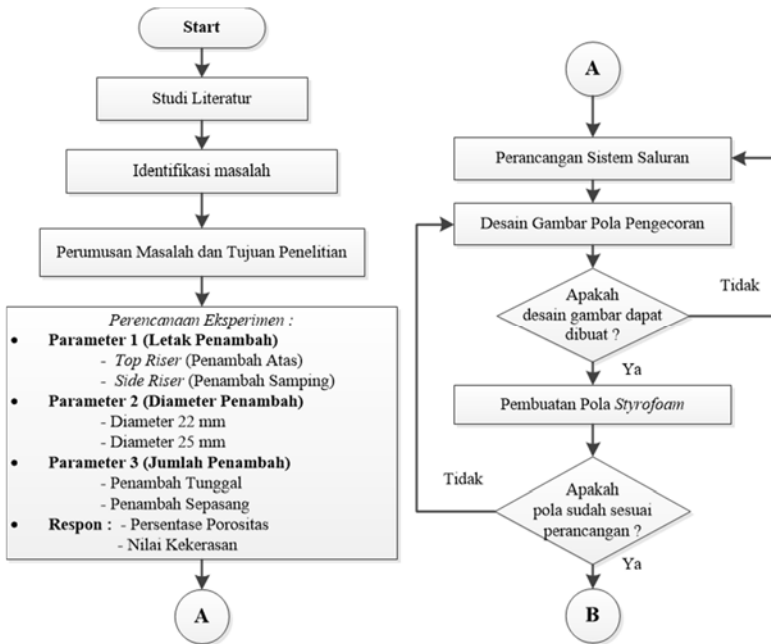
Keuntungan pada pengujian Vickers adalah:

1. Kerusakan pada benda uji tidak seberapa.
2. Dapat digunakan untuk menguji kekerasan di daerah permukaan yang sangat kecil misalnya penentuan kekerasan pada permukaan terkarburasi, daerah difusi dua material yang berbeda dan penentuan kekerasan pada daerah dengan struktur butir yang berbeda.
3. Penekanannya berbanding lurus dengan beban, sehingga nilai kekerasan yang diperoleh tidak bergantung pada besarnya beban penekanan.
4. Tonjolan materi yang terjadi disudut-sudut adalah yang paling sedikit, oleh karena itu garis windu penekanan dapat diukur dengan seksama.

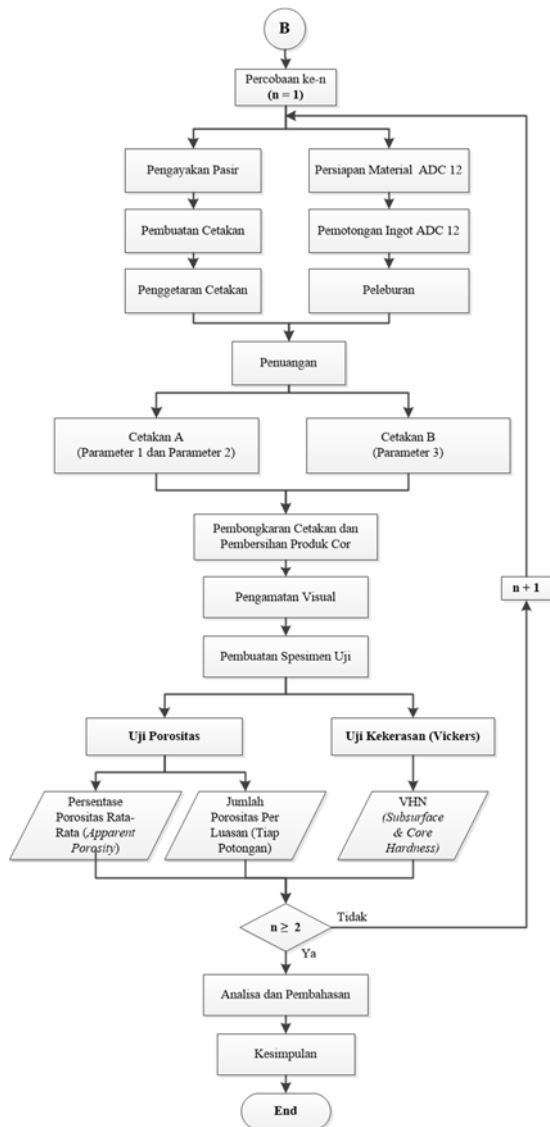
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Perancangan Eksperimen

Diagram alir yang digunakan dalam penelitian kali ini adalah sebagai berikut :



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian (Lanjutan)

Supaya penelitian lebih terarah sesuai diagram alir pada gambar 3.1 maka perlu dilakukan langkah-langkah sebagai berikut:

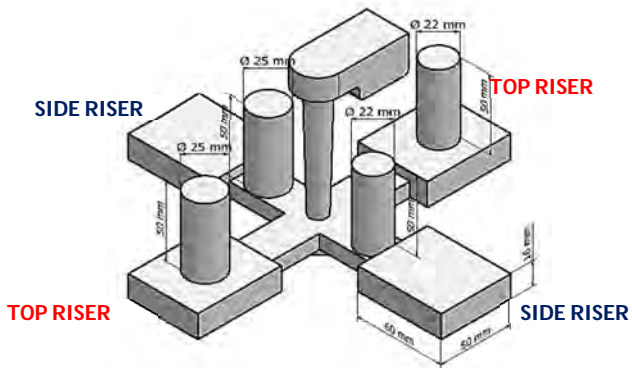
1. Studi Literatur

Langkah awal dalam penelitian ini adalah melakukan kajian dari berbagai sumber yang berkaitan dengan penelitian. Hal-hal yang dikaji antara lain proses pengecoran *lost-foam* serta beberapa parameter yang mempengaruhi hasil pengecoran. Sumber kajian diperoleh dari buku-buku referensi, internet dan beberapa jurnal penelitian terdahulu yang terkait dengan topik penelitian ini.

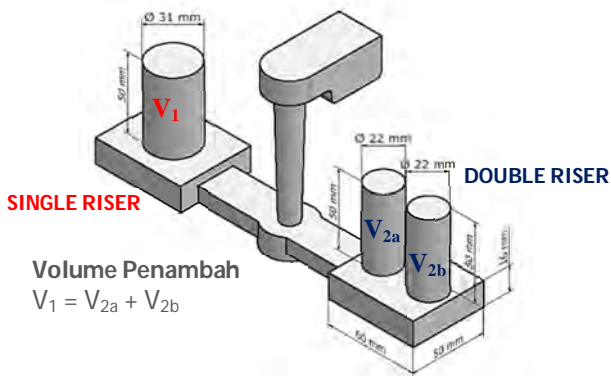
2. Perancangan dan pembuatan desain sistem saluran

Dalam pembuatan pola cetakan *lost-foam* perlu dilakukan perhitungan sistem saluran menurut *AFS Gating System (American Foundrymen Society)* untuk menentukan dimensi-dimensi pada sistem saluran, meliputi : luas penampang pada *sprue*, *runner* dan *ingate*. Setelah dimensi sistem saluran telah diperoleh, selanjutnya dilakukan pembuatan desain pola cetakan menggunakan *software AUTODESK INVENTOR PROFESSIONAL 2013*.

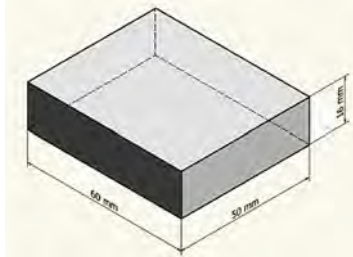
Pada gambar 3.3 ditampilkan empat produk dalam satu saluran turun untuk parameter 1 (variasi letak penambah) dan parameter 2 (variasi diameter penambah). Desain tersebut dibuat untuk meminimalisir adanya perbedaan temperatur tuang dan perbedaan kecepatan tuang logam cair. Gambar 3.4 menampilkan dua produk dalam satu saluran turun untuk parameter 3 (variasi jumlah penambah) dengan posisi penambah atas. Keseluruhan penambah pada tiap-tiap parameter didesain dengan ketinggian yang sama yaitu 50 mm dengan bentuk penambah silinder tertutup (*blind riser*). Desain dan dimensi spesimen produk cor untuk keseluruhan parameter ditunjukkan pada gambar 3.5.



Gambar 3.3 Desain pola cetakan untuk parameter 1 dan parameter 2.



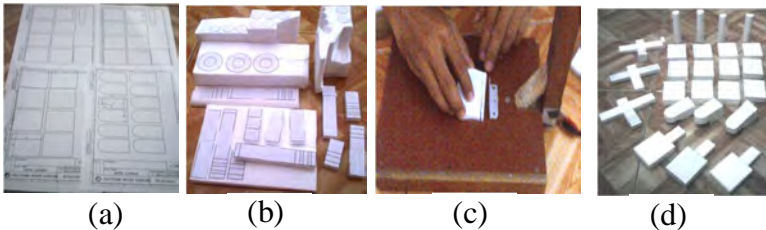
Gambar 3.4 Desain pola cetakan untuk parameter 3.



Gambar 3.5 Desain Produk Cor.

3. Pembuatan Pola *Styrofoam*

Desain gambar kemudian diplot menjadi gambar potongan (gambar 3.6a), selanjutnya gambar plot dipotong sesuai bentuknya lalu ditempelkan pada *styrofoam* (gambar 3.6b). Kemudian pola *styrofoam* dipotong menggunakan *hot wire cutter* (gambar 3.6c) untuk memudahkan proses pemotongan. Untuk menghaluskan permukaan *styrofoam* agar tidak berpori perlu dilakukan pengamplasan menggunakan amplas nomor 1500 dengan tetap memperhatikan kepresisian dimensi pola. Potongan potongan pola kemudian di-*assembling* dan direkatkan dengan menggunakan lem *styrofoam* (Gambar 3.6d).



Gambar 3.6 Proses pembuatan pola.

4. Persiapan Pengecoran

Persiapan pengecoran yang pertama kali dilakukan adalah pengayakan pasir silika dengan AFS GFN 30-45, kemudian menyiapkan cetakan yang akan dicor yaitu penimbunan pola di dalam *flask* (wadah) menggunakan pasir silika tanpa pengikat (kering) yang telah di ayak (gambar 3.7). Setelah itu cetakan digetarkan sampai pasir benar-benar padat dan pola tertutup keseluruhan kecuali bagian muka cawan tuang.



Gambar 3.7 Proses pengisian cetakan.

5. Proses Pengecoran

Pengecoran diawali dengan mencairkan ADC 12 dengan berat yang telah ditentukan pada temperatur 700°C menggunakan tungku krusibel. Hasil peleburan dituangkan kedalam *flask* yang telah terisi oleh pola cetakan dan pasir. Penuangan logam cair menggunakan *ladel* seperti ditunjukkan pada gambar 3.8 dilakukan secara cepat untuk menghindari penurunan temperatur yang terlalu drastis. Waktu tuang yang cepat dimaksudkan agar logam cair mampu mengisi keseluruhan rongga cetak. Setelah produk cor mendingin hingga temperatur kamar, dilakukan pembongkaran cetakan dan pembersihan produk cor dari terak pasir cetak.



Gambar 3.8 Proses penuangan logam cair ke dalam cetakan.

6. Pemotongan Spesimen

Produk hasil pengecoran kemudian dipotong untuk dilakukan pengujian kualitas pengecoran. Langkah yang harus dilakukan adalah terlebih dulu membuat benda uji / spesimen. Spesimen

yang dibuat antara lain spesimen pengujian berat jenis dan spesimen uji kekerasan.

7. Pengujian Kualitas Hasil Pengecoran

Pengujian yang dilakukan pertama kali yaitu pengujian berat jenis spesimen secara rata-rata untuk mengetahui persentase cacat porositas yang terjadi pada suatu spesimen. Uji kekerasan dilakukan untuk mengetahui tingkat kekerasan produk hasil pengecoran pada bagian *center* dan *subsurface*.

8. Analisa Data

Data hasil pengujian yang telah diperoleh kemudian dikumpulkan dan diolah untuk selanjutnya dibuat suatu perbandingan (diagram) antara spesimen satu dengan yang lainnya.

3.2 Material dan Peralatan Penelitian

3.2.1 Material Penelitian

Material yang digunakan dalam penelitian *lost-foam casting* adalah sebagai berikut:

1. ADC 12

Material yang digunakan untuk logam pengisi atau logam cair yaitu ADC 12, berbentuk ingot seperti ditunjukkan pada gambar 3.9. Material ini didapat dari pabrikannya langsung yaitu : PT. Global Metalindo Asia, yang beralamatkan di Jl. Bojong Buah Raya No.11 Kopo Katapang KM 11,5, Bandung Jawa Barat.



Gambar 3.9 Ingot ADC 12

2. *Polystyrene Foam (Styrofoam)*

Polystyrene foam (styrofoam) digunakan sebagai bahan baku pembuatan pola. *Polystyrene foam* yang dipilih dalam pembuatan pola adalah yang memiliki butiran kecil sehingga pori-porinya rapat dan padat, seperti ditunjukkan pada gambar 3.10.



Gambar 3.10 *Polystyrene Foam (Styrofoam)*

3. Pasir silika

Pasir cetak yang digunakan untuk penelitian *lost foam casting* adalah pasir silika kering, seperti ditunjukkan pada gambar 3.11.



Gambar 3.11 Pasir Silika

4. Lem *Styrofoam*

Untuk proses *assembling* pola menjadi sebuah *cluster* (pola yang dirangkai lengkap dengan sistem saluran) digunakan lem khusus untuk *styrofoam*, seperti ditunjukkan pada gambar 3.12.



Gambar 3.12 Lem Styrofoam

5. *Metal polish*

Bahan ini digunakan untuk proses *polishing* spesimen, sehingga permukaan spesimen dapat terlihat dilayar alat uji kekerasan. *Metal polish* ditunjukkan pada gambar 3.13 di bawah ini.



Gambar 3.13 Metal Polish

3.2.2 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam menunjang berlangsungnya penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. *Hot Wire Cutter*

Hot wire cutter adalah alat yang digunakan untuk memotong busa *polystyrene* dan bahan serupa. Perangkat ini terdiri dari kawat logam tipis yang sering dibuat dari *nichrome* atau *stainless steel*, atau kawat tebal yang telah dibentuk sebelumnya menjadi bentuk yang diinginkan dihubungkan dengan adaptor kemudian dipanaskan sehingga bisa digunakan untuk memotong. Kedalaman potong dibatasi oleh panjang dari kawat itu sendiri dan lebar

potongan dibatasi oleh diameter kawat, seperti terlihat pada gambar 3.14.



Gambar 3.14 *Hot Wire Cut*

2. Tungku Krusibel

Tungku krusibel merupakan salah satu jenis tungku dengan sistem pemanasan tidak langsung (*indirect fuel fired furnace*). Fungsi utamanya adalah untuk melebur logam aluminium dan sejenisnya. Peleburan logam dilakukan dengan menggunakan krusibel yang dipanaskan bagian luarnya secara konduksi melalui dinding krusibel dengan sumber panas dari gas, seperti ditunjukkan pada gambar 3.15 dibawah ini.



Gambar 3.15 Tungku Krusibel

3. Thermometer

Untuk mengukur temperatur tuang digunakan thermometer seperti ditunjukkan pada gambar 3.16.



Gambar 3.16 Termometer

4. Mesin *Grinding* dan *Polishing*

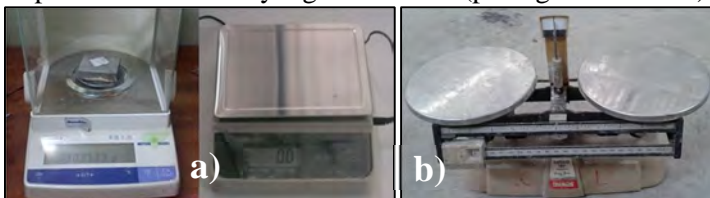
Mesin *grinding* dan *polishing* (gambar 3.17) ini digunakan untuk meratakan dan menghaluskan permukaan spesimen. Sehingga dapat digunakan dalam pengamatan cacat porositas dalam (*sub-surface*) dan pengujian kekerasan. Spesimen diratakan dengan menggunakan amplas dari grid 400 s/d 2000, kemudian setelah itu spesimen di haluskan dengan kain poles, sampai spesimen halus tanpa bekas goresan hasil pemotongan.



Gambar 3.17 Mesin *Grinding* dan *Polishing*

5. Timbangan Digital dan Neraca Timbangan

Timbangan digital digunakan untuk menimbang berat spesimen sehingga yang memerlukan ketelitian tinggi (pada gambar 3.18a) Neraca timbangan digunakan untuk menimbang berat paduan aluminium yang akan di cor (pada gambar 3.18b).



Gambar 3.18 (a).Timbangan Digital ; (b). Neraca Timbangan

6. Jangka Sorong (*Vernier Caliper*)

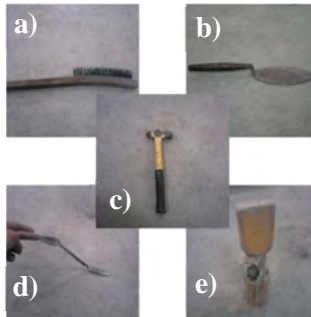
Jangka Sorong (gambar 3.19) digunakan untuk mengukur dimensi pola *styrofoam* dan produk cor.



Gambar 3.19 Jangka Sorong

7. Perkakas

Perkakas yang digunakan dalam proses pengecoran logam antara lain : (a) sikat baja, (b) sendok perata, (c) palu. (d) spatula dan (e) penumbuk. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 3.20.



Gambar 3.20 Perkakas

8. Mesin Gergaji

Mesin gergaji digunakan untuk memotong ingot material ADC 12 dan untuk memotong spesimen uji kekerasan, ditunjukkan pada gambar 3.21.



Gambar 3.21 Mesin Gergaji

9. Kamera Digital SLR

Untuk mempermudah pengamatan permukaan potongan dalam mengidentifikasi cacat porositas pada spesimen digunakan kamera DSLR Canon EOS 600D dengan perbesaran lensa 55 mm, seperti ditunjukkan pada gambar 3.22.



Gambar 3.22 Kamera Digital SLR

10. Alat Uji Keras

Vickers hardness tester adalah pengujian kekerasan suatu bahan dengan menggunakan intan. Merek mesin yang digunakan dalam uji kekerasan ini yaitu Wolpert, seperti ditunjukkan pada gambar 3.23.



Gambar 3.23 Mesin Uji Kekerasan *Vickers*

3.3 Tahapan Pengujian

Pengujian produk hasil pengecoran dilakukan untuk mengetahui kualitas produk cor yang ditinjau dari pengaruh sistem penambah (*riser*). Adapun pengujian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut :

3.3.1 Pengujian Porositas

Pengujian porositas dilakukan untuk mengetahui seberapa besar rongga yang terbentuk akibat cacat *shrinkage* (penyusutan) maupun akibat cacat porositas (gas). Kedua cacat tersebut dapat direpresentasikan dengan pengujian porositas yang dilakukan dengan dua metode, yaitu :

a. Pengujian Porositas Secara Kuantitatif

Pengujian porositas secara kuantitatif dilakukan untuk mengetahui prosentase porositas dan atau *shrinkage* yang terdapat di dalam produk cor. Dalam hal ini persentase porositas yang diukur adalah porositas yang tak terlihat dari luar produk cor (*apparent porosity*). Adapun langkah-langkahnya sebagai berikut:

1. Persiapan spesimen, bejana ukur dan timbangan digital dengan ketelitian hingga dua angka dibelakang koma.
2. Penimbangan spesimen dengan timbangan digital yang memiliki ketelitian hingga dua angka dibelakang koma.
3. Pengukuran volume total spesimen dengan menggunakan bejana ukur.
4. Pengisian bejana ukur sampai pada volume tertentu (semisal 400 mL).
5. Penimbangan bejana ukur yang telah diisi dengan air.
6. Spesimen dimasukkan kedalam bejana ukur.
7. Pengamatan perubahan berat pada timbangan digital.
8. Perhitungan selisih berat sebelum dan sesudah diisi spesimen.

9. Dengan menggunakan formulasi

$$V_t = \frac{M_{H_2O+Spesimen} - M_{H_2O}}{\rho_{H_2O}}, \text{ didapat volume total spesimen dan porositas.}$$

10. Perhitungan prosentase porositas pada spesimen dengan menggunakan persamaan [2.12] yaitu :

$$P = \frac{V_t - V_m}{V_t} \times 100\%$$

$$= \frac{V_t - \left(\frac{M_s}{\rho_s}\right)}{V_t} \times 100\% \quad (2.12)^{[21]}$$

Untuk mempermudah pengambilan data porositas kuantitatif maka digunakan tabel percobaan. Berikut ini adalah contoh desain tabel percobaan yang akan digunakan dalam pengambilan data porositas kuantitatif :

Tabel 3.1 Contoh tabel hasil pengujian porositas secara kuantitatif.

Spesimen	Diameter Riser (mm)	Percobaan ke-	Massa H2O (gram)	Massa H2O + Spesimen (gram)	Massa Spesimen Kering, m (gram)	Volume total, Vt (cm3)	Volume spesimen, Vm (cm3)	Persentase Porositas (%)
		I						
		II						
		I						
		II						
		I						
		II						
		I						
		II						

b. Pengujian Porositas Secara Kualitatif

Pada pengujian porositas secara kualitatif benda cor yang diamati yaitu pada bagian permukaan potongan untuk mengitung jumlah cacat dan mengidentifikasi cacat yang terjadi. Benda cor dipotong menjadi empat bagian untuk mendapatkan tiga permukaan potong yang berbeda. Kemudian dilakukan proses *grinding* dan *polishing* pada permukaan potongan A, potongan B dan potongan C. Untuk

mempermudah pengamatan secara visual dilakukan pemotretan menggunakan kamera DSLR dengan perbesaran yang sama.

Berikut ini adalah desain tabel percobaan yang akan digunakan dalam pengambilan data porositas kualitatif :

Tabel 3.2 Contoh tabel hasil pengujian porositas secara kualitatif.

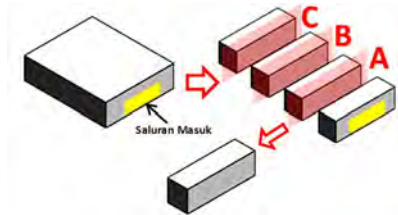
Spesimen	Potongan	Foto Makro	Identifikasi
	A		Jenis Cacat :
			Jumlah Cacat :
	B		Jenis Cacat :
			Jumlah Cacat :
	C		Jenis Cacat :
			Jumlah Cacat :

3.3.2 Pengujian Kekerasan (Vickers)

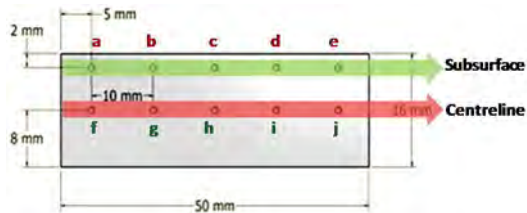
Pengujian kekerasan pada spesimen hasil pengecoran *lost-foam* dilakukan untuk mengetahui besarnya perbedaan kekerasan benda coran untuk masing – masing spesimen. Produk cor terlebih dahulu dipotong menjadi empat bagian untuk memperoleh tiga permukaan potongan. Ketiga permukaan potongan (A, B dan C) seperti ditampilkan pada gambar 3.24 diperkirakan memiliki perbedaan nilai kekerasan baik pada daerah *subsurface* maupun *center* dari produk cor. Fenomena tersebut dapat timbul karena perbedaan jarak titik pengujian terhadap dinding cetakan yang mengakibatkan perbedaan struktur butiran produk cor (lihat gambar 2.7). Selain itu, jarak titik pengujian terhadap penambah (*riser*) yang berbeda akan memberikan nilai kekerasan yang berbeda pula karena adanya perbedaan distribusi cacat *shrinkage* dan porositas. Untuk itu sangat perlu dilakukan pengujian kekerasan (*Vickers*) pada ketiga daerah potongan.

Permukaan yang diuji yaitu pada potongan vertikal pada daerah *subsurface* (2 mm dari sisi luar produk cor) dan pada daerah *center* (8 mm dari sisi luar produk cor). Untuk daerah

pemotongan yang diilustrasikan pada Gambar 3.24 dengan titik pengujian sebanyak 5 titik/permukaan pada daerah *subsurface* dan 5 titik/permukaan pada daerah *center* yang diilustrasikan pada Gambar 3.25.



Gambar 3.24 Ilustrasi daerah pemotongan spesimen uji kekerasan.



Gambar 3.25 Letak titik pengujian kekerasan pada permukaan potongan.

Untuk mempermudah pengambilan data pengujian kekerasan maka digunakan rancangan tabel percobaan. Berikut ini adalah desain tabel percobaan yang akan digunakan dalam pengambilan data kekerasan :

Tabel 3.3 Contoh tabel hasil pengujian kekerasan Vickers.

Spesimen	Potongan	Titik Pengujian	Nilai Kekerasan (VHN)		Kekerasan Rata-Rata Tiap Titik Pengujian (VHN)
			Percobaan I	Percobaan II	
		Subsurface	a		
			b		
			c		
			d		
			e		
		Center	f		
			g		
			h		
			i		
			j		

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

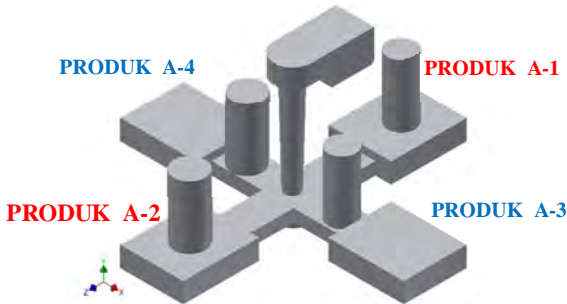
PERANCANGAN SISTEM SALURAN DAN HASIL PENGECORAN

4.1 Perancangan Sistem Saluran

Langkah awal dalam proses pembuatan cetakan adalah merancang sistem saluran (*gating system*) lengkap dengan sistem penambah (*riser system*). Secara teoritis, dalam perancangan sistem saluran perlu ditentukan bentuk dan ukuran penambah yang ideal. Sehingga sistem saluran dan penambah dapat saling berkaitan dalam menentukan kualitas benda hasil coran.

4.1.1 Perhitungan Sistem Saluran Cetakan A

Desain dari sistem saluran lengkap dengan sistem penambah (*riser*) untuk cetakan A (parameter 1 : variasi letak penambah dan parameter 2 : variasi diameter penambah) ditunjukkan pada gambar 4.1. Produk A-1 dan A-2 merupakan produk dengan tipe penambah atas (*top riser*), sedangkan produk A-3 dan A-4 merupakan produk dengan tipe penambah samping (*side riser*). Untuk detail dimensi pola cetakan A terlampir pada lampiran B.



Gambar 4.1 Model sistem saluran untuk cetakan A

➤ Material Cor

- Jenis material = Paduan ADC 12
- Density (ρ) = 2740 [kg/m³]
- Temperatur *melt* = 660° C
- Temperatur tuang = 700° C

➤ Benda Cor

- Berat total benda cor = 1,030 kg
- Tebal dominan (t) = 16 mm

➤ *Pouring Volume* (Q_p)

$$Q_p = \frac{W}{\rho} \quad (2.1)$$

$$W = 1,030 \text{ kg} \quad \rho = 2740 \text{ kg/m}^3$$

$$Q_p = \frac{1,030 \text{ kg}}{2740 \text{ kg/m}^3} = 0,000376 \text{ m}^3$$

$$Q_p = 0,376 \text{ mm}^3$$

➤ *Pouring Time*

$$T_p = 0.32 \cdot t \cdot Wp^{0.4}$$

$$(2.2)^{[5]}$$

$$\text{Diketahui : } T = 16 \text{ mm ; } W = 1,030 \text{ kg}$$

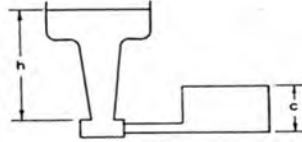
$$T_p = 0.32 \cdot (16 \text{ mm}) \cdot (1,030)^{0.4}$$

$$T_p = 5,18 \text{ detik}$$

- *Effective sprue height (H)*
Effective head, $H = h - c/2$ dengan bottom gating system.
 Diketahui: $c = 16 \text{ mm}$;
 $h = 95 \text{ mm}$

$$H = 95 - \frac{16}{2}$$

$$= 87 \text{ mm} = 0,087 \text{ m}$$



Gambar 4.2 Bottom Gating System

- *Sprue Area*

- a. Luas *bottom sprue*, A_B (mm^2)

$$A_B = \frac{W}{\rho t c \sqrt{2qH}} \quad (2.6)$$

$$A_B = \frac{1,030 \text{ kg}}{2740 \text{ kg/m}^3 \times 5,18 \text{ second} \times 0,88 \sqrt{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,087 \text{ m}}}$$

$$A_B = 6,31 \times 10^{-5} \text{ m}^2 = 63,1 \text{ mm}^2$$

Diperoleh diameter *sprue* bagian bawah :

$$D_b = \sqrt{\frac{4 A_B}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 63,1 \text{ mm}^2}{\pi}} = 8,96 \text{ mm}$$

- b. Luas *top sprue* bagian atas, A_T (mm^2)

$$A_T = A_B \sqrt{\frac{h}{b}} \quad (2.7)$$

$$A_T = 63,1 \text{ mm}^2 \times \sqrt{\frac{95 \text{ mm}}{15 \text{ mm}}} = 158,8 \text{ mm}^2$$

Diperoleh diameter *sprue* bagian atas:

$$D_A = \sqrt{\frac{4 A_T}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 158,8 \text{ mm}^2}{\pi}} = 14,2 \text{ mm}$$

➤ *Runner Area*

Runner area dapat ditentukan dari *gating ratio* sesuai dengan rekomendasi AFS sistem saluran horizontal yaitu → *Gating ratio* → 1 : 4 : 4

Total Runner area, $A_R = 4 \times A_B$

Sistem saluran pada cetakan A menggunakan 4 *runner*, sehingga perhitungannya sebagai berikut :

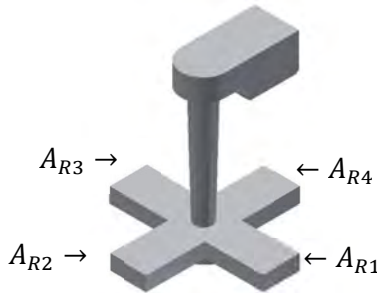
$$A_{R1} + A_{R2} + A_{R3} + A_{R4} = 4 \times A_B$$

$$A_{R1} + A_{R2} + A_{R3} + A_{R4} = 4 \times 63,1 \text{ mm}^2 = 252,4 \text{ mm}^2$$

$$A_{R1} = A_{R2} = A_{R3} = A_{R4} = \frac{1}{4} \times A_R$$

$$A_{R1} = A_{R2} = A_{R3} = A_{R4} = \frac{1}{4} \times 252,4 \text{ mm}^2$$

$$A_{R1} = A_{R2} = A_{R3} = A_{R4} = 63,1 \text{ mm}^2$$

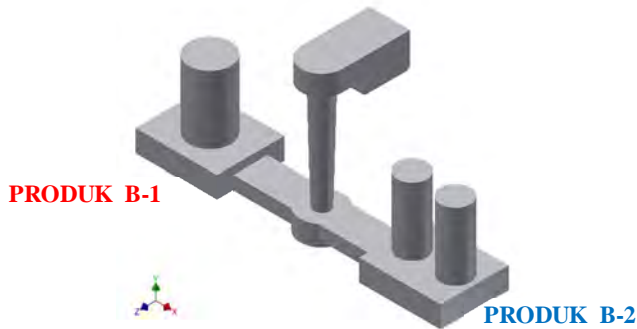


Gambar 4.3 *Runner Area*

Sistem saluran seperti pada gambar 4.3 menggunakan sistem saluran samping dengan *runner* (pengalir) yang sekaligus berfungsi sebagai *gate* (saluran masuk).

4.1.2 Perhitungan Sistem Saluran Cetakan B

Desain dari sistem saluran lengkap dengan sistem penambah (*riser*) untuk cetakan B (parameter 3: variasi jumlah penambah) ditunjukkan pada gambar 4.4. Produk B-1 merupakan produk dengan penambah tunggal (*single riser*), sedangkan produk B-2 merupakan produk dengan penambah ganda (*double riser*). Untuk detail dimensi pola cetakan B terlampir dalam lampiran B.



Gambar 4.4 Model sistem saluran untuk cetakan B

- Material Cor
 - Jenis material = Paduan ADC 12
 - Density (ρ) = 2740 [kg/m³]
 - Temperatur *melt* = 660° C
 - Temperatur tuang = 700° C

- Benda Cor
 - Berat total benda cor = 0,688 kg
 - Tebal dominan (t) = 16 mm

- *Pouring Volume* (Q_p)

$$Q_p = \frac{W}{\rho} \quad (2.1)$$

$$W = 0,688 \text{ kg} \quad \rho = 2740 \text{ kg/m}^3$$

$$Q_p = \frac{0,688 \text{ kg}}{2740 \text{ kg/m}^3} = 0,000251 \text{ m}^3$$

$$Q_p = 0,251 \text{ mm}^3$$

- *Pouring Time*

$$T_p = 0.32 \cdot t \cdot W_p^{0.4} \quad (2.2)^{[5]}$$

Diketahui : $T = 16 \text{ mm}$; $W = 0,688 \text{ kg}$

$$T_p = 0.32 \cdot (16 \text{ mm}) \cdot (0.688)^{0.4}$$

$$T_p = 4,41 \text{ detik}$$

➤ *Effective sprue height (H)*

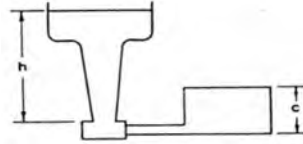
Effective head, $H = h - c/2$ dengan bottom gating system.

Diketahui: $c = 16 \text{ mm}$;

$h = 95 \text{ mm}$

$$H = 95 - \frac{16}{2}$$

$$= 87 \text{ mm} = 0,087 \text{ m}$$



Gambar 4.2 *Bottom Gating System*

➤ *Sprue Area*

a. Luas *bottom sprue*, A_B (mm^2)

$$A_B = \frac{W}{\rho t c \sqrt{2qH}} \quad (2.6)$$

$$A_B = \frac{0,688 \text{ kg}}{2740 \text{ kg/m}^3 \times 4,41 \text{ second} \times 0,88 \sqrt{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,087 \text{ m}}}$$

$$A_B = 4,95 \times 10^{-5} \text{ m}^2 = 49,5 \text{ mm}^2$$

Diperoleh diameter *sprue* bagian bawah :

$$D_b = \sqrt{\frac{4 A_B}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 49,5 \text{ mm}^2}{\pi}} = 7,94 \text{ mm}$$

b. Luas *top sprue*, A_T (mm^2)

$$A_T = A_B \sqrt{\frac{h}{b}} \quad (2.7)$$

$$A_T = 49,5 \text{ mm}^2 \times \sqrt{\frac{95 \text{ mm}}{15 \text{ mm}}} = 124,6 \text{ mm}^2$$

Diperoleh diameter *sprue* bagian atas:

$$D_A = \sqrt{\frac{4 A_T}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 124,6 \text{ mm}^2}{\pi}} = 12,5 \text{ mm}$$

➤ *Runner Area*

Runner area dapat ditentukan dari *gating ratio* sesuai dengan rekomendasi AFS sistem saluran horizontal yaitu → *Gating ratio* → 1 : 4 : 4

Total *Runner area*, $A_R = 4 \times A_B$

Sistem saluran pada cetakan A menggunakan 2 *runner* untuk 2 produk, sehingga perhitungannya sebagai berikut :

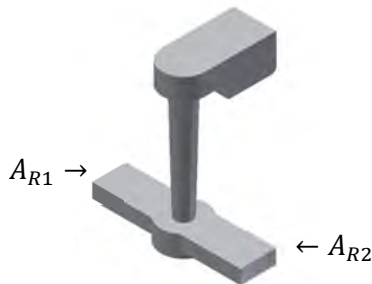
$$A_{R1} + A_{R2} = 4 \times A_B$$

$$A_{R1} + A_{R2} = 4 \times 49,5 \text{ mm}^2 = 198 \text{ mm}^2$$

$$A_{R1} = A_{R2} = \frac{1}{2} \times A_R$$

$$A_{R1} = A_{R2} = \frac{1}{2} \times 198 \text{ mm}^2$$

$$A_{R1} = A_{R2} = 99 \text{ mm}^2$$



Gambar 4.5 Runner cetakan B

Sama halnya pada cetakan A, sistem saluran pada cetakan B seperti pada gambar 4.6 menggunakan sistem saluran samping dengan *runner* (pengalir) yang sekaligus berfungsi sebagai *gate* (saluran masuk).

4.1.3 Perhitungan Sistem Penambah

➤ Jangkauan Penambah (J_p) :

$$J_p = 4,5 \cdot t \quad (2.1)^{[6]}$$

$$J_p = 4,5 \cdot 16 \text{ mm} = 72 \text{ mm}$$

- Jumlah Penambah (N_p) :

$$N_p = \frac{K}{2 \cdot J_p + D_p} \quad (2.2)^{[6]}$$

Diketahui, $D_p = 22 \text{ mm}$ (diameter penambah),
 $K = 220 \text{ mm}$ (keliling penambah),
 $J_p = 72 \text{ mm}$ (jangkauan penambah).

Sehingga diperoleh jumlah penambah, $N_p = \frac{220}{2 \cdot 72 + 22} = 1,325 \approx 1$ penambah, dimana jumlah penambah tersebut merupakan jumlah penambah minimal yang harus dipakai dalam suatu cetakan.

- Volume Penambah (V_f) :

$$V_f = \frac{s \cdot V_c}{x - s} \quad (2.3)^{[6]}$$

Diketahui, $V_c = 48000 \text{ mm}^3$ (volume benda cor),
 $s = 3,8 \%$ (besar penyusutan Al-Si)^[16],
 $x = 20 \%$ (efisiensi penambah)^[6].

Sehingga diperoleh volume penambah,

$V_f = \frac{0,038 \cdot 48000 \text{ mm}^3}{0,20 - 0,038} = 11259,3 \text{ mm}^3$ dimana volume penambah tersebut digunakan sebagai syarat minimal agar diperoleh volume penambah dengan efisiensi sebesar 20 %.

- Modulus Benda Cor (M_c)

$$M_c = \frac{V_c}{A_c}$$

Diketahui, $V_c = 48000 \text{ mm}^3$ (volume benda cor),
 $A_c = 9520 \text{ mm}^2$ (luas selimut benda cor).

Sehingga diperoleh modulus benda cor :

$$M_c = \frac{48000}{9520} = 5,04 \approx 5$$

➤ Modulus Penambah (M_p) :

$$M_p = \frac{V_p}{A_p} = \frac{\pi \cdot D^2}{4 A} = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot t}{4 \left(\pi \cdot \frac{D^2}{4} + \pi \cdot D \cdot t \right)}$$

Dimana, V_p = volume penambah (mm^3),
 A_p = luas selimut penambah (mm^2),
 D = diameter penambah (mm),
 t = tinggi penambah (mm).

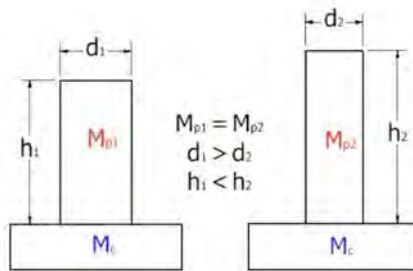
Bila diketahui besar diameter penambah $D_1 = 22$ mm, $D_2 = 25$ mm dan $D_3 = 31$ mm dengan tinggi penambah (t) yang sama yaitu 50 mm, maka dapat diperoleh :

$$M_{p1} = \frac{\pi \cdot 22^2 \cdot 50}{4 \left(\pi \cdot \frac{22^2}{4} + \pi \cdot 22 \cdot 50 \right)} = 4,955 \approx 5$$

$$M_{p2} = \frac{\pi \cdot 25^2 \cdot 50}{4 \left(\pi \cdot \frac{25^2}{4} + \pi \cdot 25 \cdot 50 \right)} = 5,556 \approx 5,5$$

$$M_{p3} = \frac{\pi \cdot 31^2 \cdot 50}{4 \left(\pi \cdot \frac{31^2}{4} + \pi \cdot 31 \cdot 50 \right)} = 6,709 \approx 6,8$$

Sehingga ketiga jenis penambah tersebut memiliki rasio modulus penambah (M_p) terhadap modulus benda cor (M_c) yaitu $M_c : M_{p1} : M_{p2} : M_{p3}$ sebesar 1 : 1 : 1,1 : 1,36. Nilai modulus penambah yang lebih besar daripada modulus benda cor tidak dapat menjamin bahwa penambah akan membeku paling terakhir, diperlukan dimensi penambah yang sesuai dengan ketebalan benda cor agar proses pendinginan pada penambah lebih lambat dari benda cor.



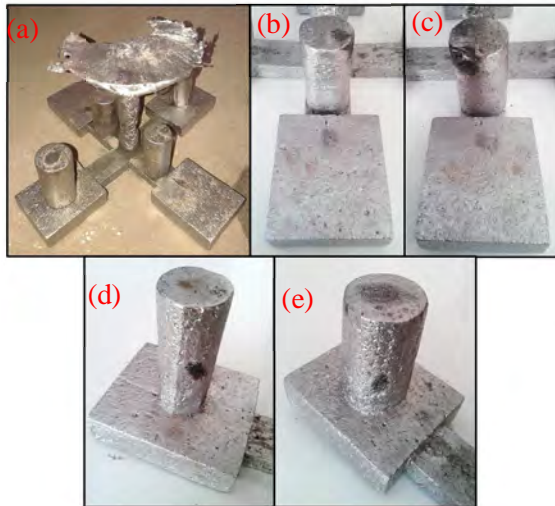
Gambar 4.6 Ilustrasi keterkaitan antara nilai modulus dan dimensi penambah.

Seperti diilustrasikan pada gambar 4.7, terlihat bahwa dengan perbandingan modulus penambah yang sama yaitu $M_c : M_{p1} : M_{p2} = 1 : 1 : 1$ namun dengan dimensi tinggi (h) dan diameter (d) penambah yang berbeda maka luas penampang dari penambah juga berbeda. Rasio antara diameter penambah terhadap ketebalan benda cor memiliki keterkaitan dengan rasio modulus cor yang akan mempengaruhi pola pendinginan dari suatu sistem penambah. Dengan tinggi penambah yang tetap dan diameter penambah yang divariasikan, maka akan diketahui suatu kondisi diameter yang sesuai dimana penambah memiliki luas penampang yang lebih besar daripada luas penampang produk. Kondisi tersebut memberikan kesempatan agar penambah dapat membeku paling terakhir (setelah produk cor) sehingga penambah dapat memenuhi fungsinya untuk menyuplai logam cair ke produk cor.

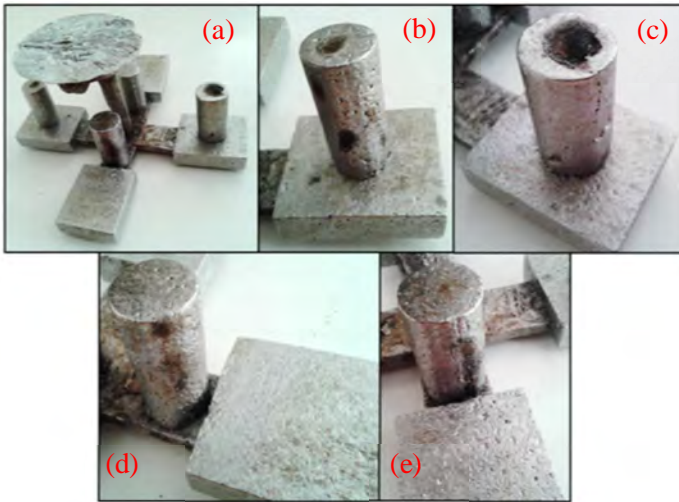
4.2 Hasil Pengecoran

Setelah dilakukan proses pengecoran dan pembongkaran cetakan A dan cetakan B, diperoleh hasil pengecoran berikut :

1. Hasil Pengecoran Cetakan A

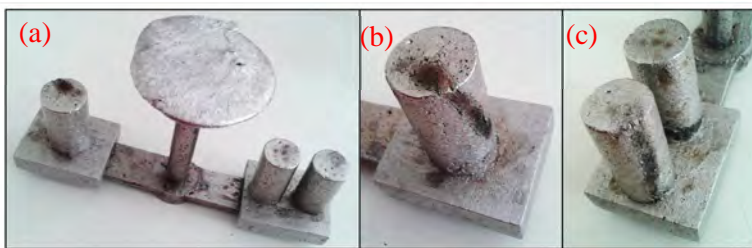


Gambar 4.7 Hasil pengecoran cetakan A percobaan pertama. (a) Foto keseluruhan cetakan, (b) produk *side riser* 22 mm, (c) produk *side riser* 25 mm, (d) produk *top riser* 22 mm, (e) produk *top riser* 25 mm.

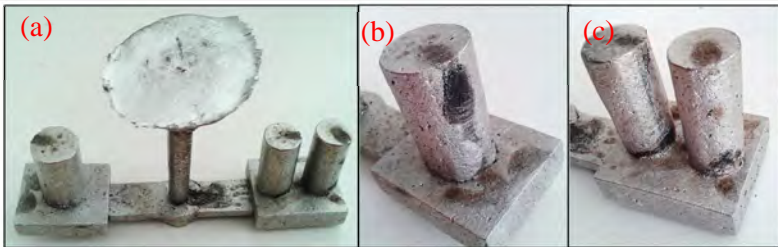


Gambar 4.8 Hasil pengecoran cetakan A percobaan kedua. (a) Foto keseluruhan cetakan, (b) produk *top riser* 22 mm, (c) produk *top riser* 25 mm, (d) produk *side riser* 22 mm, (e) produk *side riser* 25 mm.

2. Hasil Pengecoran Cetakan B



Gambar 4.9 Hasil pengecoran cetakan B percobaan pertama. (a) Foto keseluruhan cetakan, (b) produk *single riser* [diameter 28 mm], (c) produk *double riser* [diameter 22 mm].



Gambar 4.10 Hasil pengecoran cetakan B percobaan kedua.
(a) Foto keseluruhan cetakan, (b) produk *single riser* [diameter 28 mm], (c) produk *double riser* [diameter 22 mm].

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Pengujian Persentase Porositas

5.1.1 Data Hasil Pengujian Persentase Porositas Secara Kuantitatif

Data hasil pengujian porositas secara kuantitatif dari dua percobaan pengecoran *lost-foam* ditunjukkan pada tabel 5.1 dan tabel 5.2. Data persentase porositas tersebut diperoleh dari perhitungan perbandingan volume spesimen dengan diketahui massa jenis (ρ) paduan ADC 12 sebesar $2,74 \text{ gr/cm}^3$ dan massa jenis air (H_2O) sebesar 1 gr/cm^3 . Dari hasil pengukuran berat produk cor basah (berat di dalam air) diperoleh volume total (volume produk cor beserta cacat). Dari pengukuran berat produk cor kering akan diperoleh volume produk cor sehingga persentase porositas dapat dihitung berdasarkan persamaan [2.12]. Contoh perhitungan ditunjukkan sebagai berikut :

Diketahui : spesimen dengan sistem penambah atas berdiameter 22 mm percobaan ke-1.

$$\rho_s = 2,74 \text{ gr/cm}^3 ; M_s = 120,60 \text{ gr} ; V_t = 45,40 \text{ cm}^3$$

$$P = \frac{V_T - \left(\frac{M_s}{\rho_s}\right)}{V_T} \times 100\% \quad (2.12)^{[18]}$$

$$P = \frac{45,40 \text{ cm}^3 - \left(\frac{120,60 \text{ gr}}{2,74 \text{ gr/cm}^3}\right)}{45,40 \text{ cm}^3} \times 100\% = 3,05 \%$$

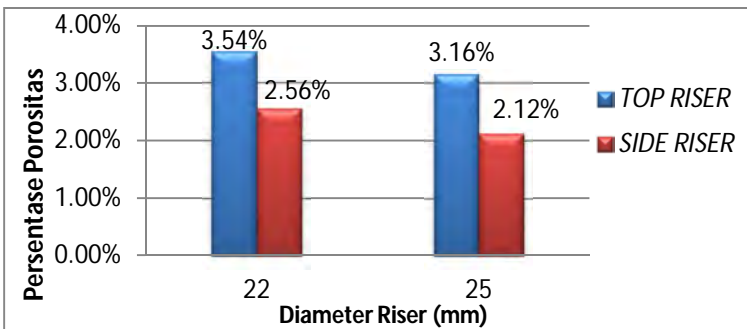
Berdasarkan perhitungan diatas, diperoleh persentase porositas yang terdapat pada spesimen dengan sistem penambah atas berdiameter 22 mm percobaan ke-1 adalah sebesar 3,05 %.

Persentase porositas tersebut merupakan persentase jumlah porositas yang tersebar pada suatu spesimen uji. Dengan melakukan pengujian pada spesimen percobaan ke-2, maka akan diperoleh nilai rata-rata persentase porositas pada sistem penambah atas berdiameter 22 mm.

Tabel 5.1 Data Hasil Pengujian Persentase Porositas Secara Kuantitatif untuk Parameter Letak Penambah dan Diameter Penambah

Spesimen	Diameter Riser (mm)	Percobaan ke-	Massa H ₂ O (gram)	Massa H ₂ O + Produk (gram)	Massa Produk Kering, M (gram)	Volume total, Vt (cm ³)	Volume Produk, Vm (cm ³)	Persentase Porositas
TOP RISER (Penambah Atas)	22	I	408.60	454.00	120.60	45.40	44.01	3.05%
		II	397.70	443.30	119.90	45.60	43.76	4.04%
	25	I	407.60	452.30	119.00	44.70	43.43	2.84%
		II	397.00	442.60	120.60	45.60	44.01	3.48%
SIDE RISER (Penambah Samping)	22	I	407.00	452.80	122.60	45.80	44.74	2.30%
		II	396.50	443.40	124.90	46.90	45.58	2.81%
	25	I	406.70	452.60	123.10	45.90	44.93	2.12%
		II	396.20	442.10	123.10	45.90	44.93	2.12%

Berdasarkan data pada tabel 5.1, maka dapat dibuat histogram perbandingan persentase porositas rata-rata secara kuantitatif untuk parameter 1 (variasi letak penambah) dan parameter 2 (variasi diameter penambah), seperti diperlihatkan pada gambar 5.1.



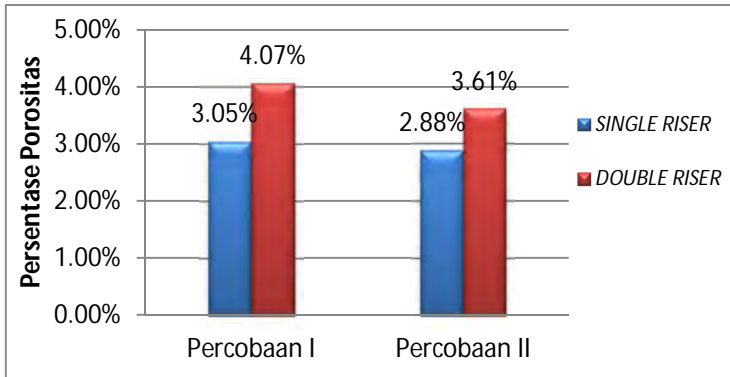
Gambar 5.1 Histogram Persentase Porositas Rata-Rata Secara Kuantitatif untuk Parameter 1 dan Parameter 2

Histogram pada gambar 5.1 menunjukkan adanya perbedaan persentase porositas secara kuantitatif pada parameter yang diujikan. Pada parameter 1 yaitu variasi letak penambah dengan diameter 22 mm maupun diameter 25 mm, spesimen penambah samping selalu memiliki persentase lebih rendah daripada spesimen penambah atas. Sedangkan pada parameter 2 yaitu variasi diameter penambah, spesimen dengan diameter penambah yang lebih besar yaitu 25 mm memiliki persentase porositas yang lebih rendah daripada spesimen yang menggunakan penambah berdiameter 22 mm.

Tabel 5.2 Data Hasil Pengujian Persentase Porositas Secara Kuantitatif untuk Parameter Jumlah Penambah

Spesimen	Diameter Riser (mm)	Percobaan ke-	Massa H ₂ O (gram)	Massa H ₂ O + Produk (gram)	Massa Produk Kering, M (gram)	Volume total, V _t (cm ³)	Volume Produk, V _m (cm ³)	Persentase Porositas
SINGLE RISER (Penambah Tunggal)	31	I	395.80	441.80	122.20	46.00	44.60	3.05%
		II	395.30	442.80	126.40	47.50	46.13	2.88%
DOUBLE RISER (Penambah Ganda)	22	I	394.90	441.20	121.70	46.30	44.42	4.07%
		II	394.40	441.20	123.60	46.80	45.11	3.61%

Berdasarkan data pada tabel 5.2, maka dapat dibuat histogram perbandingan persentase porositas rata-rata secara kuantitatif untuk parameter 3 (variasi jumlah penambah), seperti diperlihatkan pada gambar 5.2.



Gambar 5.2 Histogram Persentase Porositas Rata-Rata Secara Kuantitatif untuk Parameter 3


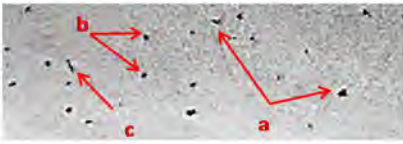






Histogram pada gambar 5.2 menunjukkan adanya perbedaan persentase porositas secara kuantitatif pada parameter variasi jumlah penambah. Pada percobaan pertama maupun percobaan kedua, persentase porositas pada spesimen *single riser* (penambah tunggal) selalu lebih rendah dari spesimen *double riser* (penambah ganda).

5.1.2 Data Hasil Pengujian Persentase Porositas Secara Kualitatif



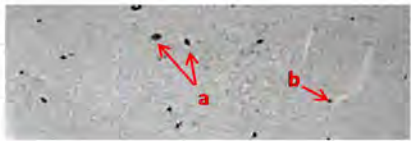


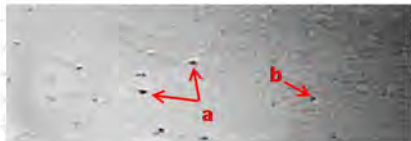


Data hasil pengujian porositas secara kualitatif dari pengecoran *lost-foam* untuk parameter 1 (variasi letak penambah) dan parameter 2 (variasi diameter penambah) ditunjukkan pada tabel 5.3 dan tabel 5.4. Kemudian pada tabel 5.5 ditunjukkan data hasil pengujian porositas secara kualitatif untuk parameter 3 (variasi jumlah penambah). Masing-masing tabel menunjukkan data visual yang diperoleh dari permukaan potongan A, potongan B dan potongan C produk cor yang kemudian dilakukan identifikasi jenis cacat dan jumlah cacat secara keseluruhan pada suatu permukaan potongan. Data jumlah cacat pada tabel tersebut diperoleh dari penghitungan secara manual jumlah porositas yang terdapat pada permukaan potongan A, potongan B dan potongan C kemudian direpresentasikan dalam skala rata-rata cacat per luasan yaitu skala *high* (jumlah cacat > 10 titik/cm²), skala

medium (jumlah cacat 8 – 10 titik/cm²) dan skala *low* (jumlah cacat < 8 titik/cm²).

Tabel 5.3 Hasil pengujian porositas secara kualitatif untuk parameter 1 (letak penambah) dengan diameter penambah 22 mm

Spesimen	Potongan	Foto Makro	Identifikasi
TOP RISER 	A		Jenis Cacat : a. <i>Microporosity</i> b. <i>Gas Pore</i> c. <i>Shrinkage Pore</i> Jumlah Cacat : <i>Medium</i>
	B		Jenis Cacat : a. <i>Microporosity</i> b. <i>Gas Pore</i> Jumlah Cacat : <i>High</i>
	C		Jenis Cacat : a. <i>Microporosity</i> b. <i>Gas Pore</i> Jumlah Cacat : <i>Low</i>
SIDE RISER 	A		Jenis Cacat : a. <i>Microporosity</i> b. <i>Gas Pore</i> Jumlah Cacat : <i>Low</i>
	B		Jenis Cacat : a. <i>Microporosity</i> b. <i>Gas Pore</i> Jumlah Cacat : <i>Low</i>
	C		Jenis Cacat : a. <i>Microporosity</i> b. <i>Gas Pore</i> Jumlah Cacat : <i>Medium</i>




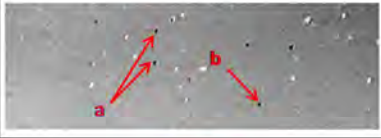




Tabel 5.4 Hasil pengujian porositas secara kualitatif untuk parameter 1 (letak penambah) dengan diameter penambah 25 mm

Spesimen	Potongan	Foto Makro	Identifikasi
TOP RISER 	A		Jenis Cacat : a. <i>Microporosity</i> b. <i>Gas Pore</i> Jumlah Cacat : Low
	B		Jenis Cacat : a. <i>Microporosity</i> b. <i>Gas Pore</i> Jumlah Cacat : High
	C		Jenis Cacat : a. <i>Microporosity</i> b. <i>Gas Pore</i> Jumlah Cacat : Medium
SIDE RISER 	A		Jenis Cacat : a. <i>Microporosity</i> b. <i>Gas Pore</i> Jumlah Cacat : Low
	B		Jenis Cacat : a. <i>Microporosity</i> b. <i>Gas Pore</i> Jumlah Cacat : Low
	C		Jenis Cacat : a. <i>Microporosity</i> b. <i>Gas Pore</i> Jumlah Cacat : Medium

Pada parameter 1 yaitu variasi letak penambah dengan diameter 22 mm maupun diameter 25 mm, jumlah cacat pada

spesimen penambah samping memiliki rata-rata yang lebih rendah daripada spesimen penambah atas. Terdapat peningkatan jumlah porositas yang signifikan di permukaan potongan B pada spesimen *top riser* (penambah atas) dan di permukaan potongan C pada spesimen *side riser* (penambah samping). Sedangkan pada parameter 2 yaitu variasi diameter penambah, cenderung tidak terdapat perbedaan rata-rata jumlah cacat yang signifikan antara spesimen dengan diameter penambah 22 mm dan spesimen dengan diameter penambah 25 mm.

Tabel 5.5 Hasil pengujian porositas secara kualitatif untuk parameter 3 (jumlah penambah)

Spesimen	Potongan	Foto Makro	Jenis Cacat :
SINGLE RISER 	A		Jenis Cacat : a. <i>Microporosity (gas plus shrinkage)</i> Jumlah Cacat : Medium
	B		Jenis Cacat : a. <i>Microporosity</i> b. <i>Gas Pore</i> c. <i>Shrinkage Pore</i> Jumlah Cacat : High
	C		Jenis Cacat : a. <i>Microporosity</i> b. <i>Gas Pore</i> Jumlah Cacat : Medium
DOUBLE RISER 	A		Jenis Cacat : a. <i>Microporosity (gas plus shrinkage)</i> Jumlah Cacat : High
	B		Jenis Cacat : a. <i>Microporosity</i> b. <i>Gas Pore</i> c. <i>Shrinkage Pore</i> Jumlah Cacat : High
	C		Jenis Cacat : a. <i>Microporosity (gas plus shrinkage)</i> Jumlah Cacat : Medium

Berdasarkan data tabel 5.5, terdapat peningkatan jumlah cacat yang signifikan pada daerah potongan B spesimen *single riser* (penambah tunggal). Pada spesimen *double riser* (penambah ganda), daerah permukaan potongan A dan potongan B memiliki rata-rata jumlah cacat yang tinggi dibandingkan pada daerah permukaan potongan C.

5.1.3 Analisa Data Hasil Pengujian Porositas

Porositas merupakan salah satu cacat yang sering terjadi pada produk aluminium tuang. Terdapat dua penyebab utama timbulnya porositas pada paduan Al-Si (ADC12) yaitu adanya gas yang terjebak dan *shrinkage*. Pada pengecoran dengan menggunakan *styrofoam* sebagai pola hilang, gas atau udara yang terjebak tersebut dapat timbul dari hasil dekomposisi *styrofoam* yang terlarut pada logam cair. Dalam hal ini, ADC 12 memiliki karakteristik sensitif terhadap gas dan pengotor pada kondisi cair karena densitasnya yang rendah sehingga kemungkinan besar gas hasil dekomposisi tersebut akan menimbulkan cacat pada produk cor; hal ini diperparah dengan adanya *shrinkage* (penyusutan) pada saat proses pembekuan.

Secara teoritis, penempatan posisi *riser* (penambah) memiliki peran penting untuk mengurangi jumlah penyusutan pada daerah yang mendingin paling lambat. Namun dalam hal ini, penambah juga dapat berfungsi sebagai penjerat gas (*bubble gas trap*) yang timbul dari hasil dekomposisi *styrofoam* itu sendiri. Karena densitasnya yang lebih rendah daripada logam cair, maka secara praktis dapat dikatakan bahwa gelembung gas hasil dekomposisi *styrofoam* tersebut akan cenderung berada di bagian atas dari logam cair dan menuju ke daerah yang lebih tinggi. Dengan demikian, penempatan penambah yang tepat yaitu bilamana penambah tersebut dapat dikatakan mampu menjerat gas dan mampu menyuplai logam cair dengan baik untuk mengurangi cacat porositas pada produk cor. Selain itu, diameter penambah memegang peran penting untuk menjamin bahwa penambah tersebut memiliki ukuran dan volume yang cukup untuk suplai logam cair ke produk cor pada saat proses pembekuan agar cacat penyusutan dapat diminimalisir.

Dari uraian di atas, dapat dibuktikan dengan adanya data hasil pengujian porositas rata-rata secara kuantitatif dan kualitatif. Pada histogram persentase porositas rata-rata secara kuantitatif

untuk parameter 1 dan parameter 2 (gambar 5.1), terlihat bahwa parameter 1 (letak penambah) dan parameter 2 (diameter penambah) memiliki keterkaitan dalam persentase porositas yang dihasilkan. Berdasarkan analisis data menggunakan Two-Way ANOVA [data terlampir], perbedaan yang paling signifikan terdapat pada parameter 1 antara kedua level yaitu antara penambah atas (*top riser*) dengan penambah samping (*side riser*).

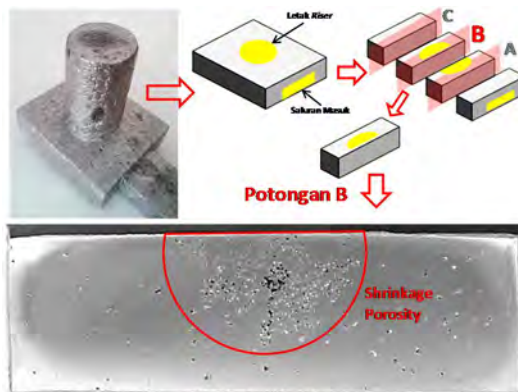
Dengan diameter penambah yang lebih besar maupun kecil, penambah samping memiliki persentase porositas yang lebih rendah daripada penambah atas yang dibuktikan pada tampilan histogram (gambar 5.1). Sedangkan pada parameter 2 yaitu variasi diameter penambah tidak terdapat perbedaan persentase porositas yang terlalu signifikan baik menggunakan sistem top riser maupun side riser. Berdasarkan tampilan pada histogram dapat dikatakan bahwa diameter yang lebih besar yaitu $\text{Ø}25$ mm mampu secara efektif mengurangi persentase porositas dibandingkan diameter $\text{Ø}22$ mm. Dengan demikian dapat diketahui bahwa dengan diameter penambah yang tepat, maka cacat penyusutan dapat diminimalisir pada saat proses pembekuan.

Berdasarkan pengamatan cacat secara kualitatif, penempatan penambah memiliki peran penting karena letak dari suatu penambah akan mempengaruhi banyak faktor seperti urutan proses pembekuan, laju perpindahan panas terutama pada daerah paling tebal dan daerah yang dapat tersuplai logam cair oleh penambah tersebut. Pada rata-rata jumlah porositas yang diamati secara kualitatif (tabel 5.3 dan 5.4), terlihat bahwa dengan menggunakan penambah atas berdiameter besar maupun kecil, maka jumlah cacat tertinggi akan terdistribusi pada daerah potongan B yaitu berada tepat di bawah penambah.

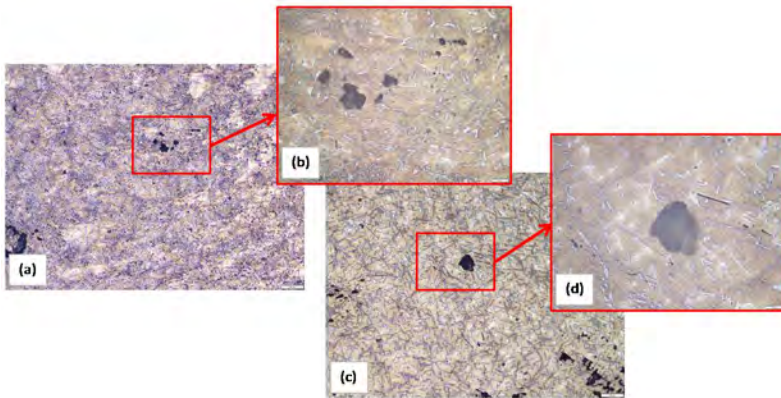
Berdasarkan ilustrasi pada gambar 4.7, penggunaan diameter penambah yang semakin besar pada sistem penambah atas akan menambah luas penampang penambah sehingga pada saat proses pembekuan, penambah akan membeku paling terakhir. Namun setelah dilakukan pemotongan spesimen pada percobaan dengan

sistem penambah atas berdiameter 25 mm, ditemukan cacat *microporosity*, cacat *gas pore* dan cacat *shrinkage pore* yang mengumpul di bawah penambah pada permukaan potongan B (daerah yang berada tepat di bawah penambah) seperti diilustrasikan pada gambar 5.3. Keadaan tersebut mengindikasikan bahwa penambah dengan diameter 25 mm mengalami proses solidifikasi lebih awal sehingga penambah tidak dapat mengkompensasi penyusutan yang terjadi pada daerah pada daerah yang membeku paling terakhir.

Untuk memastikan beberapa jenis cacat yang timbul dilakukan pengambilan foto mikroskopik dengan perbesaran lensa 50x dan 200x pada permukaan potongan yang mengalami cacat seperti ditunjukkan pada gambar 5.4. Terdapat beberapa cacat *microporosity* (gambar 5.4a dan 5.4b) yang berbentuk tak beraturan dan cacat *gas pore* (gambar 5.4c dan gambar 5.4d) yang cenderung berbentuk *round* (bulat). Cacat gelembung gas atau *gas pore* mendominasi dan tersebar di seluruh permukaan potongan spesimen. Sedangkan cacat *microporosity* dan cacat *shrinkage pore* cenderung mengumpul di suatu tempat yaitu di dekat saluran masuk maupun di dekat penambah.



Gambar 5.3 Permukaan potongan B yang mengalami cacat *microporosity* dan cacat *shrinkage* pada spesimen *top riser* dengan diameter *riser* 25 mm

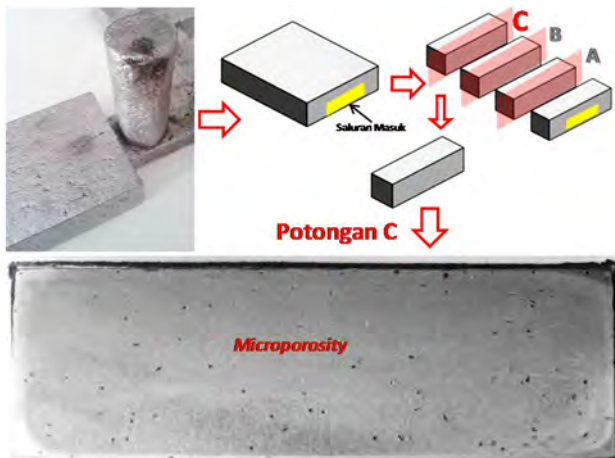


Gambar 5.4 Foto mikroskopik permukaan potongan spesimen yang mengalami cacat. Cacat *microporosity* dengan perbesaran lensa (a) 50x dan (b) 200x. Cacat *gas pore* dengan perbesaran lensa (c) 50x dan (d) 200x.

Sementara itu, dari hasil pengamatan cacat secara kualitatif membuktikan bahwa penggunaan penambah samping (*side riser*) lebih efektif daripada penambah atas (*top riser*). Tabel 5.3 dan 5.4 menunjukkan bahwa secara rata-rata jumlah cacat di permukaan potongan A dan B spesimen penambah samping lebih kecil daripada jumlah cacat di permukaan potongan A dan B spesimen penambah atas. Namun pada permukaan potongan C spesimen penambah samping cenderung menunjukkan jumlah cacat yang lebih tinggi dari pada permukaan potongan lain. Hal ini mengindikasikan bahwa sistem penambah samping (dengan diameter penambah berapa pun) yang diletakkan pada dekat saluran masuk (*ingate*) tidak mampu menjangkau hingga ujung cetakan atau jangkauan penambah (*Jp*). Seperti pada gambar 2.11, daerah yang paling jauh dari penambah memiliki *edge contribution* sebesar 2,5 dari tebal benda cor yang menimbulkan penambah tidak dapat menjangkau secara maksimal karena daerah tersebut membeku lebih cepat.

Bila ditinjau dari fungsinya sebagai *bubble gas trap*, pada permukaan potongan A dan B spesimen sistem penambah samping memiliki resiko cacat yang lebih rendah karena gas hasil dekomposisi pola *styrofoam* berhasil dijerat oleh penambah di dekat saluran masuk. Akan tetapi, gas hasil dekomposisi pola *styrofoam* yang tidak berhasil dijerat oleh penambah samping akan terlarut pada logam cair dan menimbulkan cacat coran yang cenderung terdistribusi di daerah ujung cetakan (potongan C).

Seperti ditunjukkan pada gambar 5.5, cacat yang terjadi pada potongan C spesimen sistem penambah samping didominasi oleh cacat *microporosity* yaitu cacat yang disebabkan oleh adanya gas hasil dekomposisi *styrofoam* yang terlarut pada logam cair dan adanya proses penyusutan logam pada saat proses pembekuan coran. Sesuai urutan pembekuan logam, daerah potongan C mendingin lebih awal daripada daerah lain. Karena jaraknya yang jauh dari jangkauan penambah (J_p) maka suplai logam cair menuju daerah tersebut sangatlah kurang sehingga cacat *microporosity* tidak terhindarkan.



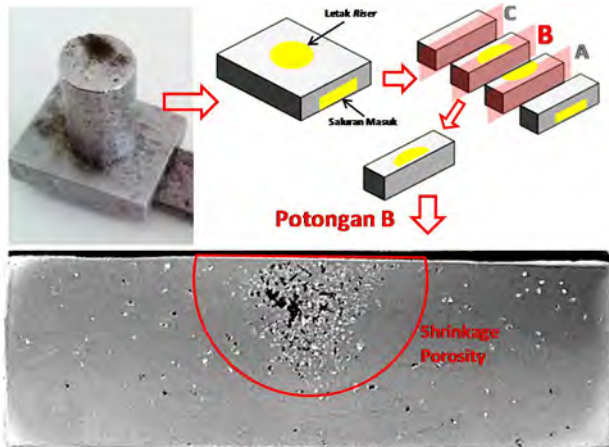
Gambar 5.5 Permukaan potongan C yang mengalami cacat *microporosity* pada spesimen *side riser* dengan diameter *riser* 22 mm

Pada parameter 3 yaitu variasi jumlah penambah dengan volume penambah yang sama yaitu 760 mm^3 , secara kuantitatif *single riser* terbukti lebih efektif mengurangi cacat porositas pada produk cor dibandingkan *double riser*. Hal ini menunjukkan bahwa jumlah penambah lebih dari satu tidak menjamin berkurangnya cacat porositas. Keadaan tersebut dapat disebabkan karena nilai modulus pada penambah ganda sama dengan nilai modulus benda cor sehingga penambah tidak mampu memenuhi fungsinya dalam menyuplai logam cair ke produk cor saat proses pembekuan.

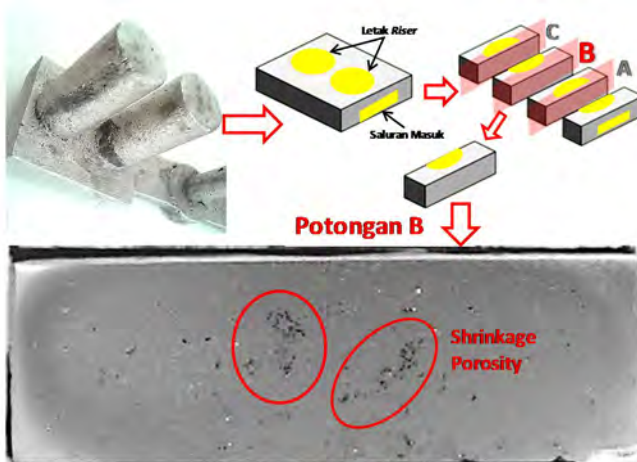
Berdasarkan data cacat secara kualitatif (tabel 5.5), cacat porositas yang dapat diamati pada tiap-tiap permukaan potongan menunjukkan bahwa jumlah cacat porositas tertinggi terdapat pada permukaan potongan B bila menggunakan satu penambah. Sedangkan dengan dua penambah, jumlah cacat porositas tertinggi terdistribusi pada potongan A selanjutnya semakin menurun jumlahnya pada potongan B dan potongan C. Dengan demikian dapat diketahui bahwa dengan menggunakan dua penambah atas, maka efisiensi penambah pertama dan kedua akan semakin berkurang dalam meminimalkan jumlah cacat. Cacat yang ditimbulkan dapat dipicu oleh karena luas penampang kedua *riser* yang terlalu kecil sehingga kecepatan pendinginan antara *riser* dan produk cor terjadi hampir bersamaan. Dalam keadaan tersebut kedua penambah tidak mampu memenuhi fungsinya dengan baik untuk menyuplai logam cair ke dalam produk cor.

Setelah dilakukan identifikasi cacat yang terjadi pada permukaan potongan produk cor parameter 3 (variasi jumlah penambah), ditemukan cacat *microporosity* yang mengumpul dan adanya *shrinkage cavity* pada daerah potongan B spesimen *single riser* dan pada spesimen *double riser* yang ditunjukkan pada gambar 5.6 dan gambar 5.7. Kedua spesimen tersebut memiliki perbedaan penyebab terjadinya cacat terutama cacat *shrinkage*. Pada spesimen *single riser*, *shrinkage cavity* terletak tepat pada bagian bawah penambah sehingga dapat dikatakan bahwa cacat

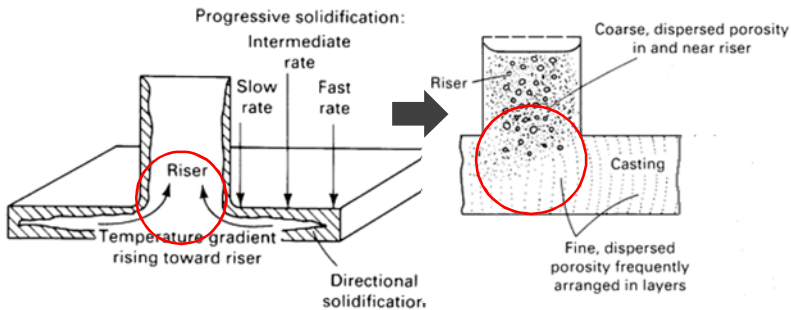
tersebut timbul karena penambah berdiameter 31 mm tersebut gagal mengkompensasi penyusutan.



Gambar 5.6 Permukaan potongan B yang mengalami cacat *microporosity* dan cacat *shrinkage* pada spesimen *single riser* dengan diameter riser 31 mm.



Gambar 5.7 Permukaan potongan B yang mengalami cacat *microporosity* dan cacat *shrinkage* spesimen *double riser* dengan diameter riser 22 mm.

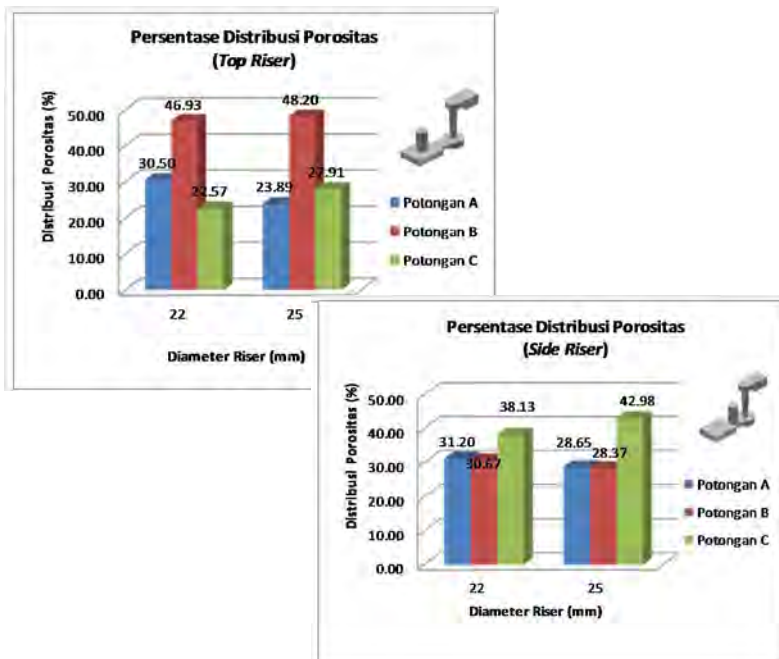


Gambar 5.8 Proses solidifikasi sesuai gradien temperatur pada pengecoran dengan menggunakan sistem penambah atas^[16]

Diameter penambah yang terlalu besar akan memperbesar luas penampang pada daerah *slow rate* seperti diilustrasikan pada lingkaran merah (gambar 5.8). Pada saat proses pembekuan terjadi penyusutan dalam jumlah besar pada produk cor dan pada penambah itu sendiri. Ketika penambah telah membeku sepenuhnya maka penambah tersebut sudah tidak dapat berfungsi sebagaimana mestinya sehingga pada daerah *slow rate* akan timbul rongga susut. Daerah *slow rate* tersebut dapat dikatakan daerah paling kritis karena merupakan daerah *intersection* antara penambah dan benda cor yang mengalami proses solidifikasi paling lambat. Selain itu daerah *slow rate* menjadi daerah pertemuan gas dalam jumlah kecil yang membentuk rongga susut ketika penambah tidak dapat bekerja optimal pada saat proses pembekuan. Untuk mengatasi penyusutan pada daerah *slow rate* dibutuhkan adanya leher penambah yang mampu memperkecil luas penampang pada daerah tersebut, sehingga proses solidifikasi paling lambat hanya terjadi pada daerah penambah saja.

Dari data cacat porositas secara kuantitatif dan kualitatif yang telah dihimpun, dapat diketahui bahwa dengan penggunaan penambah samping dengan diameter yang lebih besar (25 mm) memiliki keunggulan dalam mengurangi persentase cacat yang

timbul daripada sistem penambah atas dengan diameter besar maupun kecil. Artinya, jumlah cacat dan distribusi cacat yang terjadi sangatlah bergantung pada penempatan penambah terhadap arah solidifikasi dalam suatu sistem saluran pada pengecoran *lost-foam*. Hal tersebut diperkuat dengan data persentase rata-rata distribusi cacat yang ditampilkan pada gambar 5.9, yang mana pada spesimen dengan penambah atas (*top riser*) dengan diameter penambah 22 mm maupun 25 mm, memiliki cacat porositas yang terdistribusi pada potongan B sebesar lebih dari 46%, sedangkan pada spesimen dengan penambah samping (*side riser*) dengan diameter penambah 22 mm maupun 25 mm, memiliki cacat porositas yang terdistribusi lebih dari 38% pada potongan C.



Gambar 5.9 Histogram persentase distribusi cacat porositas pada tiap-tiap potongan spesimen parameter 1 dan parameter 2

5.2 Hasil Pengujian Kekerasan

5.2.1 Data Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan yang dilakukan untuk spesimen-spesimen yang memiliki luasan permukaan sempit (terbatasnya jarak antar indentasi karena memiliki banyak cacat porositas) menggunakan metode pengujian *Vickers Hardness* dengan indentor intan berbentuk piramida yang mempunyai sudut 136° . Seperti ilustrasi yang terdapat pada metodologi pengujian (gambar 3.24 dan 3.35), indentasi dilakukan pada permukaan potongan A, potongan B dan potongan C pada tiap-tiap spesimen untuk mengetahui rata-rata nilai kekerasan (VHN) dari dua replikasi spesimen. Rata-rata nilai kekerasan pada titik yang sama pada daerah *subsurface* dan *centerline* dibuat histogram untuk diamati perbedaan nilai kekerasannya yang dipengaruhi oleh masing-masing parameter yaitu variasi letak penambah, diameter penambah dan jumlah penambah.

Dari data hasil pengujian kekerasan [data terlampir], nilai kekerasan dapat dicari menggunakan tabel atau dapat dihitung dengan menggunakan persamaan [2.13]. Adapun contoh perhitungannya sebagai berikut :

$$VHN = \frac{1,854 \times P}{\bar{d}^2} \quad (2.13)^{[7]}$$

Diketahui data diagonal pijakan indentasi spesimen *top riser* dengan diameter 22 mm potongan A dengan lokasi titik indentasi (a) sebagai berikut :

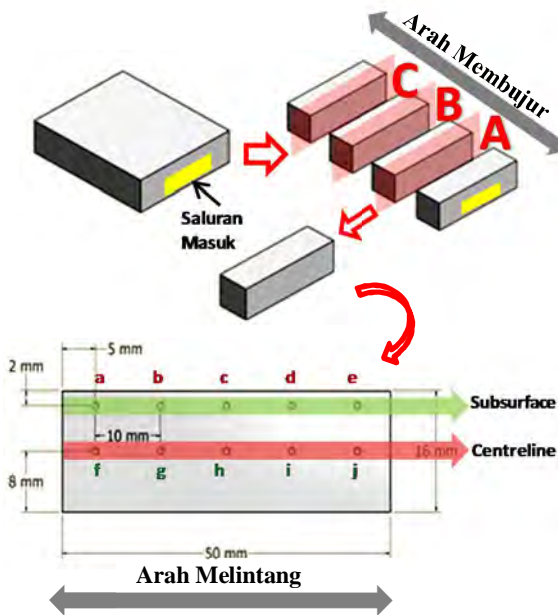
$$d_1 = 0,255 \quad d_2 = 0,250$$

$$\bar{d} = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{0,255 + 0,250}{2} = 0,2525$$

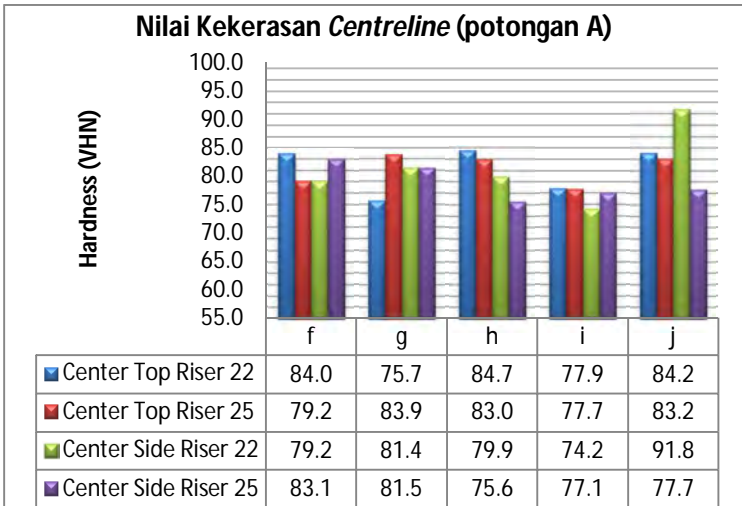
$$P = 29,41 \text{ N} = \frac{29,41 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2}{9,81 \text{ m/s}^2} = 2,99796 \text{ kg}$$

$$VHN = \frac{1,854 \times P}{\bar{d}^2} = \frac{1,854 \times 2,99796 \text{ kg}}{(0,2525)^2} = 87,18 \text{ HVN}$$

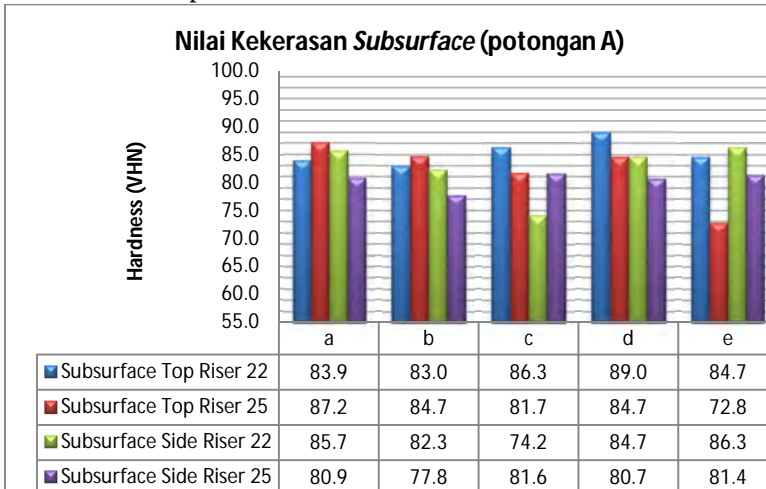
Berdasarkan data hasil perhitungan diatas, maka dapat dibuat histogram perbandingan nilai kekerasan dari spesimen parameter 1 (variasi letak penambah) dan parameter 2 (variasi diameter penambah). Histogram pada gambar 5.11 s.d. 5.16 berikut menampilkan perbandingan nilai kekerasan antar titik pengujian pada arah melintang (dalam satu permukaan potongan), sedangkan gambar 5.17 dan 5.18 menampilkan perbandingan nilai kekerasan arah membujur (antar permukaan potongan) untuk antar titik pengujian C (*subsurface*) dan antar titik pengujian H (*centreline*). Untuk memperjelas arah perbandingan nilai kekerasan tersebut, dibuat suatu ilustrasi pada gambar 5.10.



Gambar 5.10 Ilustrasi letak pengujian kekerasan yang diperbandingkan nilainya

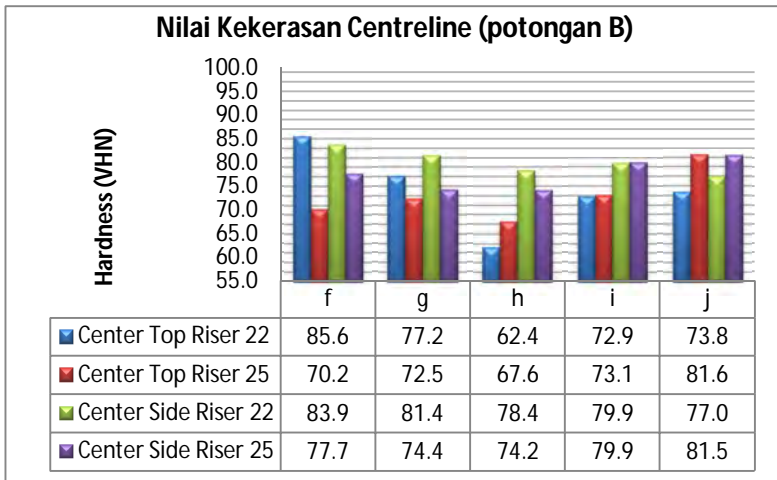


Gambar 5.11 Histogram perbandingan nilai kekerasan daerah *centreline* potongan A spesimen parameter 1 dan parameter 2

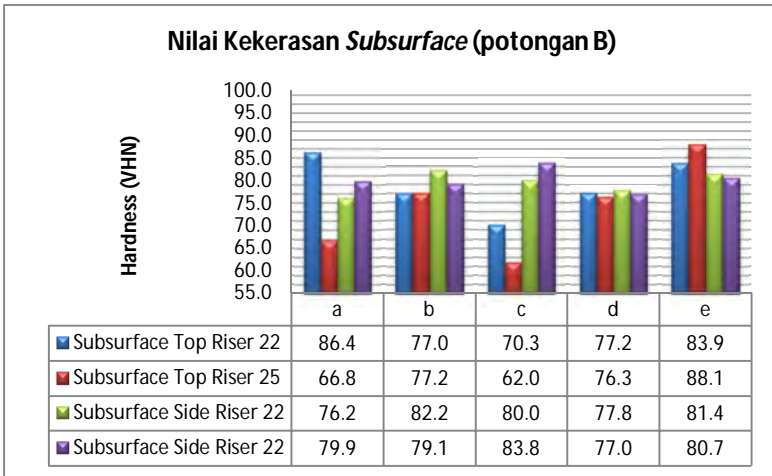


Gambar 5.12 Histogram perbandingan nilai kekerasan daerah *subsurface* potongan A spesimen parameter 1 dan parameter 2

Histogram pada gambar 5.11 dan gambar 5.12 menunjukkan perbandingan rata-rata nilai kekerasan yang diperoleh dari hasil pengujian kekerasan pada daerah *centreline* dan *subsurface* permukaan potongan A spesimen parameter 1 dan parameter 2. Secara keseluruhan perbandingan rata-rata nilai kekerasan pada histogram tersebut tidak menunjukkan hubungan yang jelas antara titik pengujian satu sama lain.

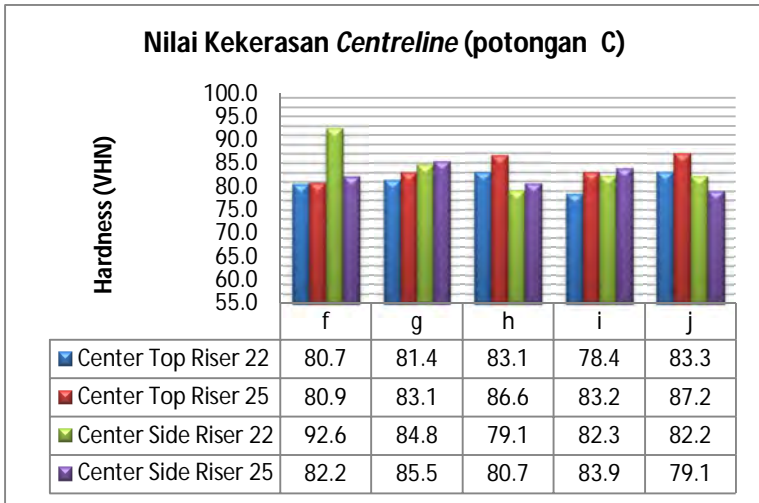


Gambar 5.13 Histogram perbandingan nilai kekerasan daerah *centreline* potongan B spesimen parameter 1 dan parameter 2

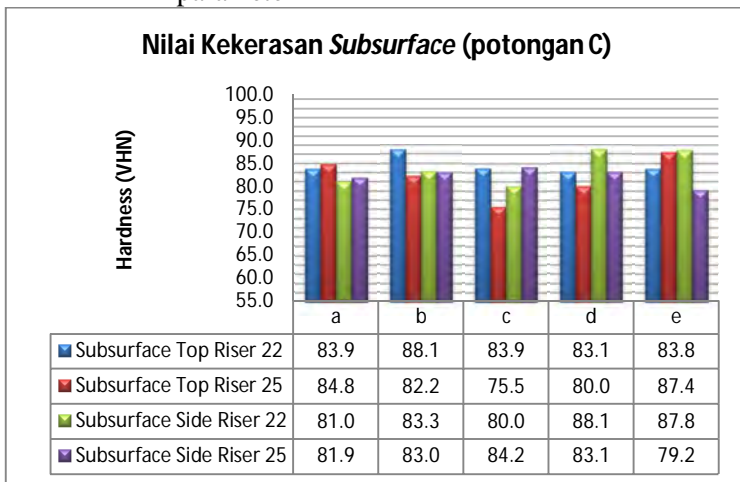


Gambar 5.14 Histogram perbandingan nilai kekerasan daerah *subsurface* potongan B spesimen parameter 1 dan parameter 2

Histogram pada gambar 5.13 dan gambar 5.14 menunjukkan perbandingan rata-rata nilai kekerasan yang diperoleh dari hasil pengujian kekerasan pada daerah *centreline* dan *subsurface* permukaan potongan B spesimen parameter 1 dan parameter 2. Data perbandingan nilai kekerasan spesimen *top riser* menunjukkan adanya penurunan nilai kekerasan yang signifikan pada titik H (pada gambar 5.13) dan titik C (pada gambar 5.14). Namun secara keseluruhan perbandingan rata-rata nilai kekerasan pada histogram tersebut tidak menunjukkan hubungan yang jelas antara titik pengujian satu sama lain.

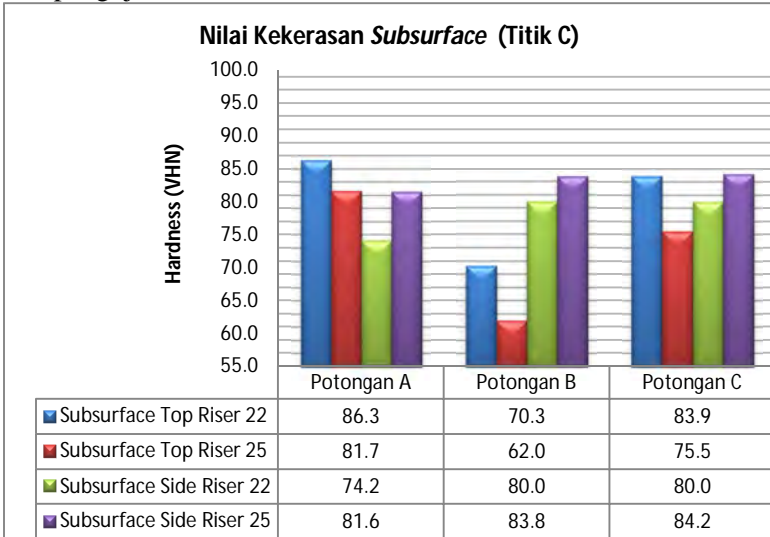


Gambar 5.15 Histogram perbandingan nilai kekerasan daerah *centreline* potongan C spesimen parameter 1 dan parameter 2

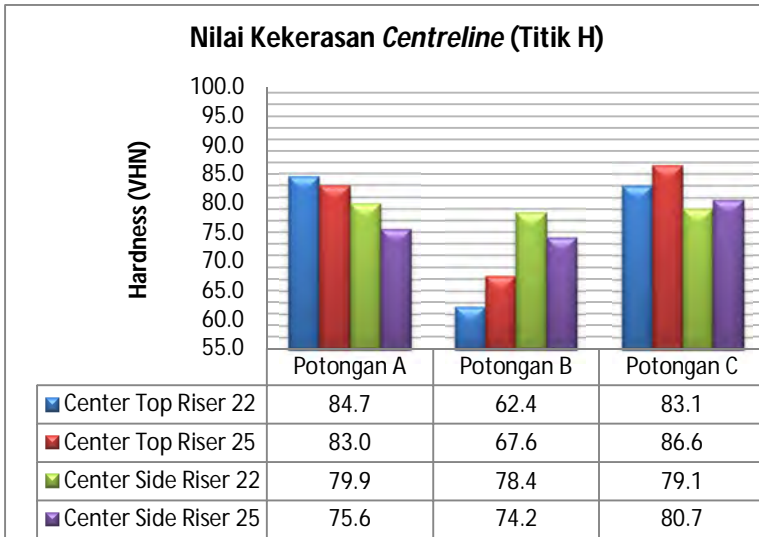


Gambar 5.16 Histogram perbandingan nilai kekerasan daerah *subsurface* potongan C spesimen parameter 1 dan parameter 2

Histogram pada gambar 5.15 dan gambar 5.16 menunjukkan perbandingan rata-rata nilai kekerasan yang diperoleh dari hasil pengujian kekerasan pada daerah *centreline* dan *subsurface* permukaan potongan C spesimen parameter 1 dan parameter 2. Secara keseluruhan perbandingan rata-rata nilai kekerasan pada histogram tersebut tidak menunjukkan hubungan yang jelas antara titik pengujian satu sama lain.



Gambar 5.17 Histogram perbandingan nilai kekerasan *subsurface* (antar titik C) spesimen parameter 1 dan parameter 2

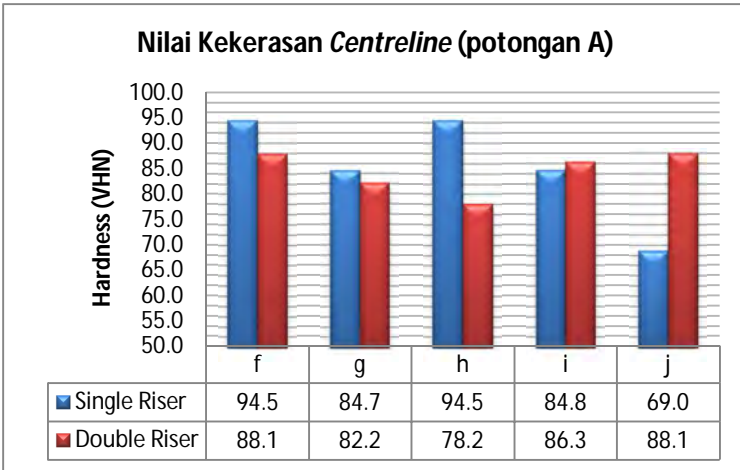


Gambar 5.18 Histogram perbandingan nilai kekerasan *centreline* (antar titik H) spesimen parameter 1 dan parameter 2

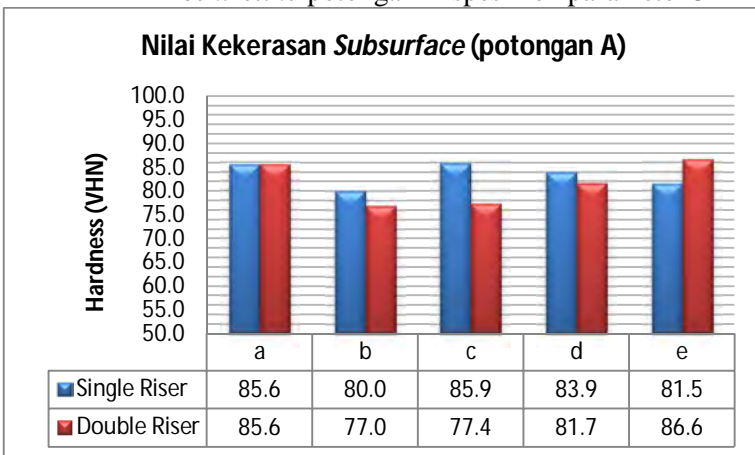
Histogram pada gambar 5.17 dan gambar 5.18 menunjukkan perbandingan rata-rata nilai kekerasan yang diperoleh dari hasil pengujian kekerasan pada titik H (*centreline*) dan titik C (*subsurface*) spesimen parameter 1 dan parameter 2. Data perbandingan nilai kekerasan antar permukaan potongan spesimen *top riser* menunjukkan adanya penurunan nilai kekerasan yang signifikan pada daerah potongan B yaitu sebesar 62 - 70 VHN pada titik C dan 62,4 – 67,6 VHN pada titik H. Sedangkan data perbandingan nilai kekerasan antar permukaan potongan spesimen *side riser* tidak menunjukkan hubungan perbandingan nilai kekerasan yang signifikan.

Untuk perbandingan nilai kekerasan dari spesimen parameter 3 (variasi jumlah penambah), ditampilkan histogram pada gambar 5.19 s.d. 5.24 untuk perbandingan nilai kekerasan arah melintang (dalam satu permukaan potongan). Sedangkan pada gambar 5.25 menunjukkan perbandingan nilai kekerasan antar titik pengujian C

dan pada gambar 5.26 menunjukkan perbandingan nilai kekerasan antar titik pengujian H untuk arah membujur (antar permukaan potongan).

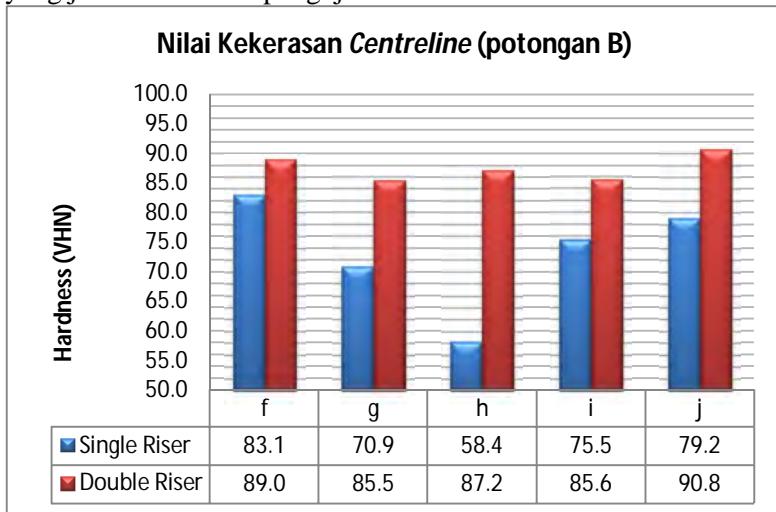


Gambar 5.19 Histogram perbandingan nilai kekerasan daerah *centreline* potongan A spesimen parameter 3



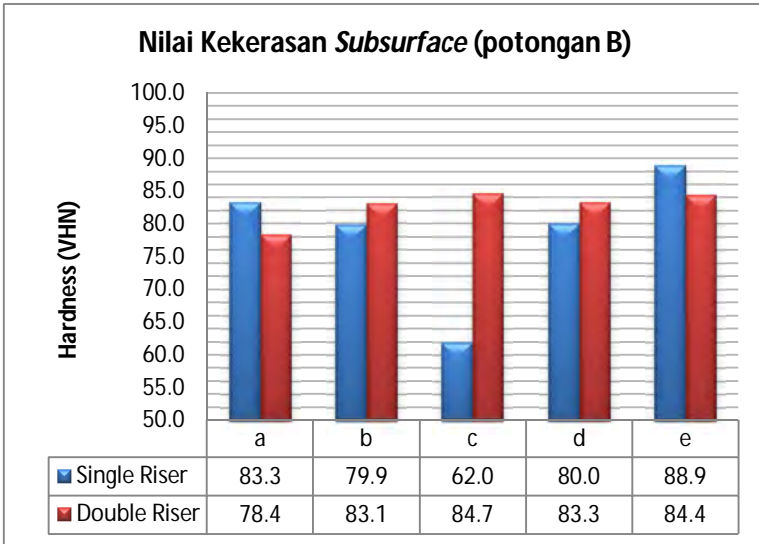
Gambar 5.20 Histogram perbandingan nilai kekerasan daerah *subsurface* potongan A spesimen parameter 3

Histogram pada gambar 5.19 dan gambar 5.20 menunjukkan perbandingan rata-rata nilai kekerasan yang diperoleh dari hasil pengujian kekerasan pada daerah *centreline* dan *subsurface* permukaan potongan A spesimen parameter 3 (variasi jumlah penambah). Secara keseluruhan perbandingan rata-rata nilai kekerasan pada histogram tersebut tidak menunjukkan hubungan yang jelas antara titik pengujian satu sama lain.

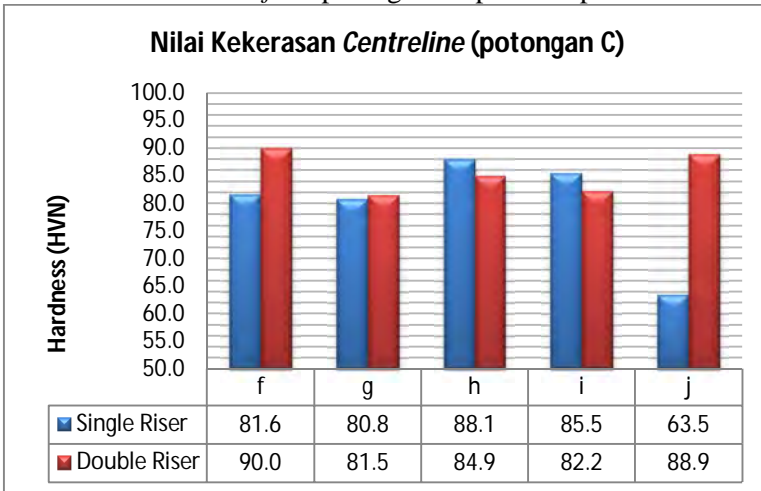


Gambar 5.21 Histogram perbandingan nilai kekerasan daerah *centreline* potongan B spesimen parameter 3

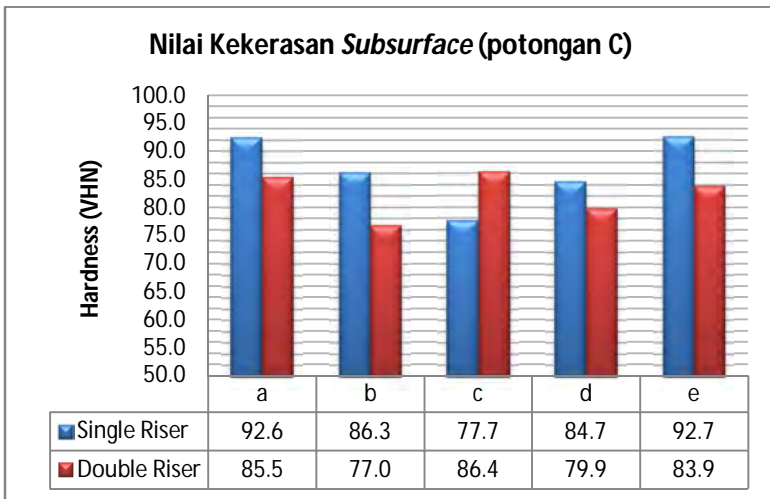
Histogram pada gambar 5.21 dan gambar 5.22 menunjukkan perbandingan rata-rata nilai kekerasan yang diperoleh dari hasil pengujian kekerasan pada daerah *centreline* dan *subsurface* permukaan potongan B spesimen parameter 3 (variasi jumlah penambah). Data perbandingan nilai kekerasan spesimen *single riser* menunjukkan adanya penurunan nilai kekerasan yang signifikan pada titik H sebesar 58,4 VHN (pada gambar 5.21) dan titik C sebesar 62 VHN (pada gambar 5.22), sedangkan pada spesimen *double riser* tidak ditemukan perbandingan rata-rata nilai kekerasan yang signifikan untuk menunjukkan hubungan yang jelas antara titik pengujian satu sama lain.



Gambar 5.22 Histogram perbandingan nilai kekerasan daerah *subsurface* potongan B spesimen parameter 3

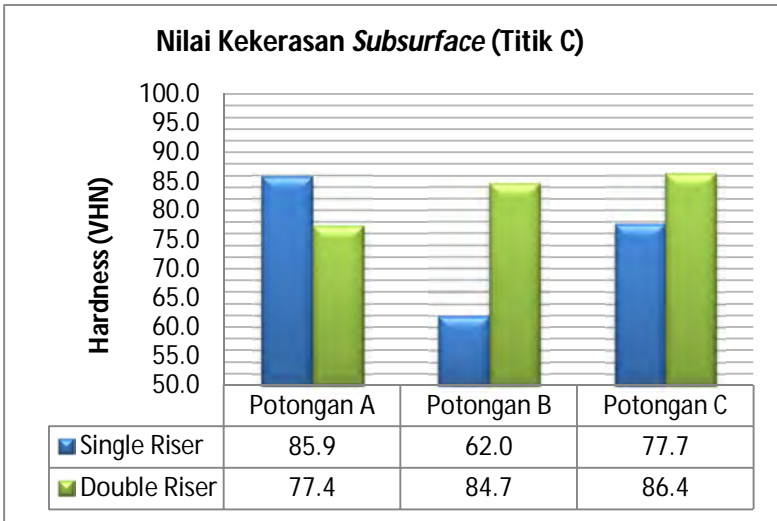


Gambar 5.23 Histogram perbandingan nilai kekerasan daerah *centreline* potongan C spesimen parameter 3

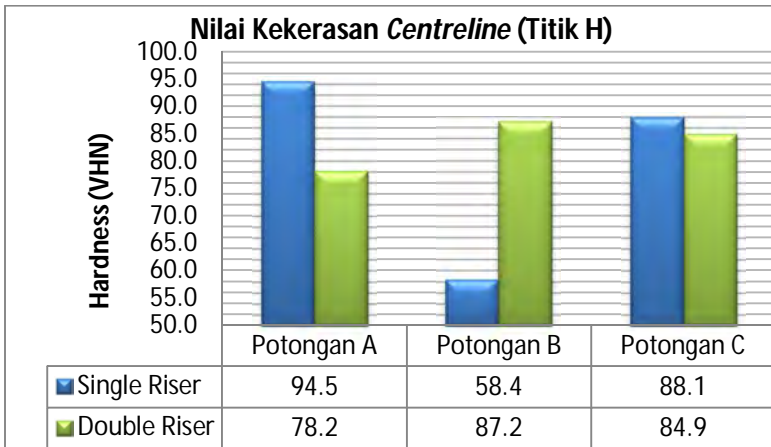


Gambar 5.24 Histogram perbandingan nilai kekerasan daerah *subsurface* potongan C spesimen parameter 3

Histogram pada gambar 5.23 dan gambar 5.24 menunjukkan perbandingan rata-rata nilai kekerasan yang diperoleh dari hasil pengujian kekerasan pada daerah *centreline* dan *subsurface* permukaan potongan C spesimen parameter 3 (variasi jumlah penambah). Secara keseluruhan perbandingan rata-rata nilai kekerasan pada histogram tersebut tidak menunjukkan hubungan yang jelas antara titik pengujian satu sama lain.



Gambar 5.25 Histogram perbandingan nilai kekerasan *subsurface* (antar titik C) spesimen parameter 3



Gambar 5.26 Histogram perbandingan nilai kekerasan *centreline* (antar titik H) spesimen parameter 3

Histogram pada gambar 5.25 dan gambar 5.26 menunjukkan perbandingan rata-rata nilai kekerasan yang diperoleh dari hasil pengujian kekerasan pada titik C (*subsurface*) dan titik H (*centreline*) spesimen parameter 3 (variasi jumlah penambah). Data perbandingan nilai kekerasan antar permukaan potongan spesimen *single riser* menunjukkan adanya penurunan nilai kekerasan yang signifikan pada daerah potongan B yaitu sebesar 62 VHN pada titik C dan sebesar 58,4 VHN pada titik H. Sedangkan data perbandingan nilai kekerasan antar permukaan potongan spesimen *double riser* tidak menunjukkan hubungan perbandingan nilai kekerasan yang dapat diamati.

5.2.2 Analisa Data Hasil Pengujian Kekerasan

Nilai kekerasan suatu material merepresentasikan ketahanan suatu material terhadap deformasi plastis karena pembebanan setempat pada permukaan spesimen. Dari hasil pengujian kekerasan pada arah melintang maupun membujur, pengaruh parameter 1 yaitu perbedaan letak penambah dan parameter 2 yaitu perbedaan diameter penambah terhadap nilai kekerasan material pada penelitian ini tidak dapat diambil suatu hubungan tertentu secara jelas.

Bila ditinjau pada potongan melintang (antar titik pengujian pada permukaan potongan yang sama) maupun membujur (antar permukaan potongan dengan letak titik pengujian yang sama), nampak adanya fenomena pada potongan B spesimen *top riser* (penambah atas) yaitu tepatnya pada titik C (*subsurface*) dan titik H (*centreline*) yang memiliki nilai kekerasan lebih rendah daripada titik uji yang lain. Hal tersebut disebabkan karena titik C dan titik H pada potongan B merupakan daerah yang berada tepat di bawah penambah atas. Daerah tepat di bawah penambah merupakan daerah yang paling kritis karena memiliki perpindahan panas yang paling lambat dan daerah tersebut memiliki resiko penyusutan paling tinggi bila mana suatu penambah sudah tidak

mampu menyuplai logam cair lagi karena proses pembekuan yang terjadi pada penambah itu sendiri.

Secara keseluruhan, distribusi nilai kekerasan yang paling merata pada satu spesimen terdapat pada spesimen dengan sistem penambah samping (*side riser*) dengan diameter penambah 22 mm maupun diameter penambah 25 mm. Penjelasan tersebut diperkuat oleh histogram yang ditunjukkan pada gambar 5.17 dan gambar 5.18. Pada histogram tersebut, nilai kekerasan antar permukaan potongan spesimen dengan penambah samping tidak menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan. Artinya, produk cor dengan sistem penambah samping memiliki proses urutan pendinginan yang sesuai sehingga distribusi nilai kekerasan yang lebih baik dan merata dapat diperoleh daripada penggunaan sistem penambah atas.

Pada parameter 3 yaitu perbedaan jumlah penambah menggunakan sistem penambah atas dengan *single riser* (penambah tunggal) maupun *double riser* (penambah ganda) menunjukkan histogram perbedaan nilai kekerasan yang tidak dapat diambil hubungan yang jelas pada tiap-tiap permukaan uji. Namun bila ditinjau dari perbedaan nilai kekerasan pada potongan B (gambar 5.21 dan 5.22), nampak bahwa pada bagian tengah potongan spesimen *single riser* yaitu pada titik uji C (daerah *subsurface*) dan titik uji H (daerah *centreline*) mengalami penurunan nilai kekerasan yang amat tajam dibandingkan titik uji lain pada daerah yang sama. Sedangkan berdasarkan histogram gambar 5.25 dan 5.26, spesimen *double riser* menunjukkan distribusi kekerasan yang lebih merata daripada spesimen *single riser*. Dengan volume penambah yang sama, namun memiliki jumlah riser yang berbeda akan meminimalisir kemungkinan terjadinya perbedaan kecepatan pendinginan pada suatu produk cor sehingga perbedaan nilai kekerasan yang signifikan dapat dihindari pada suatu produk cor.

Fenomena penurunan nilai kekerasan pada daerah di bawah penambah tunggal berdiameter 31 mm tersebut sama halnya

dengan fenomena yang terjadi pada parameter 1 dengan sistem penambah atas berdiameter 22 mm dan 25 mm. Keadaan tersebut diperparah oleh volume penambah yang terlalu besar untuk menyuplai logam cair, sehingga hal tersebut membuat daerah dibawah penambah terlambat mendingin dan resiko cacat penyusutan akan timbul pada bagian tersebut. Pada saat bersamaan nilai kekerasan pada daerah dibawah penambah akan mengalami penurunan karena kemungkinan terbentuknya struktur *columnar* pada daerah tersebut.

Seperti yang telah dijelaskan pada landasan teori (gambar 2.7), struktur yang akan terbentuk pada aluminium tuang sangatlah bergantung pada temperatur penuangan dan jenis cetakan yang memungkinkan kecepatan pendinginan yang lebih lambat untuk memberikan kesempatan terbentuknya struktur *columnar*. Artinya, bila suatu daerah mengalami pendinginan yang lebih lambat maka peluang terbentuknya struktur *columnar* lebih besar dan akan menimbulkan penurunan nilai kekerasan pada daerah tersebut. Fenomena tersebut hampir terjadi pada seluruh spesimen yang menggunakan penambah tunggal dengan sistem penambah atas.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

1. Setelah dilakukan analisa dan pembahasan data cacat porositas secara kuantitatif dan kualitatif dengan variasi letak penambah, diameter penambah dan jumlah penambah maka dapat disimpulkan bahwa :
 - a. Cacat yang dihasilkan dari pengecoran *lost foam* didominasi oleh cacat mikroporositas dan cacat *gas pore*. Cacat porositas didominasi oleh bentuk *round* (bulat), yang mengindikasikan bahwa mikroporositas yang terjadi lebih banyak disebabkan oleh *gas pore* yaitu gas hasil dekomposisi *styrofoam*.
 - b. Letak penambah menjadi faktor dominan dalam mengurangi jumlah cacat yang terjadi pada produk cor karena selain sebagai penyuplai logam cair untuk mengkompensasi penyusutan, penambah yang diletakkan didekat *ingate* juga dapat berfungsi sebagai penjerat gas (*bubble gas trap*).
 - c. Selain mempertimbangkan rasio modulus cor, dalam menentukan ukuran diameter penambah pada sistem penambah atas (*top riser*) harus mempertimbangkan rasio antara tebal benda cor dengan diameter penambah. Selain itu, sistem penambah atas membutuhkan adanya leher penambah untuk mengantisipasi proses penyusutan pada daerah *slow rate*.
 - d. Pada parameter jumlah penambah, secara kuantitatif penambah tunggal terbukti lebih efektif mengurangi cacat porositas pada produk cor dibandingkan penambah ganda.

Namun secara kualitatif, sistem penambah tunggal memiliki cacat yang cenderung terdistribusi tepat di bawah penambah (*riser*) dalam bentuk *shrinkage cavity*, yang menunjukkan kegagalan sistem penambah tersebut dalam mengantisipasi penyusutan.

- e. Dari hasil pengujian cacat porositas baik secara kuantitatif maupun kualitatif, sistem penambah samping dengan diameter 25 mm memiliki persentase porositas paling sedikit dibanding sistem penambah lainnya.
2. Dari hasil analisa dan pembahasan data pengujian kekerasan pada produk pengecoran *lost-foam* dengan variasi letak penambah, diameter penambah dan jumlah penambah maka dapat disimpulkan bahwa :
 - a. Beberapa hasil pengujian cenderung tidak menunjukkan adanya hubungan yang jelas antara nilai kekerasan dengan parameter yang diuji.
 - b. Pada parameter letak penambah, tampak bahwa produk cor dengan sistem penambah samping memiliki nilai kekerasan yang tidak jauh berbeda dan cenderung terdistribusi merata pada seluruh permukaan potongan baik daerah *subsurface* maupun *centerline*. Sedangkan dengan menggunakan sistem penambah atas, produk cor memiliki nilai kekerasan yang lebih rendah pada daerah tepat di bawah penambah (potongan B) dibandingkan daerah lainnya.

5.2. Saran

Untuk pengembangan penelitian lebih lanjut tentang metode *lost-foam casting*, maka disarankan sebagai berikut ;

1. Diperlukan adanya leher penambah dengan rasio yang sesuai dengan tebal benda cor agar suatu sistem penambah dapat berfungsi dengan baik.
2. Agar menghasilkan bentuk dan ukuran spesimen yang seragam dan menghasilkan permukaan hasil

coran halus dan merata, proses pembuatan pola harus teliti dan menggunakan alat bantu yang dapat memudahkan proses pemotongan.

3. Perawatan dan kalibrasi pada alat uji *hardness* perlu dilakukan, agar dalam penelitian mendapatkan data yang lebih baik.
4. Untuk mendapatkan data nilai kekerasan yang lebih valid, perlu dilakukan replikasi sebanyak-banyaknya pada masing-masing percobaan.
5. Pengecoran dengan metode *lost-foam* sebaiknya tidak digunakan untuk pembuatan benda-benda *mechanical* untuk menghindari terjadinya kegagalan akibat adanya cacat porositas pada produk yang tak terhindarkan.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Sutiyoko., 2013. “*Metode Pengecoran Lost foam Menjawab Tantangan Dunia Industri Pengecoran Logam (PDF) Jurnal Foundry.*” Klaten. Politeknik Manufaktur Ceper.
- [2]. Sutiyoko., Suyitno., 2012. “*Riser Dalam Pengecoran Besi Cor Kelabu Dengan Metode Lost foam Casting.*” Politeknosains Edisi Khusus Dies Natalis.
- [3]. Tjitro, Soejono., 2001. “*Pengaruh Bentuk Riser Terhadap Cacat Penyusutan Produk Cor Aluminium Cetakan Pasir.*” Jurusan Teknik Mesin – Universitas Kristen Petra.
- [4]. Tjitro, Soejono., Setyati H, Lily., 2002. “*Pengaruh Modulus Cor Riser Terhadap Cacat Penyusutan Pada Produk Paduan Al-Si.*” Jurusan Teknik Mesin – Universitas Kristen Petra.
- [5]. Basuki, Lulus., 2008. “*Fading Penghalus Butir Pada Aluminium Paduan AC4B.*” Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- [6]. Surdia, Tata., Chijiwa, Kenji., 2006. “*Teknik Pengecoran Logam.*” PT Pradnya Paramita. Jakarta.
- [7]. Solechan., 2010. “*Studi Pembuatan Prototipe Material Piston Menggunakan Limbah Piston Bekas Dan ADC 12 Yang Diperkuat Dengan Insert ST 60 Dan Besi Cor.*” Tesis Teknik Mesin Universitas Diponegoro Semarang.
- [8]. Data sheet PT. Global Metalindo Asia
- [9]. NADCA A3103 Standart., 2003. “*Alloy data: Aluminium Die Casting Alloy Composition.*”
- [10]. Ashar, L.H., 2011. “*Analisa Pengaruh Model Sistem Saluran Dengan Pola Styrofoam Terhadap Sifat Fisis Dan Kekerasan Produk Puli Pada Proses Pengecoran Aluminium Daur Ulang.*” Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang.

- [11]. Purwanto, H., 2009. "*Pengaruh Jarak Dari Tepi Cetakan Terhadap Kekuatan Tarik dan Kekerasan Pada Coran Aluminium.*" Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang.
- [12]. Fleemings, M.C., 1974, "*Solidification Processing.*" Mc. Graw-Hill Book Company, pp. 134-135.
- [13]. Surdia, T., Saito, S., 1992, "*Pengetahuan Bahan Teknik.*" P.T. Pradnya Paramita, Jakarta, pp. 129-142. ",
- [14]. Abdillah, F., 2010. "*Perlakuan Panas Paduan AL-Si Prototipe Piston Berbasis Material Piston Bekas.*" Thesis S-2 Teknik Mesin Universitas Diponegoro Semarang, 1
- [15]. CSIRO Light Metals Flagship Nasional Research. "*Technical data Sheet for Heat Treated Alluminium High Pressure Die Castings.*" Private bag 33 clayton South MDC, Victoria 3169, Australia, Roger.Lumley@csiro.au.
- [16]. ASM Handbook, 1992. "*Casting.*" Volume 15, ASM International.
- [17]. ASM Handbook, 1992. "*Sifates and Selection: Nonferrous Alloys and Special Purpose Materials.*" Volume 2, ASM International.
- [18]. Borelli, E. 1999. "*Conservation of Architectural Heritage, Historic Structures and Materials: Porosity.*" Roma: World Heritage Fund.
- [19]. B, Peter., 2001. "*Foundry Technology 2nd Edition.*" Butterworth Heinemann
- [20]. A, Abrianto., ST., MT, 2010. "*Teknik Pengecoran dan Peleburan Logam.*" Modul Praktikum Teknik Mesin Universitas Jendral Achmad Yani Bandung.

LAMPIRAN A

Data Hasil Pengujian Persentase Porositas Secara Kuantitatif

Tabel A.1 Hasil Pengujian Persentase Porositas Secara Kuantitatif untuk Parameter 1 dan Parameter 2

Spesimen	Diameter Riser (mm)	Percobaan ke-	Massa H ₂ O (gram)	Massa H ₂ O + Produk (gram)	Massa Produk Kering, M (gram)	Volume total, Vt (cm ³)	Volume Produk, Vm (cm ³)	Persentase Porositas
TOP RISER (Penambah Atas)	22	I	408.60	454.00	120.60	45.40	44.01	3.05%
		II	397.70	443.30	119.90	45.60	43.76	4.04%
	25	I	407.60	452.30	119.00	44.70	43.43	2.84%
		II	397.00	442.60	120.60	45.60	44.01	3.48%
SIDE RISER (Penambah Samping)	22	I	407.00	452.80	122.60	45.80	44.74	2.30%
		II	396.50	443.40	124.90	46.90	45.58	2.81%
	25	I	406.70	452.60	123.10	45.90	44.93	2.12%
		II	396.20	442.10	123.10	45.90	44.93	2.12%

Tabel A.2 Data hasil uji *Two-Way ANOVA* dengan 2 replikasi ($\alpha = 5\%$) untuk parameter 1 dan parameter 2

Anova: Two-Factor With Replication

SUMMARY	TOP RISER	SIDE RISER	Total
22			
Count	2	2	4
Sum	0.070885536	0.05110624	0.121991777
Average	0.035442768	0.02555312	0.030497944
Variance	4.85569E-05	1.25784E-05	5.29801E-05
25			
Count	2	2	4
Sum	0.063164512	0.042396196	0.105560709
Average	0.031582256	0.021198098	0.026390177
Variance	2.02925E-05	0	4.27078E-05
Total			
Count	4	4	
Sum	0.134050049	0.093502436	
Average	0.033512512	0.023375609	
Variance	2.79177E-05	1.05149E-05	

Letak Riser Diameter Riser (mm)	TOP RISER	SIDE RISER
	22	3.05%
25	4.04%	2.81%
	2.84%	2.12%
	3.48%	2.12%

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Sample	3.37475E-05	1	3.37475E-05	1.657787113	0.267347957	7.708647421
Columns	0.000205514	1	0.000205514	10.09549782	0.033620619	7.708647421
Interaction	1.2227E-07	1	1.2227E-07	0.006006306	0.941947346	7.708647421
Within	8.14278E-05	4	2.0357E-05			
Total	0.000320811	7				

Tabel A.3 Hasil Pengujian Persentase Porositas Secara Kuantitatif untuk Parameter 3

Spesimen	Diameter Riser (mm)	Percobaan ke-	Massa H ₂ O (gram)	Massa H ₂ O + Produk (gram)	Massa Produk Kering, M (gram)	Volume total, Vt (cm ³)	Volume Produk, Vm (cm ³)	Persentase Porositas
SINGLE RISER (Penambah Tunggal)	31	I	395.80	441.80	122.20	46.00	44.60	3.05%
		II	395.30	442.80	126.40	47.50	46.13	2.88%
DOUBLE RISER (Penambah Ganda)	22	I	394.90	441.20	121.70	46.30	44.42	4.07%
		II	394.40	441.20	123.60	46.80	45.11	3.61%

Tabel A.4 Data hasil uji *One-Way ANOVA* dengan 2 replikasi ($\alpha = 5\%$) untuk parameter 3

Anova: Single Factor

SUMMARY

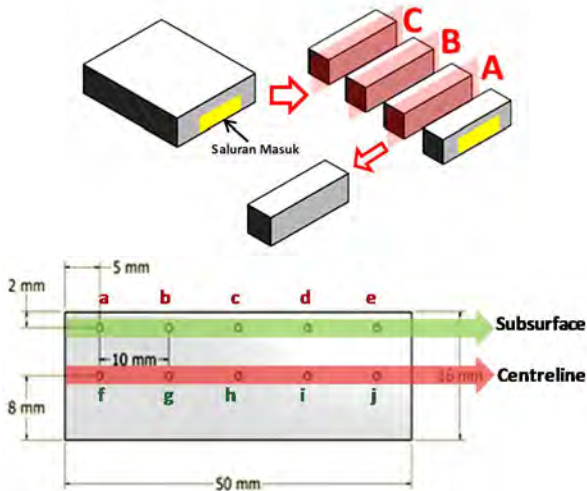
Groups	Count	Sum	Average	Variance
SINGLE RISER	2	0.059279427	0.029639713	1.36721E-06
DOUBLE RISER	2	0.076811912	0.038405956	1.04326E-05

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	7.6847E-05	1	7.6847E-05	13.02506993	0.068931185	18.51282051
Within Groups	1.17999E-05	2	5.89993E-06			
Total	8.86469E-05	3				

Data Hasil Pengujian Kekerasan

Ilustrasi Titik Pengujian :



Gambar A.1 Ilustrasi titik pengujian kekerasan *vickers*


Rumus Perhitungan :

$$\text{VHN} = \frac{1,854 \times P}{d^2} \quad (2.13)^{[7]}$$


Beban Penakanan :

$$P = 29,41 \text{ N} = \frac{29,41 \text{ kg.m/s}^2}{9,81 \text{ m/s}^2} = 2,99796 \text{ kg}$$

Tabel A.5 Hasil Pengujian Kekerasan Vickers untuk Parameter 1 dan Parameter 2

Spesimen	Potongan	Titik Pengujian	Diameter Riser						
			22 mm			25 mm			
			Percobaan Ke-		Rata-rata (VHN)	Percobaan Ke-		Rata-rata (VHN)	
			I	II		I	II		
TOP RISER 	A	Subsurface	a	87.18	80.66	83.92	87.18	87.18	87.18
			b	83.83	82.22	83.02	87.18	82.22	84.70
			c	87.18	85.48	86.33	76.24	87.18	81.71
			d	90.74	87.18	88.96	85.48	83.83	84.65
			e	85.48	83.83	84.65	61.76	83.83	72.79
		Center	f	88.93	79.15	84.04	76.24	82.22	79.23
			g	79.15	72.18	75.66	82.22	85.48	83.85
			h	85.48	83.83	84.65	92.60	73.50	83.05
			i	82.22	73.50	77.86	77.68	77.68	77.68
			j	90.74	77.68	84.21	87.18	79.15	83.16
	B	Subsurface	a	83.83	88.93	86.38	48.08	85.48	66.78
			b	74.85	79.15	77.00	82.22	72.18	77.20
			c	70.90	69.65	70.27	57.84	66.09	61.96
			d	82.22	72.18	77.20	73.50	79.15	76.32
			e	87.18	80.66	83.92	88.93	87.18	88.06
		Center	f	88.93	82.22	85.58	62.80	77.68	70.24
			g	82.22	72.18	77.20	77.68	67.24	72.46
			h	64.97	59.75	62.36	56.02	79.15	67.58
			i	74.85	70.90	72.87	68.43	77.68	73.05
			j	63.87	83.83	73.85	77.68	85.48	81.58
	C	Subsurface	a	82.22	85.48	83.85	88.93	80.66	84.80
			b	88.93	87.18	88.06	80.66	83.83	82.24
			c	80.66	87.18	83.92	67.24	83.83	75.54
			d	85.48	80.66	83.07	76.24	83.83	80.04
			e	83.83	83.83	83.83	92.60	82.22	87.41
		Center	f	82.22	79.15	80.69	85.48	76.24	80.86
			g	80.66	82.22	81.44	85.48	80.66	83.07
			h	85.48	80.66	83.07	92.60	80.66	86.63
			i	77.68	79.15	78.41	87.18	79.15	83.16
			j	88.93	77.68	83.30	87.18	87.18	87.18

Tabel A.6 Hasil Pengujian Kekerasan Vickers untuk Parameter 1 dan Parameter 2 (Lanjutan)

Spesimen	Potongan	Titik Pengujian	Diameter Riser						
			22 mm			25 mm			
			Percobaan Ke-		Rata-rata	Percobaan Ke-		Rata-rata	
			I	II	(VHN)	I	II	(VHN)	
SIDE RISER 	A	Subsurface	a	90.74	80.66	85.70	85.48	76.24	80.86
			b	85.48	79.15	82.31	80.66	74.85	77.76
			c	72.18	76.24	74.21	85.48	77.68	81.58
			d	83.83	85.48	84.65	82.22	79.15	80.69
			e	85.48	87.18	86.33	80.66	82.22	81.44
		Center	f	77.68	80.66	79.17	85.48	80.66	83.07
			g	82.22	80.66	81.44	79.15	83.83	81.49
			h	77.68	82.22	79.95	73.50	77.68	75.59
			i	76.24	72.18	74.21	73.50	80.66	77.08
			j	87.18	96.50	91.84	76.24	79.15	77.70
	B	Subsurface	a	76.24	76.24	76.24	82.22	77.68	79.95
			b	83.83	80.66	82.24	79.15	79.15	79.15
			c	76.24	83.83	80.04	83.83	83.83	83.83
			d	80.66	74.85	77.76	77.68	76.24	76.96
			e	82.22	80.66	81.44	79.15	82.22	80.69
		Center	f	82.22	85.48	83.85	79.15	76.24	77.70
			g	80.66	82.22	81.44	79.15	69.65	74.40
			h	79.15	77.68	78.41	74.85	73.50	74.17
			i	79.15	80.66	79.91	82.22	77.68	79.95
			j	74.85	79.15	77.00	79.15	83.83	81.49
	C	Subsurface	a	74.85	87.18	81.02	74.85	88.93	81.89
			b	77.68	88.93	83.30	82.22	83.83	83.02
			c	76.24	83.83	80.04	77.68	90.74	84.21
			d	87.18	88.93	88.06	85.48	80.66	83.07
e			79.15	96.50	87.82	82.22	76.24	79.23	
Center		f	92.60	92.60	92.60	82.22	82.22	82.22	
		g	88.93	80.66	84.80	83.83	87.18	85.50	
		h	79.15	79.15	79.15	80.66	80.66	80.66	
		i	79.15	85.48	82.31	87.18	80.66	83.92	
		j	80.66	83.83	82.24	79.15	79.15	79.15	

Tabel A.7 Hasil Pengujian Kekerasan Vickers untuk Parameter 3

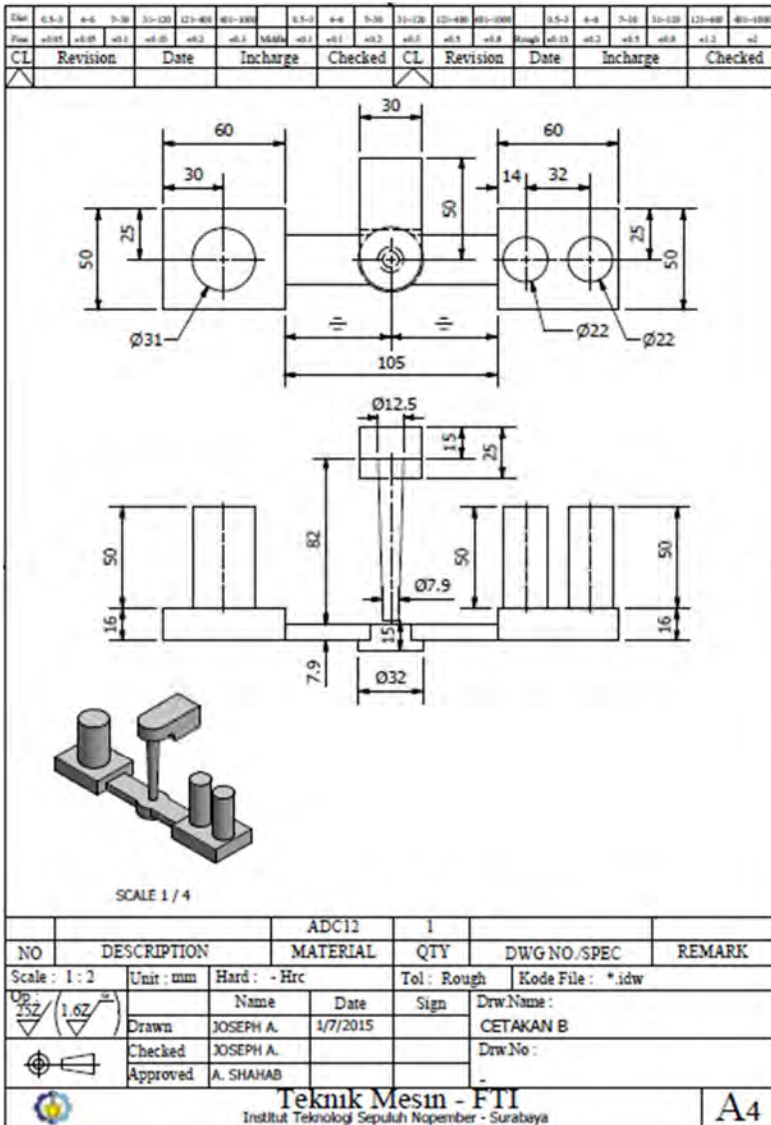
Potongan	Titik Pengujian		Single Riser			Double Riser		
			Percobaan Ke-		Rata-Rata (VHN)	Percobaan Ke-		Rata-Rata (VHN)
			I	II		I	II	
A	Subsurface	a	82.22	88.93	85.58	88.93	82.22	85.58
		b	76.24	83.83	80.04	74.85	79.15	77.00
		c	79.15	92.60	85.87	70.90	83.83	77.36
		d	80.66	87.18	83.92	76.24	87.18	81.71
		e	79.15	83.83	81.49	80.66	92.60	86.63
	Center	f	92.60	96.50	94.55	87.18	88.93	88.06
		g	83.83	85.48	84.65	83.83	80.66	82.24
		h	96.50	92.60	94.55	70.90	85.48	78.19
		i	80.66	88.93	84.80	87.18	85.48	86.33
		j	76.24	61.76	69.00	88.93	87.18	88.06
B	Subsurface	a	88.93	77.68	83.30	66.09	90.74	78.41
		b	80.66	79.15	79.91	80.66	85.48	83.07
		c	66.09	57.84	61.96	85.48	83.83	84.65
		d	76.24	83.83	80.04	77.68	88.93	83.30
		e	88.93	88.93	88.93	76.24	92.60	84.42
	Center	f	85.48	80.66	83.07	85.48	92.60	89.04
		g	72.18	69.65	70.91	87.18	83.83	85.50
		h	56.02	60.74	58.38	85.48	88.93	87.20
		i	74.85	76.24	75.55	88.93	82.22	85.58
		j	82.22	76.24	79.23	88.93	92.60	90.76
C	Subsurface	a	92.60	92.60	92.60	83.83	87.18	85.50
		b	85.48	87.18	86.33	77.68	76.24	76.96
		c	76.24	79.15	77.70	83.83	88.93	86.38
		d	87.18	82.22	84.70	79.15	80.66	79.91
		e	88.93	96.50	92.71	82.22	85.48	83.85
	Center	f	85.48	77.68	81.58	94.52	85.48	90.00
		g	83.83	77.68	80.75	79.15	83.83	81.49
		h	88.93	87.18	88.06	90.74	79.15	84.94
		i	87.18	83.83	85.50	83.83	80.66	82.24
		j	70.90	56.02	63.46	88.93	88.93	88.93

(halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN B

Dir	0.5-1	1-4	5-10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-35	36-40	41-45	46-50	51-55	56-60	61-65	66-70	71-75	76-80	81-85	86-90	91-95	96-100
Pos	a0.01	a0.02	a0.1	a0.15	a0.2	a0.3	Materi	a0.1	a0.1	a0.1	a0.1	a0.1	a0.1	Keang	a0.15	a0.2	a0.3	a0.4	a1.1	a1.2	a2
CL	Revision	Date	Incharge	Checked	CL	Revision	Date	Incharge	Checked												
NO		DESCRIPTION			ADC12	1	DWG NO./SPEC		REMARK												
Scale : 1 : 4		Unit : mm		Hard : - Hrc		Tol : Rough		Kode File : *.idw													
	Drawn	JOSEPH A.	Date	1/7/2015	Sign	Drw Name : CETAKAN A															
	Checked	JOSEPH A.				Drw No : -															
Approved		A. SHAHAB																			
										A4											

*Note : Dimensi pada gambar sengaja tidak disesuaikan proporsi cetak A5.



*Note : Dimensi pada gambar sengaja tidak disesuaikan proporsi cetak A5.

RIWAYAT PENULIS



Dilahirkan di kota Semarang pada tanggal 1 Desember 1992, penulis merupakan anak ke-2 dari 4 bersaudara. Telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK Pancasila (1996-1997), SDN 1 Krajankulon (1997 - 2003), SMPN 1 Kaliwungu (2003 - 2006), SMAN 1 Kaliwungu (2006 - 2009) dan Diploma III Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada (2009 - 2012). Berbekal ijazah D-III pada tahun 2012, penulis bekerja di perusahaan swasta, yaitu di PT. Gudang Garam Tbk. Selama menjalani pekerjaan di bagain Teknisi Mekanikal selama 2 tahun, penulis melanjutkan studi ke tahap sarjana melalui program Lintas Jalur Teknik Mesin di Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada Januari 2013. Dengan tekad kuliah sambil bekerja untuk membiayai studi, penulis akhirnya berhasil menyelesaikan studi pada bulan Juli 2015. Penulis memiliki hobi berpetualang, mendaki gunung dan olahraga sepakbola. Berbagai rintangan dialami penulis dalam proses mendalami ilmu pengecoran logam, hingga akhirnya penulis berhasil menyelesaikan penelitian ini. Penulis memiliki harapan agar ilmu yang telah didapatkan dapat berguna bagi banyak orang di tanah air tercinta.

Email : josephananta12@gmail.com atau
josephananta@ymail.com

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram Fasa Al-Si[14]	9
Gambar 2.2 Klasifikasi Pengecoran.....	11
Gambar 2.3 Proses <i>Lost-foam Casting</i> ^[10]	14
Gambar 2.4 Skema terbentuknya gap antara <i>polystyrene foam</i> dengan cairan logam ^[1]	15
Gambar 2.5 Skema percobaan untuk mengukur besarnya penyusutan pada pembekuan logam ^[16]	22
Gambar 2.6 Skema terjadinya penyusutan (<i>shrinkage</i>) pada pembekuan logam ^[16]	23
Gambar 2.7 Struktur butir pada aluminium tuang ^[12]	24
Gambar 2.8 Bentuk porositas pada paduan aluminium tuang ^[12]	24
Gambar 2.9 Kemungkinan mekanisme <i>shrinkage</i> dalam membentuk formasi porositas pinhole di permukaan ^[12]	25
Gambar 2.10 Pengaruh temperatur terhadap kelarutan hidrogen dalam aluminium ^[19]	26
Gambar 2.11 Pengaruh <i>riser contribution</i> dan <i>edge contribution</i> terhadap nilai J_p ^[19]	30
Gambar 2.12 (a) Indentor dan (b) Jejak <i>Vickers</i> ^[7]	36
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	37
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian (Lanjutan)	38
Gambar 3.3 Desain pola cetakan untuk parameter 1 dan parameter 2.....	40
Gambar 3.4 Desain pola cetakan untuk parameter 3.....	40
Gambar 3.5 Desain Produk Cor.....	40
Gambar 3.6 Proses pembuatan pola.....	41
Gambar 3.7 Proses pengisian cetakan.....	42
Gambar 3.8 Proses penuangan logam cair ke dalam cetakan.....	42
Gambar 3.9 Ingot ADC 12.....	43
Gambar 3.10 <i>Polystyrene Foam (Styrofoam)</i>	44
Gambar 3.11 Pasir Silika.....	44
Gambar 3.12 Lem Styrofoam.....	45
Gambar 3.13 Metal Polish.....	45

Gambar 3.14 <i>Hot Wire Cut</i>	46
Gambar 3.15 Tungku Krusibel	46
Gambar 3.16 Termometer	47
Gambar 3.17 Mesin <i>Grinding</i> dan <i>Polishing</i>	47
Gambar 3.18 (a).Timbangan Digital ; (b). Neraca Timbangan ..	47
Gambar 3.19 Jangka Sorong	48
Gambar 3.20 Perkakas	48
Gambar 3.21 Mesin Gergaji	48
Gambar 3.22 Kamera Digital SLR	49
Gambar 3.23 Mesin Uji Kekerasan <i>Vickers</i>	49
Gambar 3.24 Ilustrasi daerah pemotongan spesimen uji kekerasan.....	53
Gambar 3.25 Letak titik pengujian kekerasan pada permukaan potongan.....	53
Gambar 4.1 Model sistem saluran untuk cetakan A	56
Gambar 4.2 <i>Bottom Gating System</i>	57
Gambar 4.3 <i>Runner</i>	58
Gambar 4.4 Model sistem saluran untuk cetakan B.....	59
Gambar 4.5 <i>Runner</i> cetakan B.....	61
Gambar 4.6 Ilustrasi keterkaitan antara nilai modulus dan dimensi penambah.	64
Gambar 4.7 Hasil pengecoran cetakan A percobaan pertama. ...	65
Gambar 4.8 Hasil pengecoran cetakan A percobaan kedua.	66
Gambar 4.9 Hasil pengecoran cetakan B percobaan pertama. ...	66
Gambar 4.10 Hasil pengecoran cetakan B percobaan kedua.....	67
Gambar 5.1 Histogram Persentase Porositas Rata-Rata Secara Kuantitatif untuk Parameter 1 dan Parameter 2.....	70
Gambar 5.2 Histogram Persentase Porositas Rata-Rata Secara Kuantitatif untuk Parameter 3	72
Gambar 5.3 Permukaan potongan B yang mengalami cacat <i>multiporosity</i> dan cacat <i>shrinkage</i> pada spesimen <i>top riser</i> dengan diameter <i>riser</i> 25 mm.....	79
Gambar 5.4 Foto mikroskopik permukaan potongan spesimen yang mengalami cacat.....	80

Gambar 5.5	Permukaan potongan C yang mengalami cacat <i>microporosity</i> pada spesimen <i>side riser</i> dengan diameter <i>riser</i> 22 mm	81
Gambar 5.6	Permukaan potongan B yang mengalami cacat <i>microporosity</i> dan cacat <i>shrinkage</i> pada spesimen <i>single riser</i> dengan diameter <i>riser</i> 31 mm.....	83
Gambar 5.6	Permukaan potongan B yang mengalami cacat <i>microporosity</i> dan <i>shrinkage</i> pada spesimen <i>double riser</i>	83
Gambar 5.8	Proses solidifikasi sesuai gradien temperatur pada pengecoran dengan menggunakan sistem penambah atas ^[16]	84
Gambar 5.9	Histogram persentase distribusi cacat porositas pada tiap-tiap potongan spesimen parameter 1 dan parameter 2	85
Gambar 5.10	Ilustrasi letak pengujian kekerasan yang diperbandingkan nilainya	87
Gambar 5.11	Histogram perbandingan nilai kekerasan daerah <i>centreline</i> potongan A spesimen parameter 1 dan parameter 2..	88
Gambar 5.12	Histogram perbandingan nilai kekerasan daerah <i>subsurface</i> potongan A spesimen parameter 1 dan parameter 2..	88
Gambar 5.13	Histogram perbandingan nilai kekerasan daerah <i>centreline</i> potongan B spesimen parameter 1 dan parameter 2 ..	89
Gambar 5.14	Histogram perbandingan nilai kekerasan daerah <i>subsurface</i> potongan B spesimen parameter 1 dan parameter 2..	90
Gambar 5.15	Histogram perbandingan nilai kekerasan daerah <i>centreline</i> potongan C spesimen parameter 1 dan parameter 2..	91
Gambar 5.16	Histogram perbandingan nilai kekerasan daerah <i>subsurface</i> potongan C spesimen parameter 1 dan parameter 2.	91
Gambar 5.17	Histogram perbandingan nilai kekerasan <i>subsurface</i> (antar titik C) spesimen parameter 1 dan parameter 2..	92
Gambar 5.18	Histogram perbandingan nilai kekerasan <i>centreline</i> (antar titik H) spesimen parameter 1 dan parameter 2..	93

Gambar 5.19	Histogram perbandingan nilai kekerasan daerah <i>centreline</i> potongan A spesimen parameter 3.....	94
Gambar 5.20	Histogram perbandingan nilai kekerasan daerah <i>subsurface</i> potongan A spesimen parameter 3	94
Gambar 5.21	Histogram perbandingan nilai kekerasan daerah <i>centreline</i> potongan B spesimen parameter 3.....	95
Gambar 5.22	Histogram perbandingan nilai kekerasan daerah <i>subsurface</i> potongan B spesimen parameter 3	96
Gambar 5.23	Histogram perbandingan nilai kekerasan daerah <i>centreline</i> potongan C spesimen parameter 3.....	96
Gambar 5.24	Histogram perbandingan nilai kekerasan daerah <i>subsurface</i> potongan C spesimen parameter 3	97
Gambar 5.25	Histogram perbandingan nilai kekerasan <i>subsurface</i> (antar titik C) spesimen parameter 3	98
Gambar 5.26	Histogram perbandingan nilai kekerasan <i>centreline</i> (antar titik H) spesimen parameter 3	98

Studi Eksperimental Pengaruh Letak, Diameter dan Jumlah Penambah (*Riser*) Terhadap Kualitas Produk Cor Pada Pengecoran ADC 12 dengan Metode *Lost-Foam Casting*

Joseph Ananta dan Abdullah Shahab

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: shahab_nqa@yahoo.com

Abstrak — Kebutuhan akan adanya penambah (*riser*) dalam praktik pengecoran menggunakan *lost-foam* perlu dipertimbangkan berdasarkan beberapa penelitian untuk mengetahui pengaruhnya terhadap cacat penyusutan dan cacat porositas. Salah satunya, perlu dilakukan studi eksperimental pengaruh letak penambah, diameter penambah dan jumlah penambah terhadap kualitas produk cor pada pengecoran ADC 12 dengan metode pengecoran *lost-foam*.

Terdapat 3 (tiga) faktor penambah (*riser*) yang diteliti untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kualitas produk cor. Faktor pertama yaitu letak penambah dengan sistem penambah atas (*top riser*) dan sistem penambah samping (*side riser*). Faktor kedua yaitu diameter penambah pada sistem penambah atas dan sistem penambah samping masing-masing berdiameter 22 mm dan 25 mm. Faktor ketiga yaitu jumlah penambah pada sistem penambah atas masing-masing satu penambah dan dua penambah. Masing-masing faktor kemudian diteliti dengan pengujian porositas secara kuantitatif dan kualitatif serta pengujian kekerasan *Vickers*.

Setelah dilakukan analisa dan pembahasan dapat diketahui bahwa cacat yang dihasilkan pada pengecoran *lost-foam* didominasi oleh cacat mikroporositas dan cacat *gas pore*. Letak penambah menjadi faktor paling dominan dalam meminimalkan cacat penyusutan dan porositas yaitu dengan menggunakan sistem penambah samping dan diameter penambah 25 mm. Rasio antara diameter penambah dengan tebal benda pada sistem penambah atas memiliki peran penting dalam mengurangi jumlah cacat penyusutan. Penambah tunggal lebih efektif mengurangi cacat porositas daripada menggunakan penambah ganda. Beberapa hasil pengujian kekerasan cenderung tidak menunjukkan adanya hubungan yang jelas antara nilai kekerasan dengan parameter yang diuji.

Kata Kunci : Pengecoran *lost-foam*, sistem penambah (*riser*), penyusutan, porositas.

I. PENDAHULUAN

Pada beberapa tahun terakhir, Indonesia mengalami perkembangan di dunia industri terutama pada industri pengecoran logam. Satu diantara beberapa jenis metode pengecoran logam adalah metode pengecoran *lost-foam*. Metode pengecoran *lost-foam* dipatenkan oleh Shroyer pada tahun 1958^[1]. Metode pengecoran ini menggunakan bahan *styrofoam* sebagai bahan untuk membuat pola lengkap dengan sistem salurannya. Sistem saluran dirangkai dengan cara dilem menyatu dengan rangkaian pola. Beberapa pola dapat dilakukan pengecoran dengan dirangkai dalam satu sistem saluran. Pola lengkap dengan sistem salurannya kemudian ditanam dalam pasir

silika kering lalu digetarkan untuk memadatkan pasir. Pola *polystyrene foam* akan mencair dan menguap ketika logam cair dituangkan ke dalam cetakan, bekas tempat *polysterene foam* tersebut akan terisi cairan logam.

Dalam teknologi pengecoran logam seringkali ditemukan beberapa cacat pada produk cor seperti cacat penyusutan (*shrinkage*) dan cacat gelembung gas (*gas pore*) atau porositas. Kedua cacat tersebut sangat merugikan karena dapat mengubah sifat mekanik dari produk cor dan mengakibatkan kualitas produk cor menjadi buruk. Oleh sebab itu, beberapa faktor penting perlu diperhatikan dalam pengecoran dengan metode *lost-foam* antara lain ukuran benda cor, ukuran pasir silika, lama penggetaran cetakan dan komposisi material yang dituang.

Pada pengecoran metode *lost-foam*, kebutuhan akan adanya penambah (*riser*) perlu dipertimbangkan berdasarkan beberapa penelitian untuk mengetahui pengaruhnya terhadap cacat penyusutan dan porositas serta nilai kekerasan produk cor. Salah satu upaya untuk mengetahuinya, perlu dilakukan studi eksperimental pengaruh letak penambah, diameter penambah dan jumlah penambah terhadap kualitas produk cor. Dengan demikian kebutuhan akan adanya penambah pada pengecoran *lost-foam* dapat diketahui dan produk cor yang berkualitas serta bernilai ekonomis tinggi dapat diperoleh demi meningkatkan perkembangan industri dalam bidang pengecoran logam.

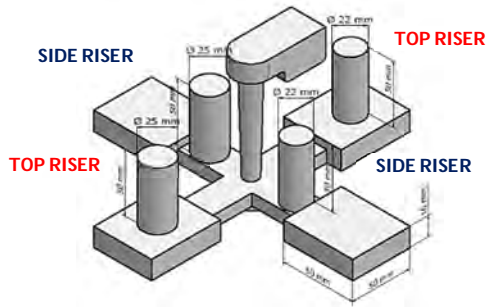
II. METODE PENELITIAN

Metodologi dari penelitian ini dari awal sampai akhir meliputi beberapa tahapan, yaitu ;

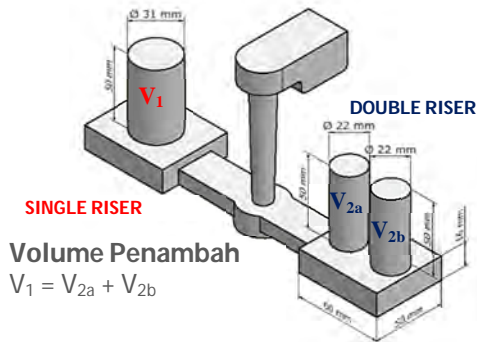
A. Tahapan Persiapan

Persiapan berupa perencanaan penelitian yaitu meliputi perancangan sistem saluran dan pembuatan desain sistem saluran untuk pola cetak yaitu *styrofoam*. Pada gambar 1 ditampilkan empat produk dalam satu saluran turun untuk parameter 1 (variasi letak penambah) dan parameter 2 (variasi diameter penambah). Desain tersebut dibuat untuk meminimalisir adanya perbedaan temperatur tuang dan perbedaan kecepatan tuang logam cair. Gambar 2 menampilkan dua produk dalam satu saluran turun untuk parameter 3 (variasi jumlah penambah) dengan posisi penambah atas. Keseluruhan penambah pada tiap-tiap parameter didesain dengan ketinggian yang sama yaitu 50 mm dengan bentuk penambah silinder tertutup (*blind riser*).

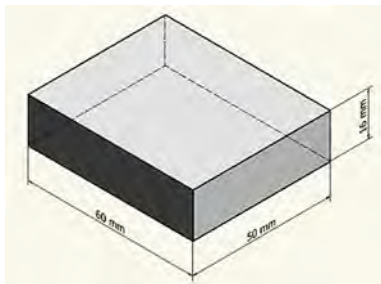
Desain dan dimensi spesimen produk cor untuk keseluruhan parameter ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 1 Desain pola cetakan A (parameter 1 dan parameter 2)



Gambar 2 Desain pola cetakan B untuk parameter 3.



Gambar 3 Desain Produk Cor.

B. Pembuatan Pola dan Sistem Saluran

Desain gambar kemudian diplot menjadi gambar potongan yang selanjutnya dipotong sesuai bentuknya lalu ditempelkan pada styrofoam. Kemudian pola styrofoam dipotong menggunakan hot wire cutter dan permukaan styrofoam dihaluskan agar tidak berpori dengan pengamplasan menggunakan amplas nomor 1500 dengan tetap memperhatikan kepresisian dimensi pola. Potongan pola kemudian di-assembly dan direkatkan dengan menggunakan lem styrofoam.

C. Persiapan Pengecoran

Persiapan pengecoran yang pertama kali dilakukan adalah pengayakan pasir silika dengan AFS GFN 30-45, kemudian menyiapkan cetakan yang akan dicor yaitu penimbunan pola di dalam flask (wadah) menggunakan pasir silika tanpa pengikat (kering) yang telah di ayak. Setelah itu cetakan digetarkan sampai pasir benar-benar padat dan pola tertutup keseluruhan kecuali bagian muka cawan tuang.

D. Proses Penuangan dan Pembongkaran Cetakan

Pengecoran diawali dengan mencairkan ADC 12 dengan berat yang telah ditentukan pada temperatur 700°C menggunakan tungku krusibel. Hasil peleburan dituangkan kedalam flask yang telah terisi oleh pola cetakan dan pasir. Waktu tuang yang cepat dimaksudkan agar logam cair

mampu mengisi keseluruhan rongga cetak. Setelah produk cor mendingin hingga temperatur kamar, dilakukan pembongkaran cetakan dan pembersihan produk cor dari terak pasir cetak.

E. Pemotongan Sistem Saluran

Pemotongan sistem saluran dilakukan agar memudahkan melakukan pengukuran dan menganalisa produk coran.

F. Pengujian Porositas

Pengujian porositas dilakukan untuk mengetahui seberapa besar rongga yang terbentuk akibat cacat shrinkage (penyusutan) maupun akibat cacat porositas (gas). Kedua cacat tersebut dapat direpresentasikan dengan pengujian porositas yang dilakukan dengan dua metode, yaitu; kuantitatif dan kualitatif. Pengujian porositas secara kualitatif dilakukan dengan cara melakukan pengamatan secara visual pada bagian sub-surface untuk mengitung jumlah cacat dan mengidentifikasi cacat yang terjadi. Benda cor dipotong menjadi empat bagian untuk mendapatkan tiga permukaan potong yang berbeda dan dilakukan grinding untuk mendapatkan permukaan potongan yang dapat diamati. Sedangkan untuk pengamatan porositas secara kuantitatif dilakukan untuk mengetahui persentase porositas dan atau shrinkage dengan metode perbandingan volume. Adapun langkah-langkahnya sebagai berikut ;

1. Persiapan spesimen, bejana ukur dan timbangan digital dengan ketelitian hingga dua angka dibelakang koma.
2. Penimbangan spesimen dengan timbangan digital yang memiliki ketelitian hingga dua angka dibelakang koma.
3. Pengukuran volume total spesimen dengan menggunakan bejana ukur.
4. Isi bejana ukur sampai pada volume tertentu.
5. Timbang bejana ukur yang telah diisi dengan air
6. Masukkan spesimen kedalam bejana ukur
7. Amati perubahan berat pada timbangan digital
8. Hitung selisih berat sebelum dan sesudah diisi spesimen
9. Dengan menggunakan formulasi $V_{Spesimen} = \frac{M_{Spesimen}}{\rho_{H_2O}}$, didapat volume total spesimen.
10. Perhitungan prosentase porositas pada spesimen dengan menggunakan persamaan ;

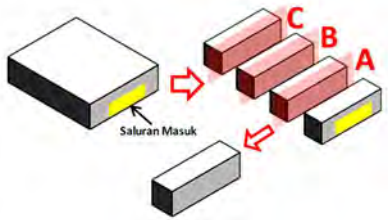
$$\%Porositas = \frac{V_T - \left(\frac{M_S}{\rho_S}\right)}{V_T} \times 100\%$$

Dimana;

- %P = prosentase porositas (%)
- V_T = Volume total spesimen (cm³)
- M_S = Massa spesimen (gr)
- ρ_S = Massa jenis (gr/cm³)

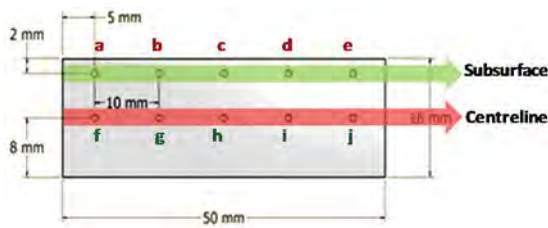
G. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan pada spesimen hasil pengecoran lost-foam dilakukan dengan metode Vickers untuk mengetahui besarnya perbedaan kekerasan benda coran untuk masing-masing spesimen. Produk cor terlebih dahulu dipotong menjadi empat bagian untuk memperoleh tiga permukaan potongan. Ketiga permukaan potongan (A, B dan C) seperti ditampilkan pada gambar 4.



Gambar 4 Ilustrasi daerah pemotongan spesimen uji kekerasan.

Permukaan yang diuji yaitu pada potongan vertikal pada daerah *subsurface* (2 mm dari sisi luar produk cor) dan pada daerah *center* (8 mm dari sisi luar produk cor). Titik indentasi diilustrasikan pada gambar 5 sebanyak 5 titik/permukaan pada daerah *subsurface* dan 5 titik/permukaan pada daerah *center*.



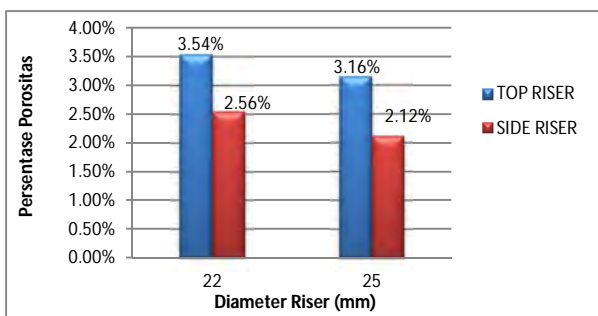
Gambar 5 Letak titik pengujian kekerasan pada permukaan potongan.

III. HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian Porositas

Porositas merupakan salah satu cacat yang sering terjadi pada produk aluminium tuang. Terdapat dua penyebab utama timbulnya porositas pada paduan Al-Si (ADC12) yaitu adanya gas yang terjebak dan *shrinkage*. Pada pengecoran dengan menggunakan *styrofoam* sebagai pola hilang, gas atau udara yang terjebak tersebut dapat timbul dari gas hasil dekomposisi *styrofoam* yang terlarut pada logam cair.

Berdasarkan pengujian porositas secara kuantitatif, diperoleh data histogram hasil pengujian untuk parameter 1 dan 2 (letak penambah dan diameter penambah) pada gambar 6, sedangkan untuk parameter 3 (jumlah penambah) pada gambar 7.

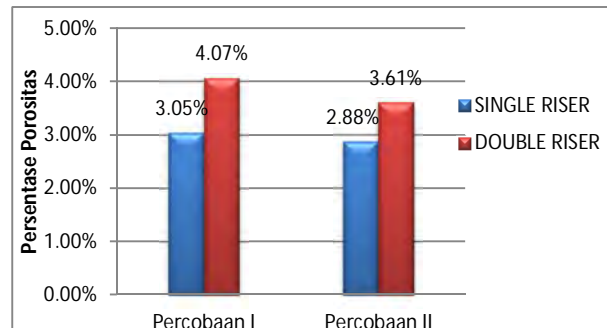


Gambar 6 Histogram Persentase Porositas Rata-Rata Secara Kuantitatif untuk Parameter 1 dan Parameter 2

Pada variasi letak penambah dengan diameter 22 mm maupun diameter 25 mm, spesimen penambah samping selalu memiliki persentase lebih rendah daripada spesimen penambah atas. Sedangkan pada variasi diameter penambah, spesimen dengan diameter penambah yang lebih besar yaitu 25 mm memiliki persentase porositas yang lebih rendah

daripada spesimen yang menggunakan penambah berdiameter 22 mm.

Secara teoritis, penempatan posisi *riser* (penambah) memiliki peran penting untuk mengurangi jumlah penyusutan pada daerah yang mendingin paling lambat. Namun dalam hal ini, penambah juga dapat berfungsi sebagai penjerat gas (*bubble gas trap*) yang timbul dari hasil dekomposisi *styrofoam* itu sendiri. Karena densitasnya yang lebih rendah daripada logam cair, maka secara praktis dapat dikatakan bahwa gelembung gas hasil dekomposisi *styrofoam* tersebut akan cenderung berada di bagian atas dari logam cair dan menuju ke daerah yang lebih tinggi. Dengan demikian, penempatan penambah yang tepat yaitu bilamana penambah tersebut dapat dikatakan mampu menjerat gas dan mampu menyuplai logam cair dengan baik untuk mengurangi cacat porositas pada produk cor. Selain itu, diameter penambah memegang peran penting untuk menjamin bahwa penambah tersebut memiliki ukuran dan volume yang cukup untuk suplai logam cair ke produk cor pada saat proses pembekuan agar cacat penyusutan dapat diminimalisir.



Gambar 7 Histogram Persentase Porositas Rata-Rata Secara Kuantitatif untuk Parameter 3

Pada variasi jumlah penambah, nampak bahwa pada histogram percobaan pertama maupun percobaan kedua, persentase porositas pada spesimen *single riser* (penambah tunggal) selalu lebih rendah dari spesimen *double riser* (penambah ganda). Hal ini menunjukkan bahwa jumlah penambah lebih dari satu tidak menjamin berkurangnya cacat porositas. Keadaan tersebut dapat disebabkan karena nilai modulus penambah pada penambah ganda sama dengan nilai modulus benda cor sehingga penambah membeku lebih awal dan tidak mampu memenuhi fungsinya dalam menyuplai logam cair ke produk cor saat proses pembekuan.

Berdasarkan data hasil pengujian porositas secara kualitatif untuk parameter 1 (variasi letak penambah) dan parameter 2 (variasi diameter penambah) ditunjukkan pada tabel 1 dan tabel 1. Kemudian pada tabel 3 ditunjukkan data hasil pengujian porositas secara kualitatif untuk parameter 3 (variasi jumlah penambah). Data jumlah cacat pada tabel tersebut diperoleh dari penghitungan secara manual jumlah porositas yang terdapat pada permukaan potongan A, potongan B dan potongan C kemudian direpresentasikan dalam skala rata-rata cacat per luasan yaitu skala *high* (jumlah cacat > 10 titik/cm²), skala *medium* (jumlah cacat 8 – 10 titik/cm²) dan skala *low* (jumlah cacat < 8 titik/cm²).

Tabel 1 Hasil pengujian porositas secara kualitatif untuk parameter 1 (letak penambah) dengan diameter penambah 22 mm

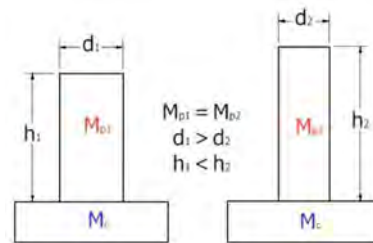
Spesimen	Potongan	Foto Makro	Identifikasi
TOP RISER	A		Jenis Cacat : a. <i>Microporosity</i> b. <i>Gas Pore</i> c. <i>Shrinkage Pore</i> Jumlah Cacat : Medium
	B		Jenis Cacat : a. <i>Microporosity</i> b. <i>Gas Pore</i> Jumlah Cacat : High
	C		Jenis Cacat : a. <i>Microporosity</i> b. <i>Gas Pore</i> Jumlah Cacat : Low
SIDE RISER	A		Jenis Cacat : a. <i>Microporosity</i> b. <i>Gas Pore</i> Jumlah Cacat : Low
	B		Jenis Cacat : a. <i>Microporosity</i> b. <i>Gas Pore</i> Jumlah Cacat : Low
	C		Jenis Cacat : a. <i>Microporosity</i> b. <i>Gas Pore</i> Jumlah Cacat : Medium

Tabel 2 Hasil pengujian porositas secara kualitatif untuk parameter 1 (letak penambah) dengan diameter penambah 25 mm

Spesimen	Potongan	Foto Makro	Identifikasi
TOP RISER	A		Jenis Cacat : a. <i>Microporosity</i> b. <i>Gas Pore</i> Jumlah Cacat : Low
	B		Jenis Cacat : a. <i>Microporosity</i> b. <i>Gas Pore</i> Jumlah Cacat : High
	C		Jenis Cacat : a. <i>Microporosity</i> b. <i>Gas Pore</i> Jumlah Cacat : Medium
SIDE RISER	A		Jenis Cacat : a. <i>Microporosity</i> b. <i>Gas Pore</i> Jumlah Cacat : Low
	B		Jenis Cacat : a. <i>Microporosity</i> b. <i>Gas Pore</i> Jumlah Cacat : Low
	C		Jenis Cacat : a. <i>Microporosity</i> b. <i>Gas Pore</i> Jumlah Cacat : Medium

Pada parameter 1 yaitu variasi letak penambah dengan diameter 22 mm maupun diameter 25 mm, jumlah cacat pada spesimen penambah samping memiliki rata-rata yang lebih rendah daripada spesimen penambah atas. Terdapat

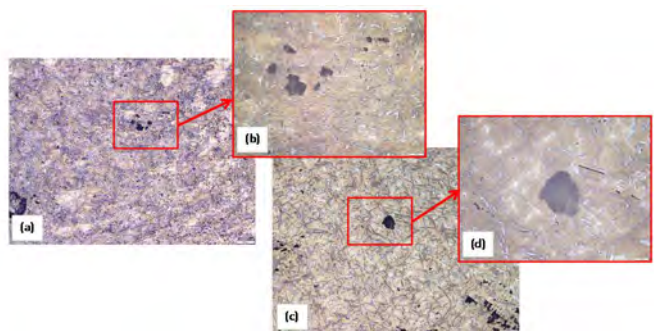
peningkatan jumlah porositas yang signifikan di permukaan potongan B pada spesimen *top riser* (penambah atas) dan di permukaan potongan C pada spesimen *side riser* (penambah samping). Sedangkan pada parameter 2 yaitu variasi diameter penambah, cenderung tidak terdapat perbedaan rata-rata jumlah cacat yang signifikan antara spesimen dengan diameter penambah 22 mm dan spesimen dengan diameter penambah 25 mm.



Gambar 8 Ilustrasi keterkaitan antara nilai modulus dan dimensi penambah.

Berdasarkan ilustrasi pada gambar 8, rasio antara diameter penambah terhadap ketebalan benda cor memiliki keterkaitan dengan rasio modulus cor yang akan mempengaruhi pola pendinginan dari suatu sistem penambah. Penggunaan diameter penambah yang semakin besar pada sistem penambah atas akan menambah luas penampang penambah sehingga pada saat proses pembekuan, penambah akan membeku paling terakhir. Namun setelah dilakukan pemotongan spesimen pada percobaan dengan sistem penambah atas berdiameter 25 mm, ditemukan cacat *microporosity*, cacat *gas pore* dan cacat *shrinkage pore* yang mengumpul di bawah penambah pada permukaan potongan B (daerah yang berada tepat di bawah penambah). Keadaan tersebut mengindikasikan bahwa penambah dengan diameter 25 mm mengalami proses solidifikasi lebih awal sehingga penambah tidak dapat mengkompensasi penyusutan yang terjadi pada daerah pada daerah yang membeku paling terakhir.

Untuk memastikan beberapa jenis cacat yang timbul dilakukan pengambilan foto mikroskopik pada permukaan potongan yang mengalami cacat seperti ditunjukkan pada gambar 9. Terdapat beberapa cacat *microporosity* yang berbentuk tak beraturan dan cacat *gas pore* yang cenderung berbentuk *round* (bulat). Cacat gelembung gas atau *gas pore* mendominasi dan tersebar di seluruh permukaan potongan spesimen. Sedangkan cacat *microporosity* dan cacat *shrinkage pore* cenderung mengumpul di suatu tempat yaitu di dekat saluran masuk maupun di dekat penambah.





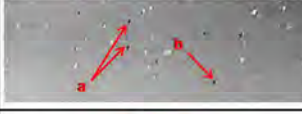



Gambar 9 Foto mikroskopik permukaan potongan spesimen. Cacat *microporosity* dengan perbesaran lensa (a) 50x dan (b) 200x. Cacat *gas pore* dengan perbesaran lensa (c) 50x dan (d) 200x.

Sementara itu, dari hasil pengamatan cacat secara kualitatif membuktikan bahwa penggunaan penambah samping (*side riser*) lebih efektif daripada penambah atas

(top riser). Tabel 1 dan tabel 2 menunjukkan bahwa secara rata-rata jumlah cacat di permukaan potongan A dan B spesimen penambah samping lebih kecil daripada jumlah cacat di permukaan potongan A dan B spesimen penambah atas. Namun pada permukaan potongan C spesimen penambah samping cenderung menunjukkan jumlah cacat yang lebih tinggi dari pada permukaan potongan lain. Hal ini mengindikasikan bahwa sistem penambah samping (dengan diameter penambah berapa pun) yang diletakkan pada dekat saluran masuk (*ingate*) tidak mampu menjangkau hingga ujung cetakan atau jangkauan penambah (*Jp*).

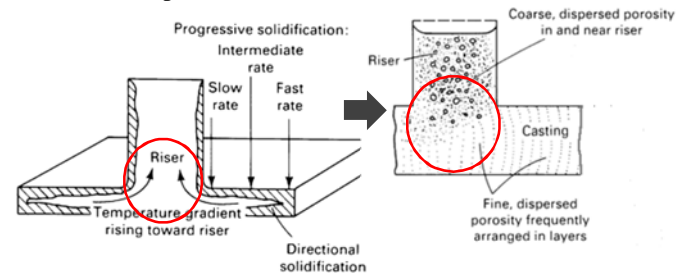
Bila ditinjau dari fungsinya sebagai *bubble gas trap*, pada permukaan potongan A dan B spesimen sistem penambah samping memiliki resiko cacat yang lebih rendah karena gas hasil dekomposisi pola *styrofoam* berhasil dijerat oleh penambah di dekat saluran masuk. Akan tetapi, gas hasil dekomposisi pola *styrofoam* yang tidak berhasil dijerat oleh penambah samping akan tetap terlarut pada logam cair dan menimbulkan cacat coran yang cenderung terdistribusi pada daerah ujung cetakan (potongan C).

Tabel 3 Hasil pengujian porositas secara kualitatif untuk parameter 3 (jumlah penambah)

Spesimen	Potongan	Foto Makro
SINGLE RISER	A	 Jenis Cacat : a. <i>Microporosity</i> (<i>gas plus shrinkage</i>) Jumlah Cacat : Medium
	B	 Jenis Cacat : a. <i>Microporosity</i> b. <i>Gas Pore</i> c. <i>Shrinkage Pore</i> Jumlah Cacat : High
	C	 Jenis Cacat : a. <i>Microporosity</i> b. <i>Gas Pore</i> Jumlah Cacat : Medium
DOUBLE RISER	A	 Jenis Cacat : a. <i>Microporosity</i> (<i>gas plus shrinkage</i>) Jumlah Cacat : High
	B	 Jenis Cacat : a. <i>Microporosity</i> b. <i>Gas Pore</i> c. <i>Shrinkage Pore</i> Jumlah Cacat : High
	C	 Jenis Cacat : a. <i>Microporosity</i> (<i>gas plus shrinkage</i>) Jumlah Cacat : Medium

Berdasarkan data cacat secara kualitatif (tabel 3), cacat porositas yang dapat diamati pada tiap-tiap permukaan potongan menunjukkan bahwa jumlah cacat porositas tertinggi terdapat pada permukaan potongan B bila menggunakan satu penambah. Sedangkan dengan dua penambah, jumlah cacat porositas tertinggi terdistribusi pada potongan A selanjutnya semakin menurun jumlahnya pada potongan B dan potongan C. Dengan demikian dapat diketahui bahwa dengan menggunakan dua penambah atas, maka efisiensi penambah pertama dan kedua akan semakin berkurang dalam meminimalkan jumlah cacat. Cacat yang ditimbulkan dapat dipicu oleh karena luas penampang kedua *riser* yang terlalu kecil sehingga kecepatan pendinginan antara *riser* dan produk cor terjadi hampir bersamaan. Dalam keadaan tersebut kedua penambah tidak mampu

memenuhi fungsinya dengan baik untuk menyuplai logam cair ke dalam produk cor.

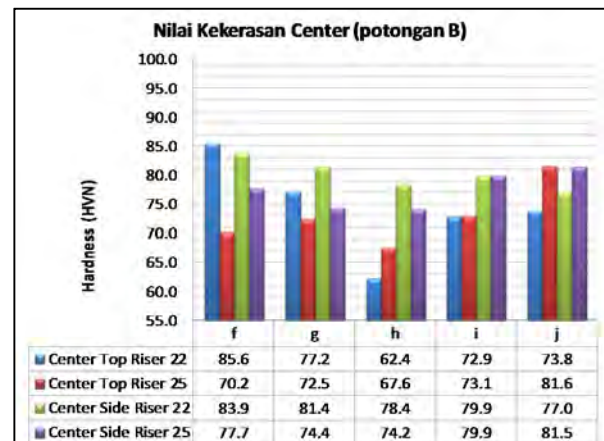


Gambar 10 Proses solidifikasi sesuai gradien temperatur pada pengecoran dengan menggunakan sistem penambah atas^[2]

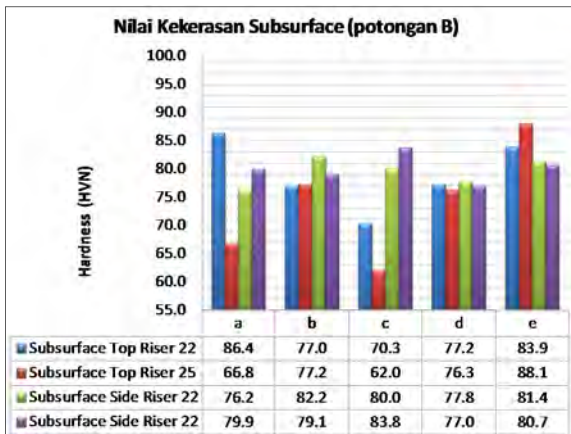
Diameter penambah yang terlalu besar akan memperbesar luas penampang pada daerah *slow rate* seperti diilustrasikan pada lingkaran merah (gambar 10). Pada saat proses pembekuan terjadi penyusutan dalam jumlah besar pada produk cor dan pada penambah itu sendiri. Ketika penambah telah membeku sepenuhnya maka penambah tersebut sudah tidak dapat berfungsi sebagaimana mestinya sehingga pada daerah *slow rate* akan timbul rongga susut. Daerah *slow rate* tersebut dapat dikatakan daerah paling kritis karena merupakan daerah *intersection* antara penambah dan benda cor yang mengalami proses solidifikasi paling lambat. Selain itu daerah *slow rate* menjadi daerah pertemuan gas dalam jumlah kecil yang membentuk rongga susut ketika penambah tidak dapat bekerja optimal pada saat proses pembekuan. Untuk mengatasi penyusutan pada daerah *slow rate* dibutuhkan adanya leher penambah yang mampu memperkecil luas penampang pada daerah tersebut, sehingga proses solidifikasi paling lambat hanya terjadi pada daerah penambah saja.

B. Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan yang dilakukan untuk spesimen-spesimen yang memiliki luasan permukaan sempit (terbatasnya jarak antar indentasi karena memiliki banyak cacat porositas) menggunakan metode pengujian *Vickers Hardnes*. Rata-rata nilai kekerasan pada titik yang sama pada daerah *subsurface* dan *centerline* dibuat histogram untuk diamati perbedaan nilai kekerasannya yang dipengaruhi oleh masing-masing parameter yaitu variasi letak penambah, diameter penambah dan jumlah penambah.

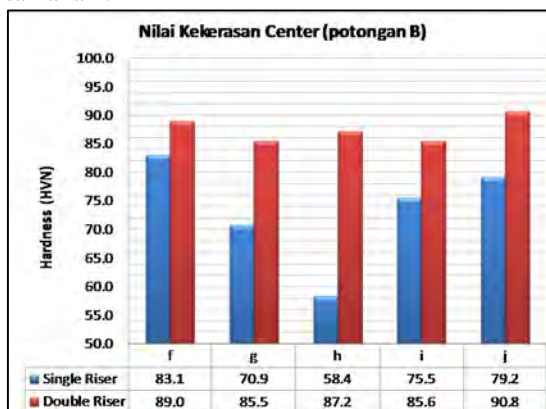


Gambar 11 Histogram perbandingan nilai kekerasan daerah *centerline* potongan B spesimen parameter 1 dan parameter 2

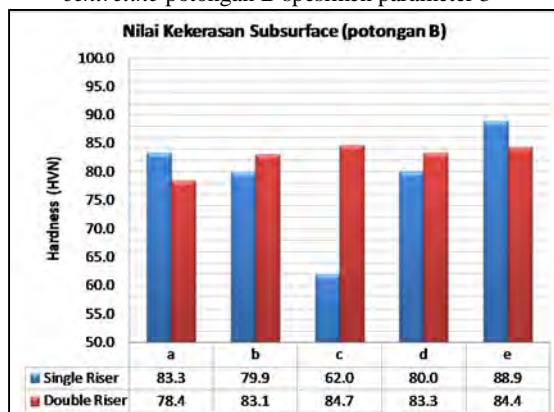


Gambar 12 Histogram perbandingan nilai kekerasan daerah subsurface potongan B spesimen parameter 1 dan parameter 2

Histogram pada gambar 11 dan gambar 12 menunjukkan perbandingan rata-rata nilai kekerasan yang diperoleh dari hasil pengujian kekerasan pada daerah *centreline* dan *subsurface* permukaan potongan B spesimen parameter 1 dan parameter 2. Data perbandingan nilai kekerasan spesimen *top riser* menunjukkan adanya penurunan nilai kekerasan yang signifikan pada titik H (gambar 11) dan titik C (gambar 12). Namun secara keseluruhan perbandingan rata-rata nilai kekerasan pada histogram tersebut tidak menunjukkan hubungan yang jelas antara titik pengujian satu sama lain.



Gambar 13 Histogram perbandingan nilai kekerasan daerah centreline potongan B spesimen parameter 3



Gambar 14 Histogram perbandingan nilai kekerasan daerah subsurface potongan B spesimen parameter 3

Histogram pada gambar 13 dan gambar 14 menunjukkan perbandingan rata-rata nilai kekerasan yang diperoleh dari hasil pengujian kekerasan pada daerah *centreline* dan *subsurface* permukaan potongan B spesimen parameter 3 (variasi jumlah penambah). Data perbandingan nilai

kekerasan spesimen *single riser* menunjukkan adanya penurunan nilai kekerasan yang signifikan pada titik H (gambar 13) dan titik C (gambar 14), sedangkan pada spesimen *double riser* tidak ditemukan perbandingan rata-rata nilai kekerasan yang signifikan untuk menunjukkan hubungan yang jelas antara titik pengujian satu sama lain.

IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Setelah dilakukan analisa dan pembahasan cacat porositas secara kuantitatif maupun kualitatif dan nilai kekerasan dengan variasi letak penambah, diameter penambah dan jumlah penambah maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Cacat yang dihasilkan dari pengecoran *lost foam* didominasi oleh cacat mikroporositas dan cacat *gas pore*. Cacat porositas didominasi oleh bentuk *round* (bulat), yang mengindikasikan bahwa mikroporositas yang terjadi lebih banyak disebabkan oleh *gas pore* yaitu gas hasil dekomposisi *styrofoam*.
2. Letak penambah menjadi faktor dominan dalam mengurangi jumlah cacat yang terjadi pada produk cor karena selain sebagai penyuplai logam cair untuk mengkompensasi penyusutan, penambah yang diletakkan didekat *ingate* juga dapat berfungsi sebagai penjerat gas (*bubble gas trap*).
3. Selain mempertimbangkan rasio modulus cor, dalam menentukan ukuran diameter penambah pada sistem penambah atas harus mempertimbangkan rasio antara tebal benda cor dengan diameter penambah. Selain itu, sistem penambah atas membutuhkan adanya leher penambah untuk mengantisipasi proses penyusutan pada daerah *slow rate*.
4. Pada parameter jumlah penambah, secara kuantitatif penambah tunggal terbukti lebih efektif mengurangi cacat porositas pada produk cor dibandingkan penambah ganda. Namun secara kualitatif, sistem penambah tunggal memiliki cacat yang cenderung terdistribusi tepat di bawah penambah (*riser*) dalam bentuk *shrinkage cavity*, yang menunjukkan kegagalan sistem penambah tersebut dalam mengantisipasi penyusutan.
5. Dari hasil pengujian cacat porositas baik secara kuantitatif maupun kualitatif, sistem penambah samping dengan diameter 25 mm memiliki persentase porositas paling sedikit dibanding sistem penambah lainnya.
6. Beberapa data hasil pengujian kekerasan cenderung tidak menunjukkan adanya hubungan yang jelas antara nilai kekerasan dengan parameter yang diuji.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terimakasih kepada Bapak Prof. Dr. Ir. Abdullah Shahab, M.Sc atas bimbingan dalam penyelesaian artikel ilmiah ini dan semua pihak yang berpartisipasi dalam proses penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Sutyoko. 2013. *Metode Pengecoran Lost foam Menjawab Tantangan Dunia Industri Pengecoran Logam (PDF) Jurnal Foundry*. Klaten. Politeknik Manufaktur Ceper.
 [2] ASM Handbook, 1992. "Casting." Volume 15, ASM International.

Studi Eksperimental Pengaruh Letak, Diameter dan Jumlah Penambah (*Riser*) Terhadap Kualitas Produk Cor Pada Pengecoran ADC 12 dengan Metode *Lost-Foam Casting*

Joseph Ananta
NRP. 2112 106 040

Pembimbing:
Prof. Dr. Ir. Abdullah Shahab, M.Sc

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

SURABAYA, 29 JULI 2015

Latar Belakang

- Cacat pada produk cor seperti cacat penyusutan (*shrinkage*) dan cacat gelembung gas atau porositas.
- Kebutuhan akan adanya penambah (*riser*) perlu dipertimbangkan berdasarkan beberapa penelitian untuk mengetahui pengaruhnya terhadap cacat penyusutan dan porositas.

Penelitian Terdahulu

“Pengaruh Bentuk *Riser* (Penambah) Terhadap Cacat Penyusutan Produk Cor Aluminium Cetakan Pasir”

Soejono Tjitro

1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa modulus penambah mempunyai pengaruh yang signifikan bagi timbulnya cacat penyusutan pada produk cor.
2. Penambah harus memiliki diameter leher penambah dengan batas minimal untuk menghindari tidak berfungsinya penambah.

Penelitian Terdahulu

“Pengaruh Modulus Cor Penambah Terhadap Cacat Penyusutan Pada Produk Paduan Al-Si.”

Soejono Tjitro dan Lily Setyati

1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa modulus cor penambah dan komposisi paduan berpengaruh terhadap terjadinya cacat penyusutan.
2. Meskipun modulus cor penambah lebih besar dibandingkan modulus cor produk coran tidak menjamin tidak terjadi cacat penyusutan rongga (*shrinkage cavity*).

Tujuan Penelitian

1. Mengetahui cacat penyusutan dan cacat porositas produk cor yang dipengaruhi oleh letak penambah, diameter penambah dan jumlah penambah.
2. Mengetahui nilai kekerasan produk cor yang dipengaruhi oleh letak penambah, diameter penambah dan jumlah penambah.

Batasan Masalah

1. Material yang digunakan adalah ADC 12, diasumsikan memiliki komposisi yang homogen.
2. Pasir cetak yang digunakan diasumsikan memiliki butir pasir dan permeabilitas yang seragam (homogen).
3. Pada saat pembuatan pola *styrofoam* tidak dilakukan proses *coating*.
4. Gaya gesek selama logam cair mengalir melalui sistem saluran dianggap konstan.
5. Logam cair dianggap sebagai *Newtonian Fluid*.
6. Kecepatan penuangan diasumsikan konstan.
7. Waktu penuangan diasumsikan sesuai perhitungan.
8. Alat uji yang digunakan untuk pengujian dan pengambilan data berfungsi dengan baik.

Manfaat Penelitian

1. Referensi untuk menentukan kebutuhan penambah dalam metode pengecoran *lost-foam*.
2. Referensi untuk menentukan penggunaan *riser system* yang ideal agar menghasilkan produk cor dengan nilai kekerasan yang optimal dan cacat porositas yang minimal.
3. Literatur untuk penelitian selanjutnya.

Lost Foam Casting

- ✓ Pengecoran *lost foam* merupakan salah satu jenis pengecoran yang menggunakan bahan *styrofoam* sebagai bahan untuk membuat pola dan ditanam dalam pasir cetak menjadi cetakan.
- ✓ Metode ini ditemukan dan dipatenkan oleh Shroyer pada tahun 1958. (Shroyer, 1958)
- ✓ Pada tahun 1964, konsep penggunaan cetakan pasir kering tanpa pengikat dikembangkan dan dipatenkan oleh Smith. (Smith, 1964)

Keunggulan Lost-Foam Casting

- ✓ Dapat memproduksi benda yang kompleks, rapid prototip (Monroe, 1992)
- ✓ Pola mudah dibuat dan murah (Barone, 2005)
- ✓ Dapat memproduksi benda-benda ringan (Kim dan Lee, 2005)
- ✓ Pasir yang digunakan dapat dipakai kembali (Behm dkk, 2003)
- ✓ Akurasi dimensi (Monroe, 1992)
- ✓ Draft angle dapat dieliminasi (Barone, 2005)
- ✓ Mengurangi proses pemesinan (Kumar dkk, 2007)
- ✓ Mengurangi pencemaran lingkungan (Kumar dkk, 2007)

Kelemahan Lost-Foam Casting

- ✓ Pasir yang tidak diikat memicu terjadinya cacat pada benda cor karena pasir yang jatuh ke logam cair (Kumar dkk, 2007)
- ✓ Pelapisan polietilen untuk mengikat cetakan menyebabkan adanya emisi gas buang (Behm dkk, 2003)
- ✓ Porositas dalam pengecoran aluminium dengan pola styrofoam lebih tinggi dibandingkan dengan cetakan CO₂. (Kim dan Lee, 2005)

ADC 12 (AA.383.0 F)

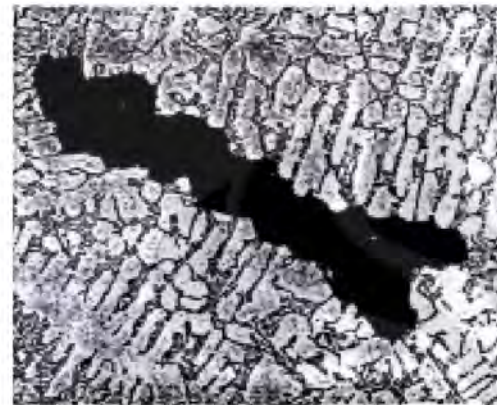
Elemen Paduan	ADC 12 ^[8]	ADC 12 (JIS) ^[9]
Al	80,6 - 85 wt%	80,15 wt%
Cu	1,5 – 3,5 wt%	1,5 – 3,5 wt%
Si	9,6 – 12 wt%	10,5 – 12,5 wt%
Mg	< 0,3 wt%	0,5 wt%
Zn	< 1 wt%	1 maks wt%
Fe	< 1,3 wt%	1,3 maks wt%
Mn	< 0,5 wt%	0,5 maks wt%
Ni	< 0,5 wt%	0,5 maks wt%
Sn	< 0,3 wt%	0,3 maks wt%

Struktur Butir Aluminium Tuang



Gambar 2.7 Struktur butir pada aluminium tuang^[12]

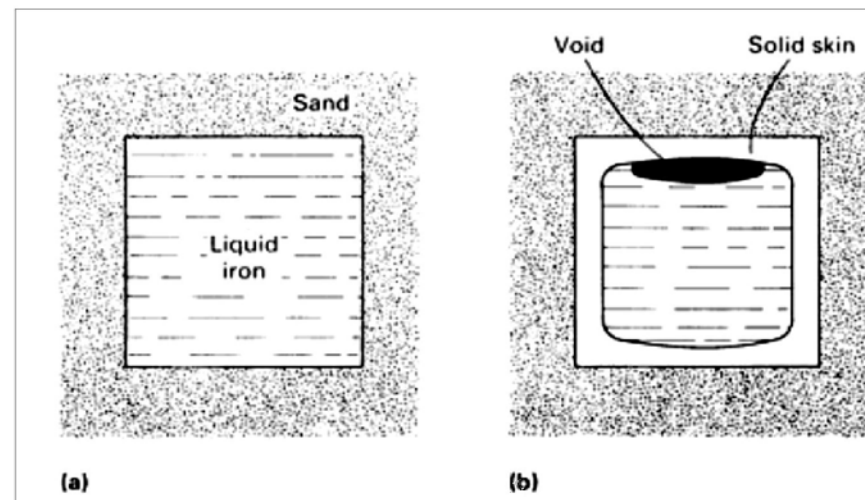
Cacat Pada Pengecoran



a) Shrinkage pore found within a casting



Shrinkage (Penyusutan)



Skema terjadinya penyusutan (*shrinkage*) pada pembekuan logam^[16].

(a) *Initial liquid metal.* (b) *Solid skin and formation of shrinkage void.*

(c) *Internal shrinkage* (d) *Internal shrinkage plus dishing.* (e) *Surface puncture.*

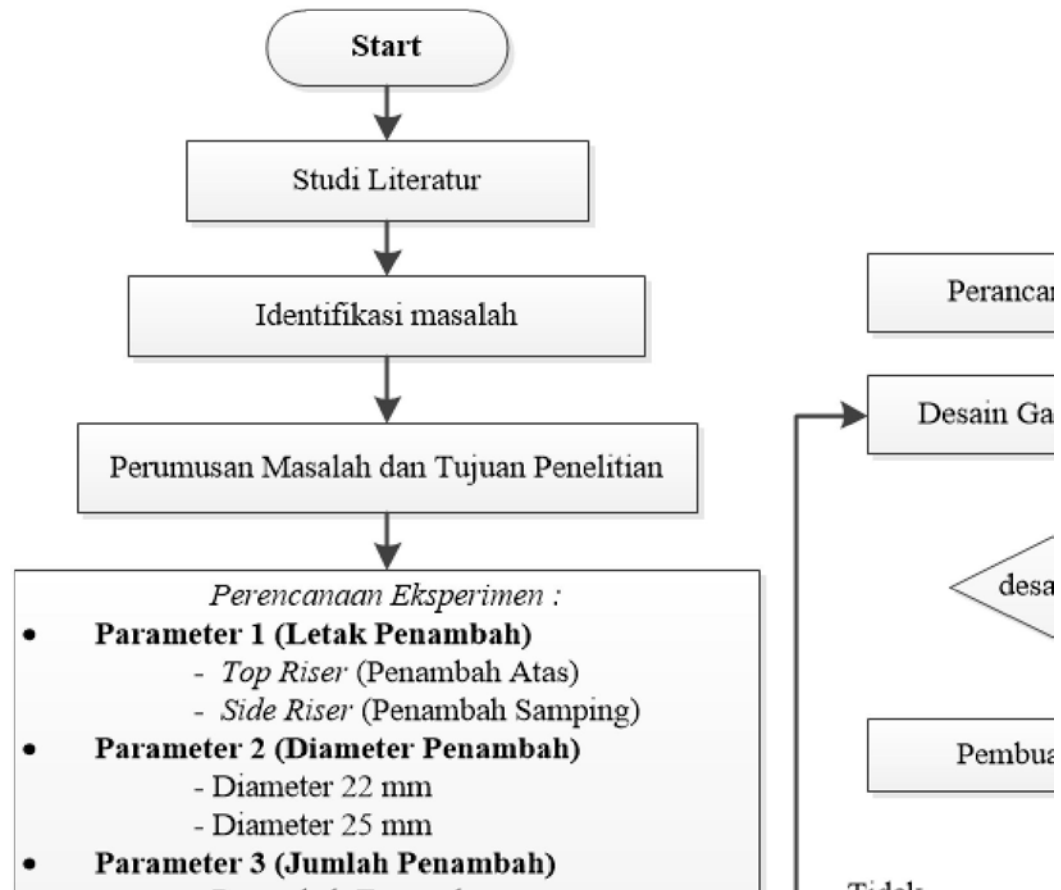
Penambah (*Riser*)

- ✓ Secara teoritis, penambah harus membeku lebih lambat daripada produk cor sehingga penambah mampu menyuplai logam cair untuk penyusutan produk cor.
- ✓ Menurut letaknya terhadap benda tuang, dapat dibedakan antara *top riser* (penambah atas) dan *side riser* (penambah samping).
- ✓ Berdasarkan fungsinya, jenis penambah terdiri dari *open riser* (penambah terbuka) dan *blind riser* (penambah tertutup).

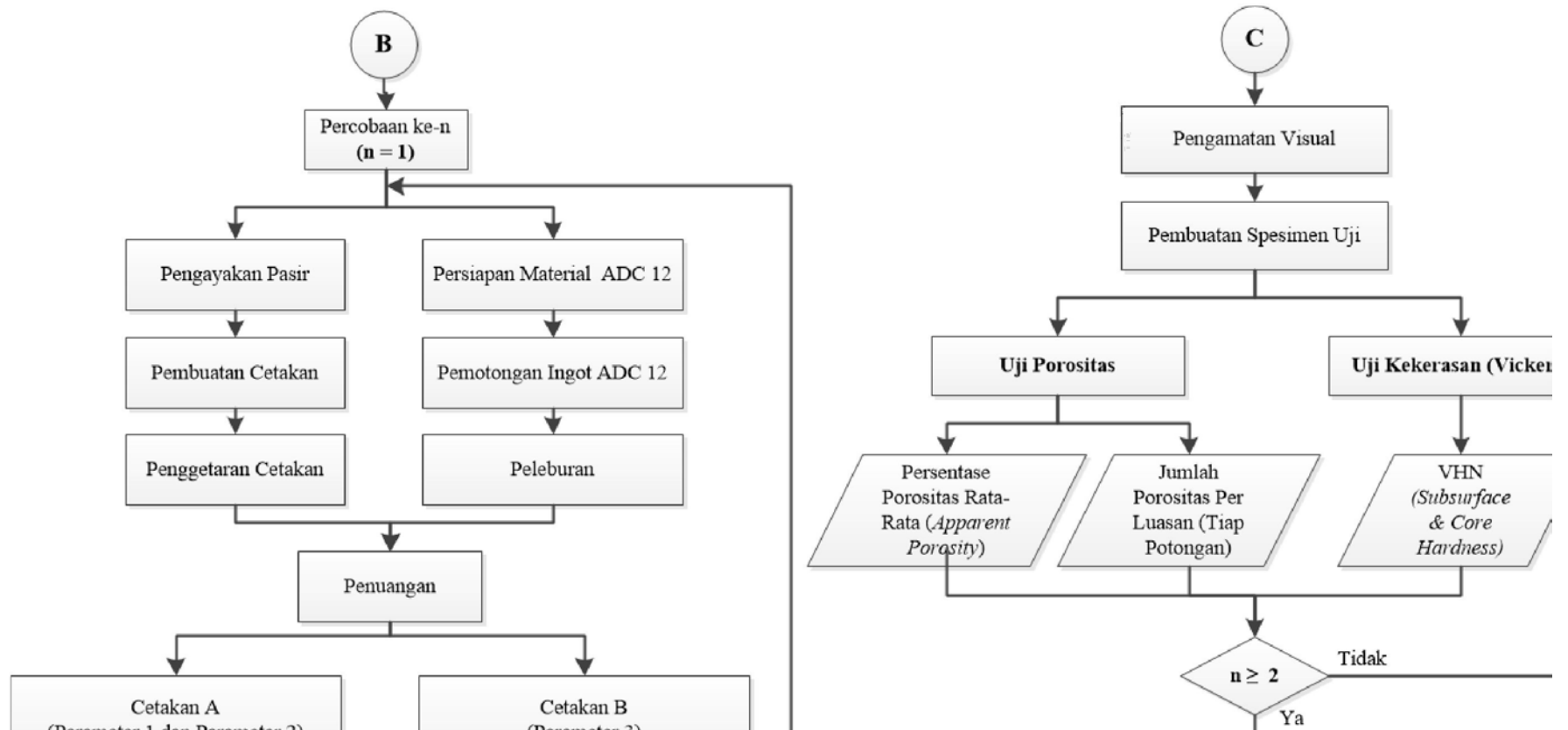
Penambah (*Riser*)

- ✓ Penambah perlu didesain dengan jumlah dan ukuran yang sesuai dengan kebutuhan produk cor, sehingga jumlah dan ukuran penambah tidak mengurangi kekuatan cetakan dan membuat biaya produksi menjadi mahal.
- ✓ Penambah diletakkan pada posisi yang tepat dalam *gating system* (sistem saluran), sehingga tidak memicu adanya potensi permasalahan baru pada desain pengecoran.
- ✓ Penambah digunakan pada saat yang tepat yaitu tergantung pada ukuran modulus benda cor dan mempertimbangkan faktor biaya.

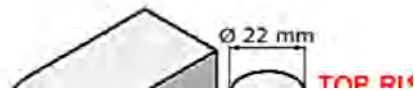
Metodologi



Metodologi



Desain Spesimen



Desain pola cetakan untuk parameter 1 dan parameter 2

Desain pola cetakan untuk parameter 3

Desain Spesimen



Proses Pengecoran



Hasil Pengecoran (Cetakan A)



PERCOBAAN 1

PERCOBAAN 2

Hasil Pengecoran (Cetakan B)

PERCOBAAN 1

PERCOBAAN 2

Pengujian Kualitas Hasil Pengecoran

- Pengujian volume spesimen untuk mengetahui persentase cacat porositas secara rata-rata.
- Uji kekerasan dilakukan untuk mengetahui tingkat kekerasan produk hasil pengecoran pada daerah *center* dan *subsurface*.

Pengujian Porositas (Kuantitatif)

Spesimen	Diameter Riser	Percobaan ke-	Massa H ₂ O	Massa H ₂ O + Spesimen	Massa Spesimen Kering	Volume total,	Volume spesimen,	Persentase Porositas
----------	----------------	---------------	------------------------	-----------------------------------	-----------------------	---------------	------------------	----------------------

Pengujian Porositas

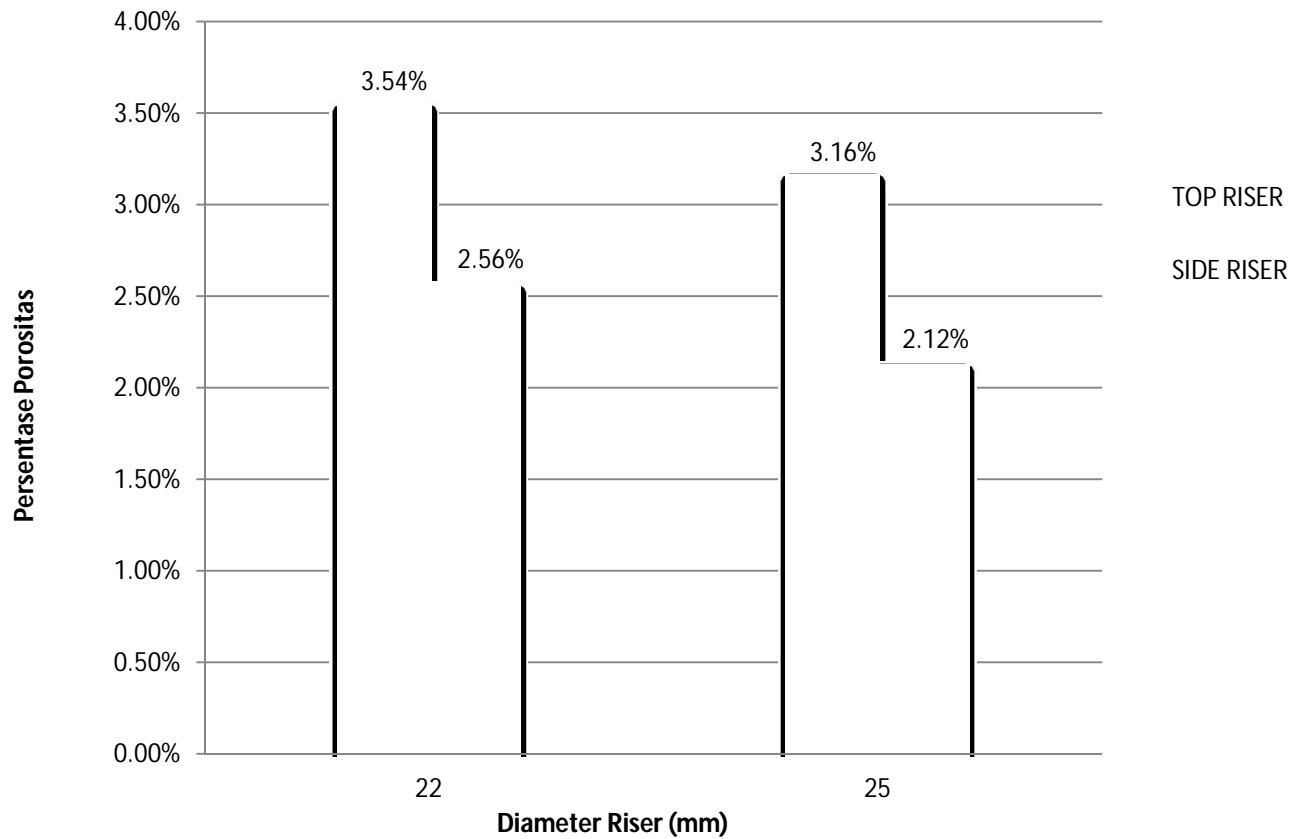
- ***Secara Kuantitatif***

$$V_T = \left(\frac{M_S}{D_S} \right)$$

- ***Secara Kualitatif***

Pengamatan visual secara langsung pada bagian permukaan potongan tiap-tiap spesimen.

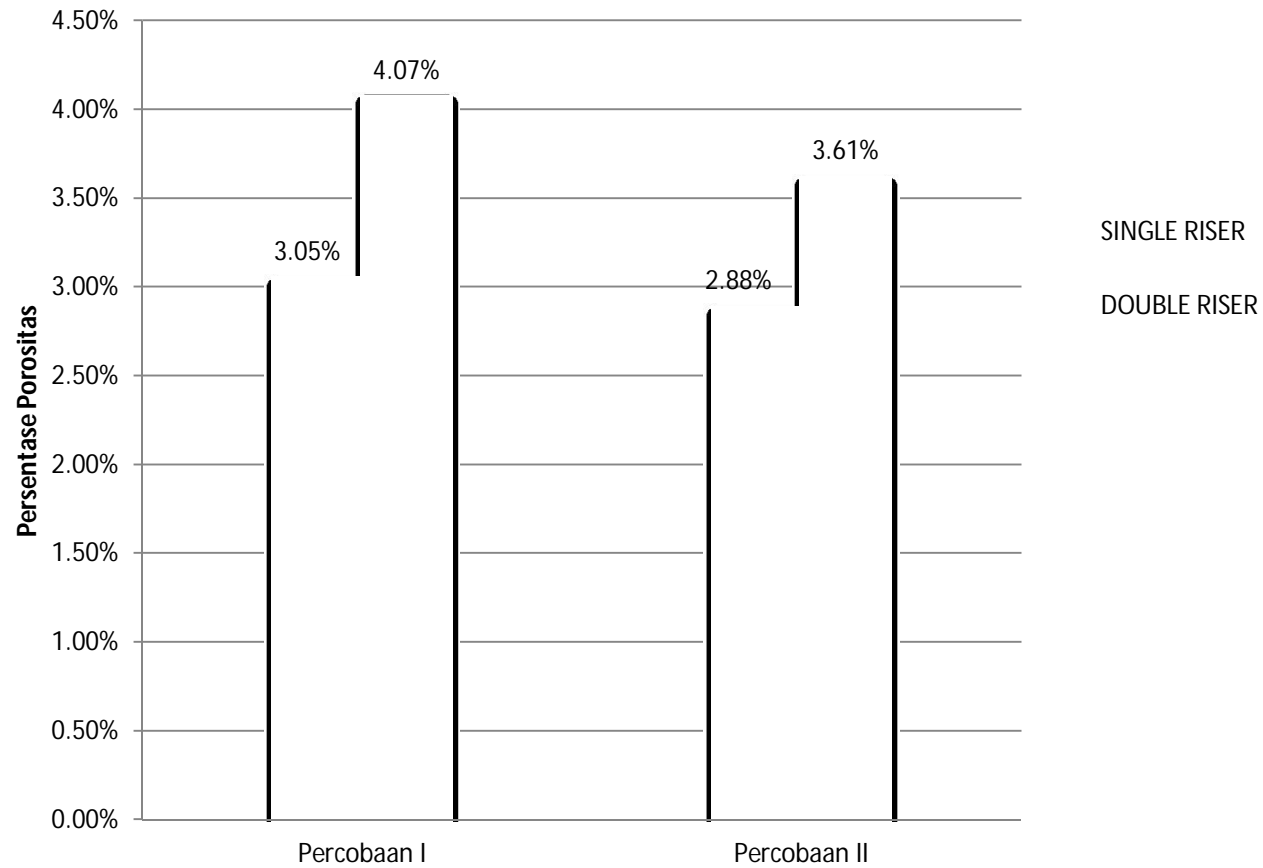
Pengujian Porositas (Kuantitatif)



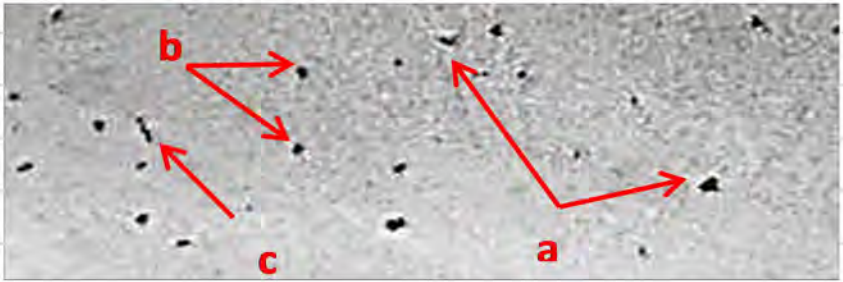
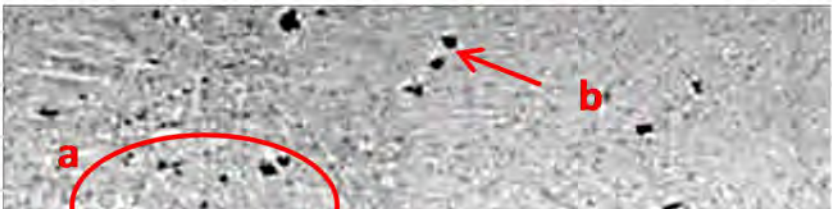
Pengujian Porositas (Kuantitatif)

Spesimen	Diameter Riser	Percobaan	Massa H ₂ O	Massa H ₂ O + Spesimen	Massa Spesimen	Volume total V _t	Volume spesimen	Persentase
----------	----------------	-----------	------------------------	-----------------------------------	----------------	-----------------------------	-----------------	------------

Pengujian Porositas (Kuantitatif)


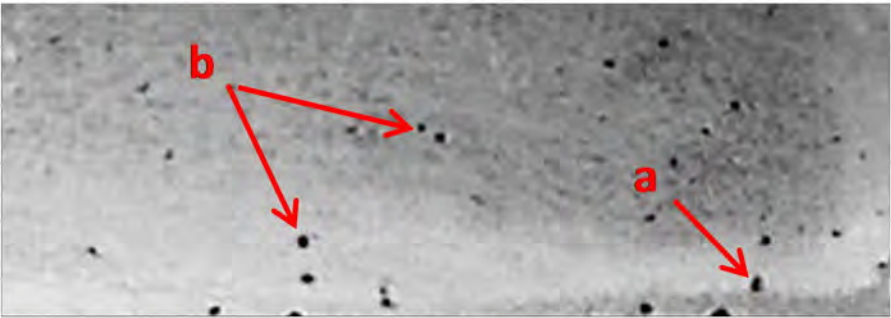
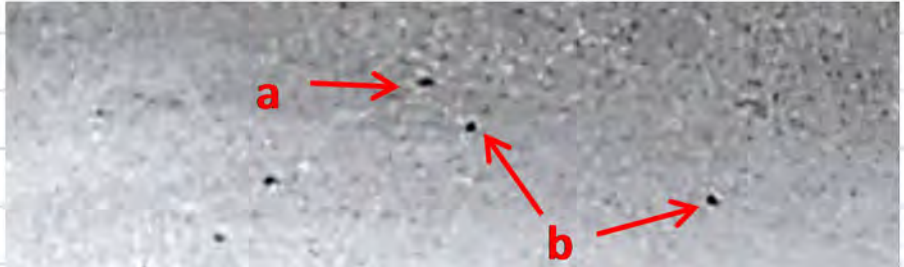


Pengujian Porositas (Kualitatif)


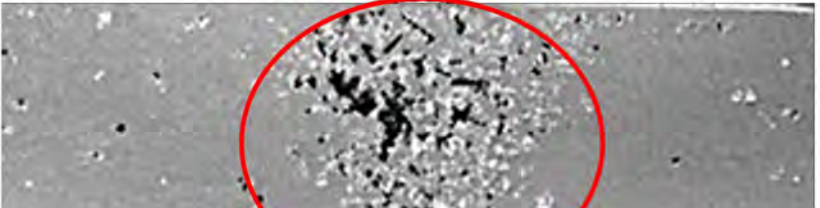
Spesimen	Potongan	Foto Makro	
TOP RISER	A		a. b. c.
	B		a. b.

Pengujian Porositas (Kualitatif)





SIDE RISER 	A		J a. M b. G
	B		J a. M b. G Ju

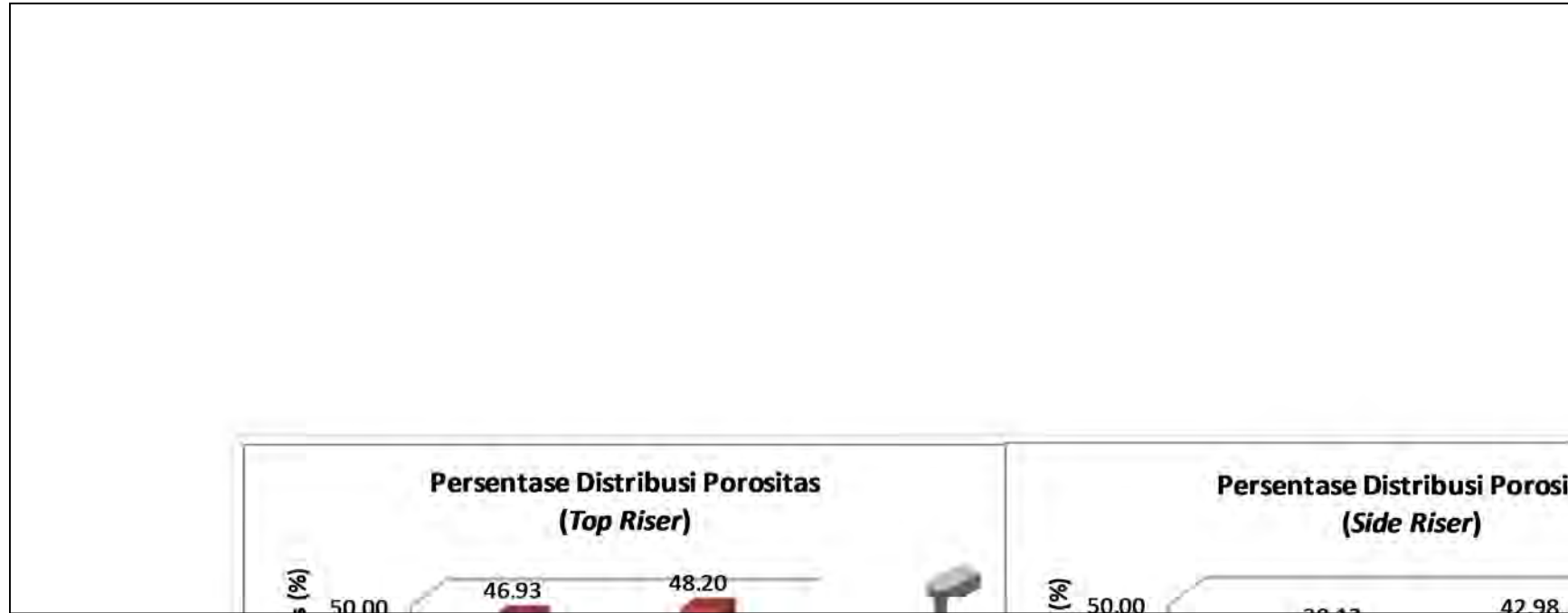
Pengujian Porositas (Kualitatif)

Spesimen	Potongan	Foto Makro	
SINGLE RISER	A		a (g)
	B		a b c

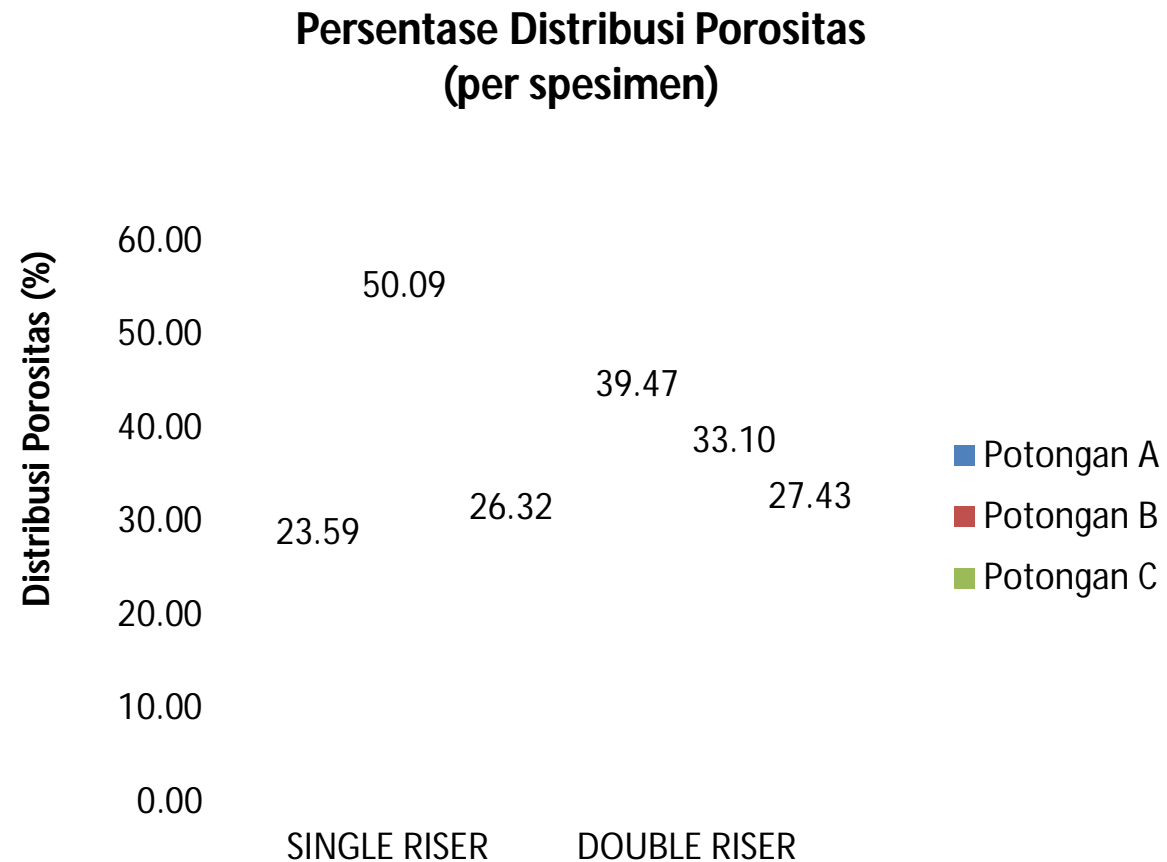
Pengujian Porositas (Kualitatif)

DOUBLE RISER	A		Je a. Mic (gas p
	B		Jun 13, Je a. Mic b. Ga c. Shri

Distribusi Cacat (Kualitatif)

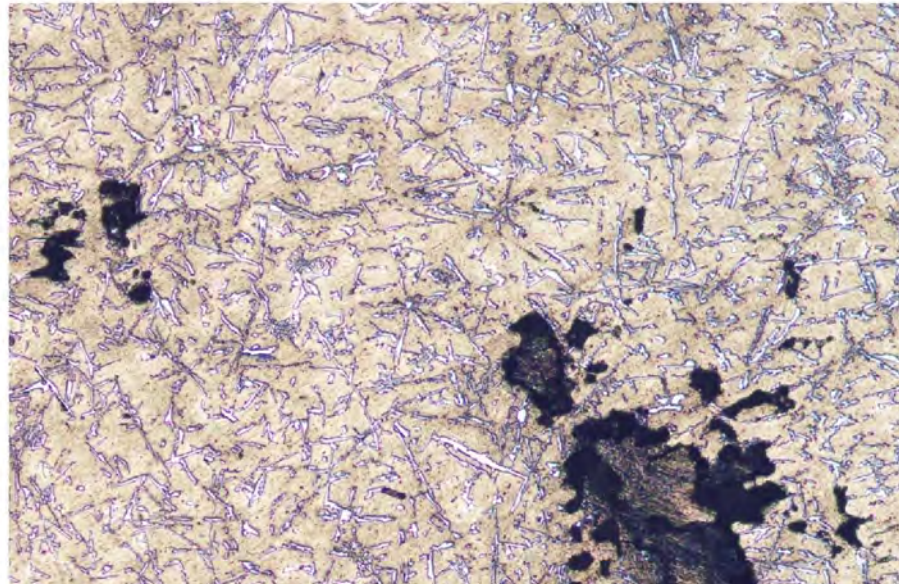


Distribusi Cacat (Kualitatif)

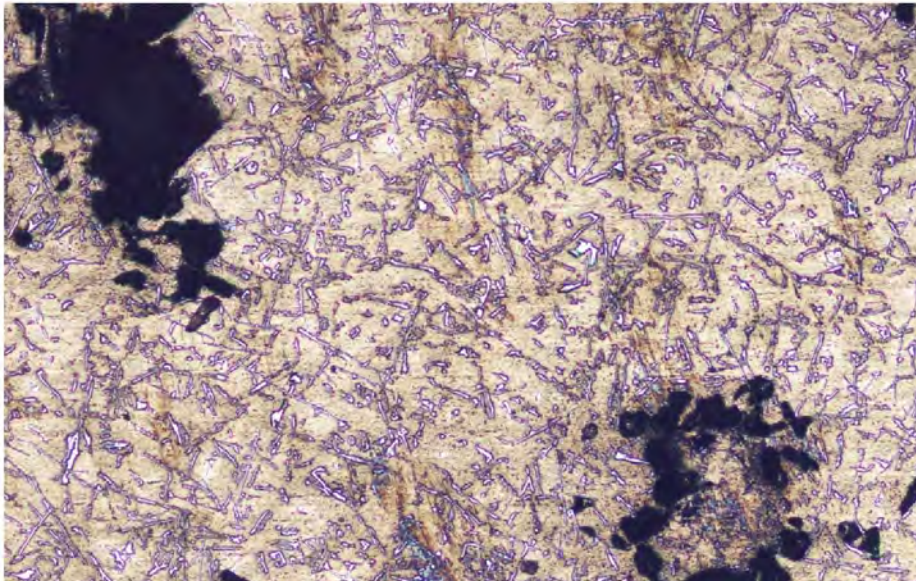


Pengujian Porositas (Kualitatif)

ℓ



Pengujian Porositas (Kualitatif)

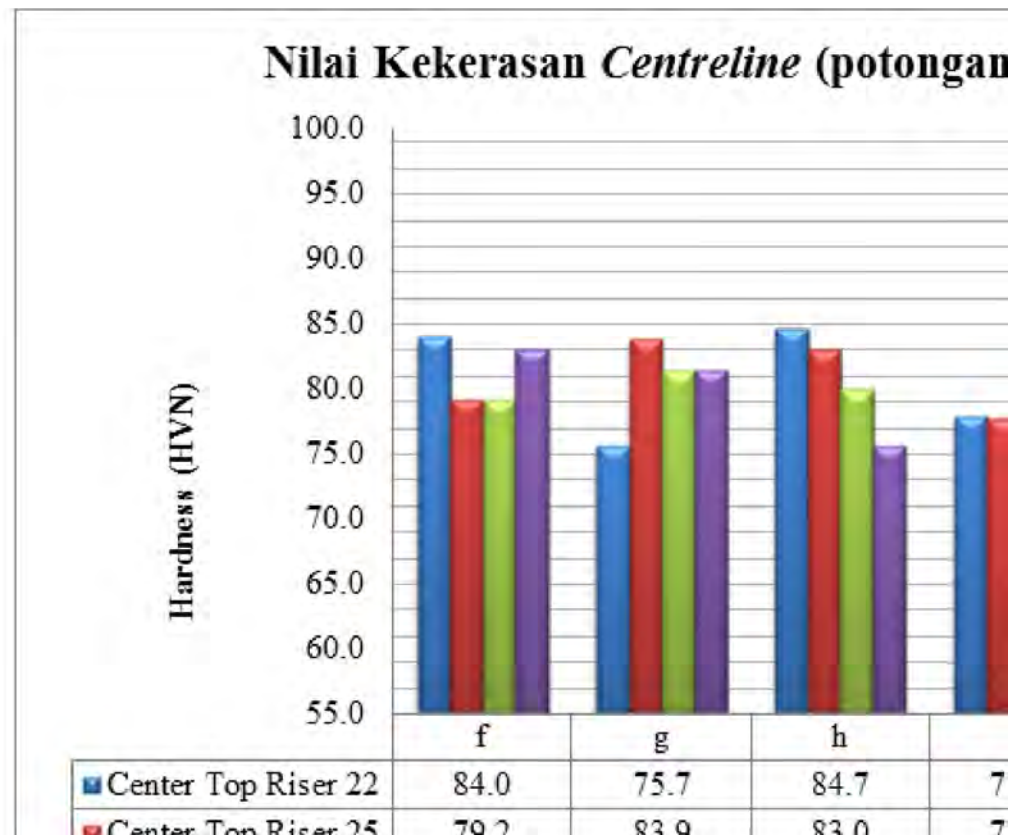


Pengujian Kekerasan (Vickers)

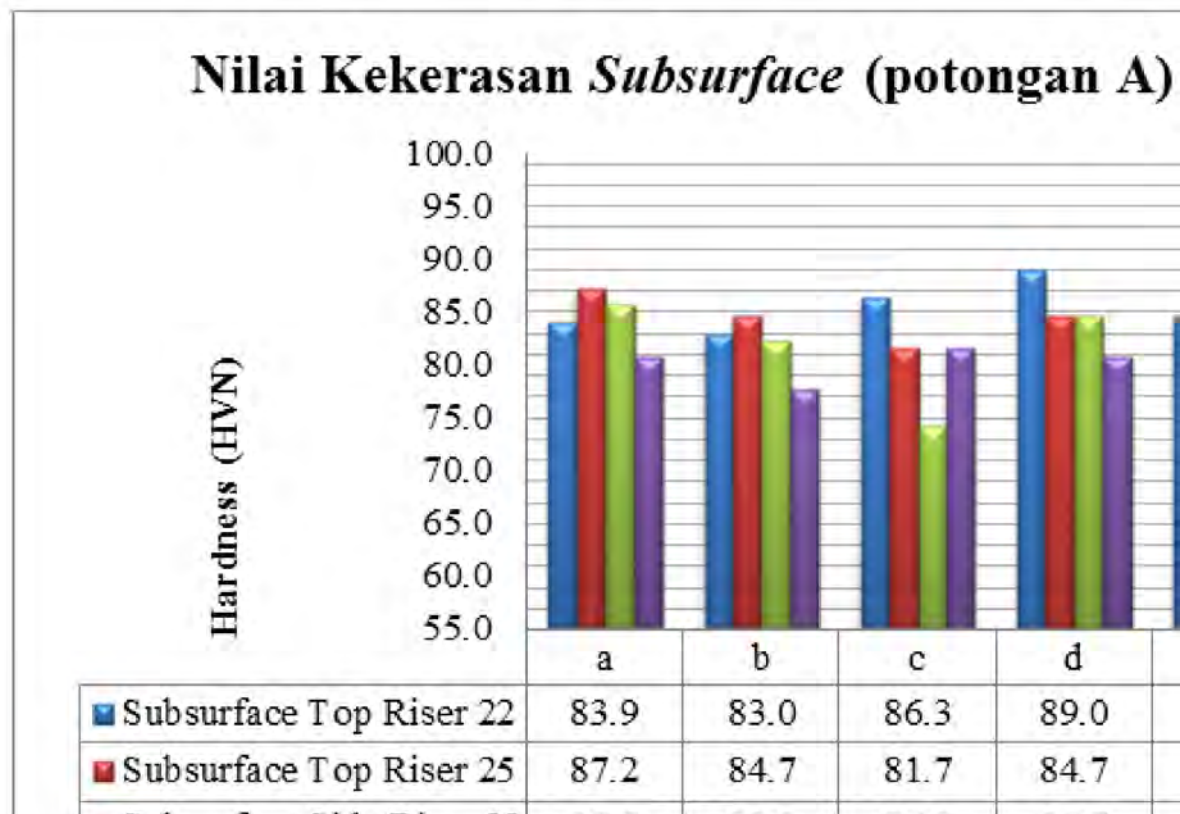
Ilustrasi daerah pemotongan spesimen uji kekerasan.



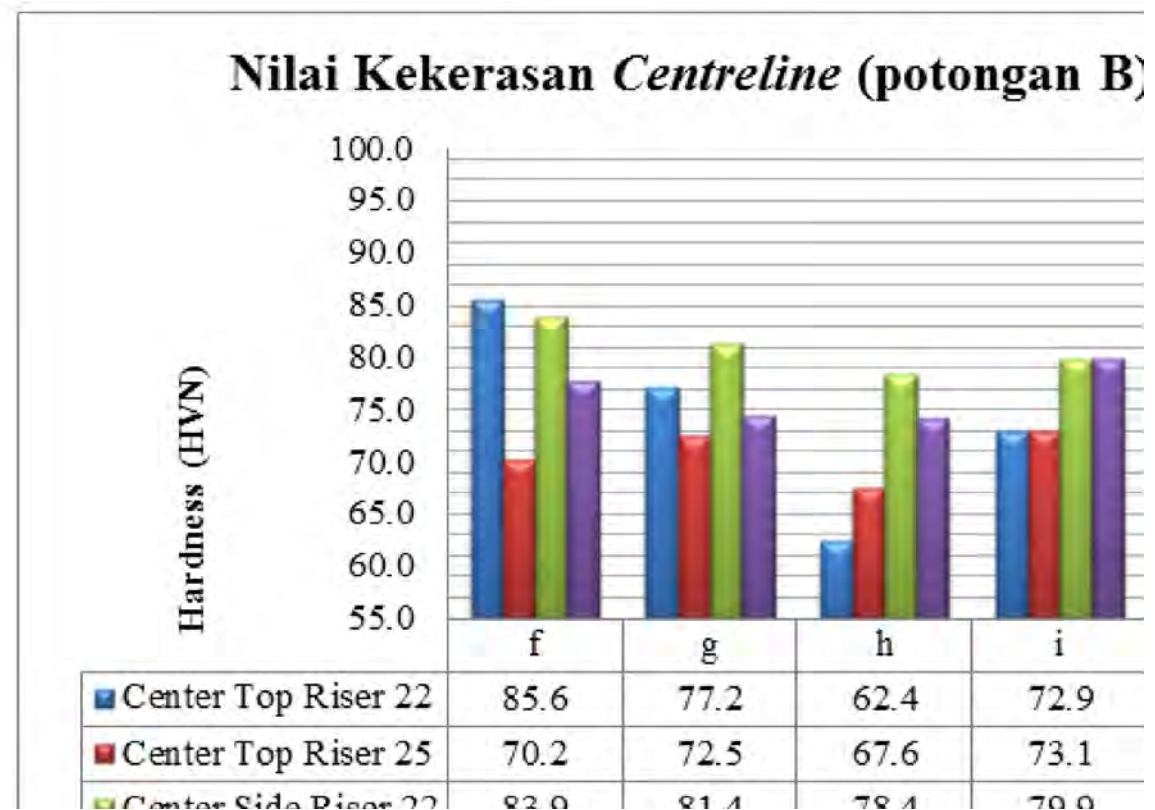
Pengujian Kekerasan (Vickers)



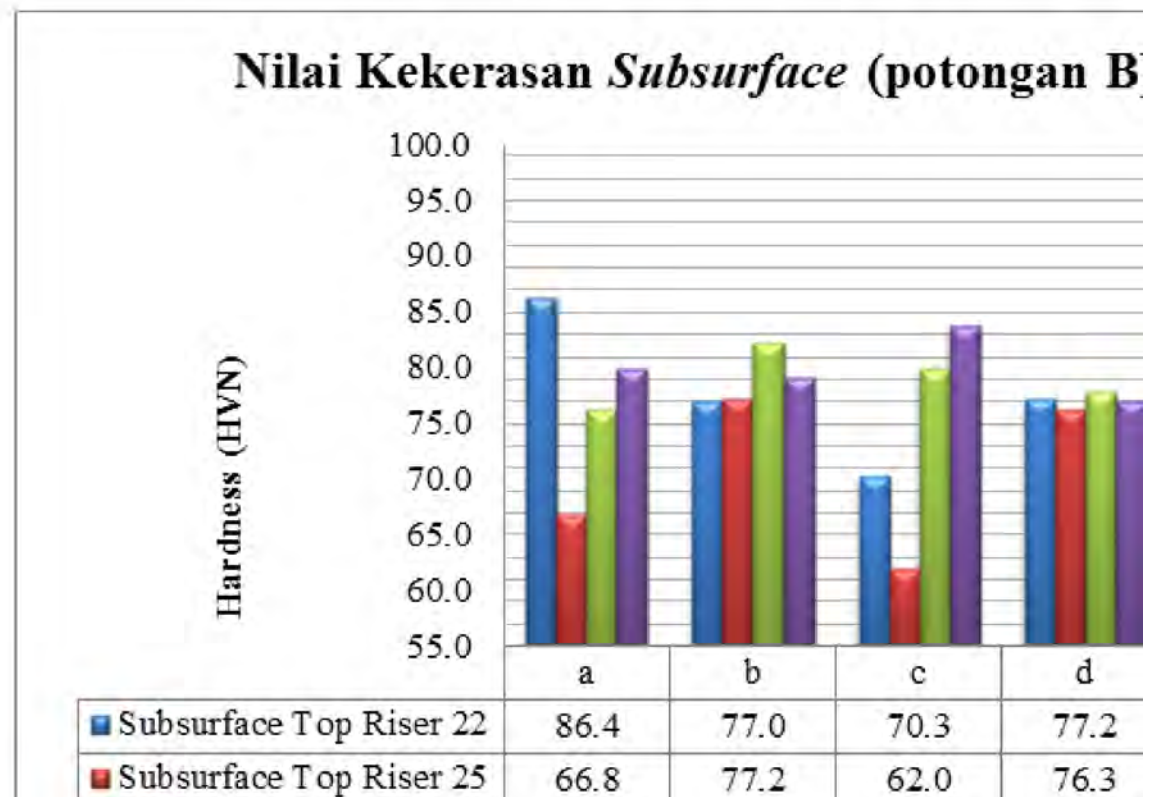
Pengujian Kekerasan (Vickers)



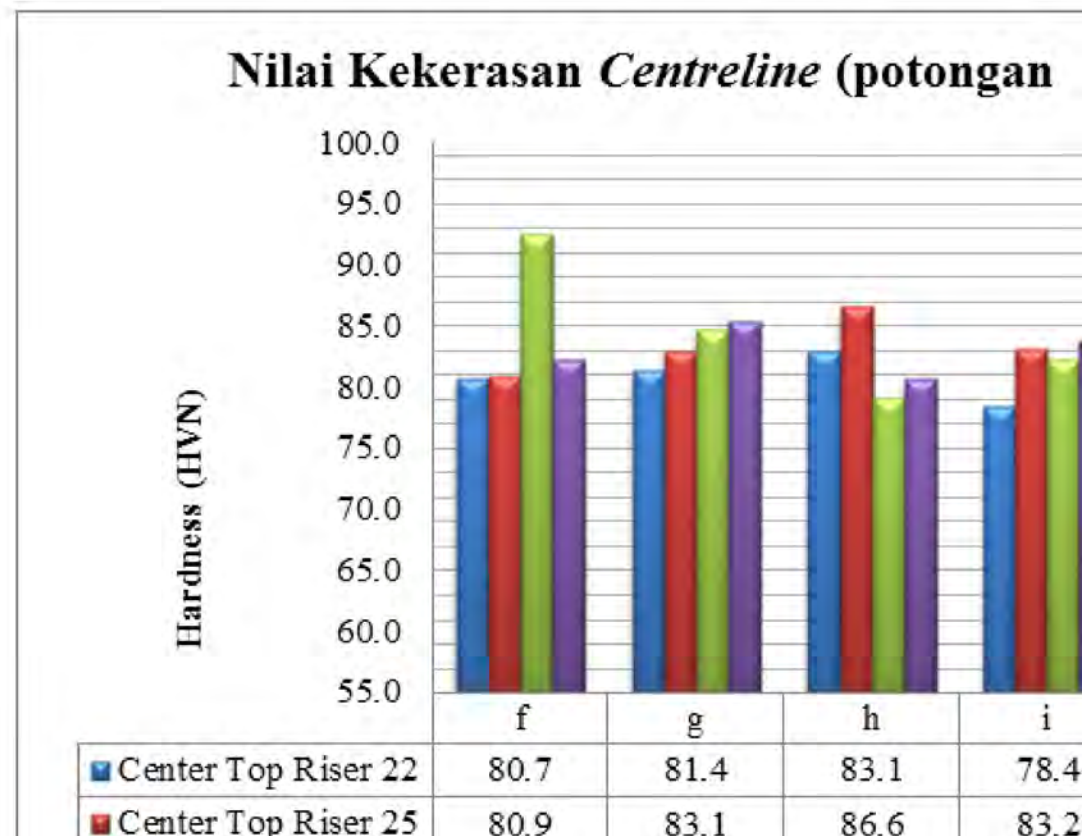
Pengujian Kekerasan (Vickers)



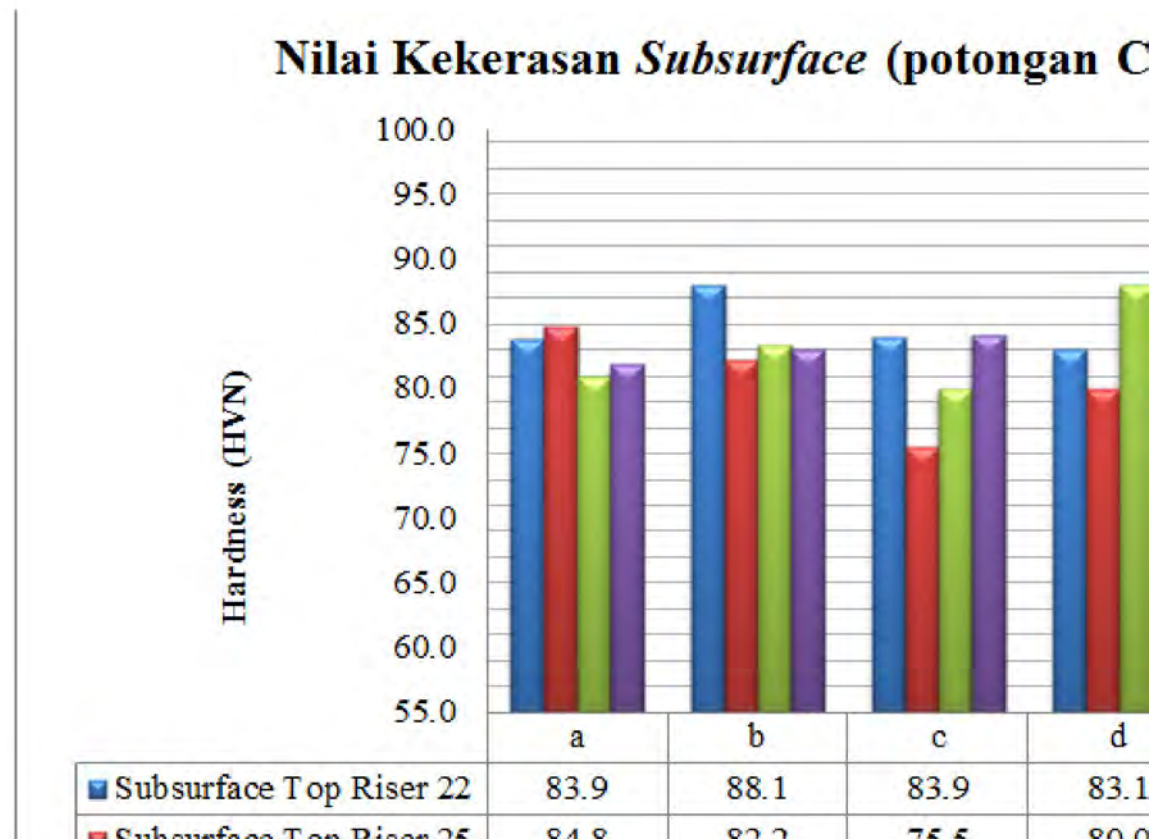
Pengujian Kekerasan (Vickers)



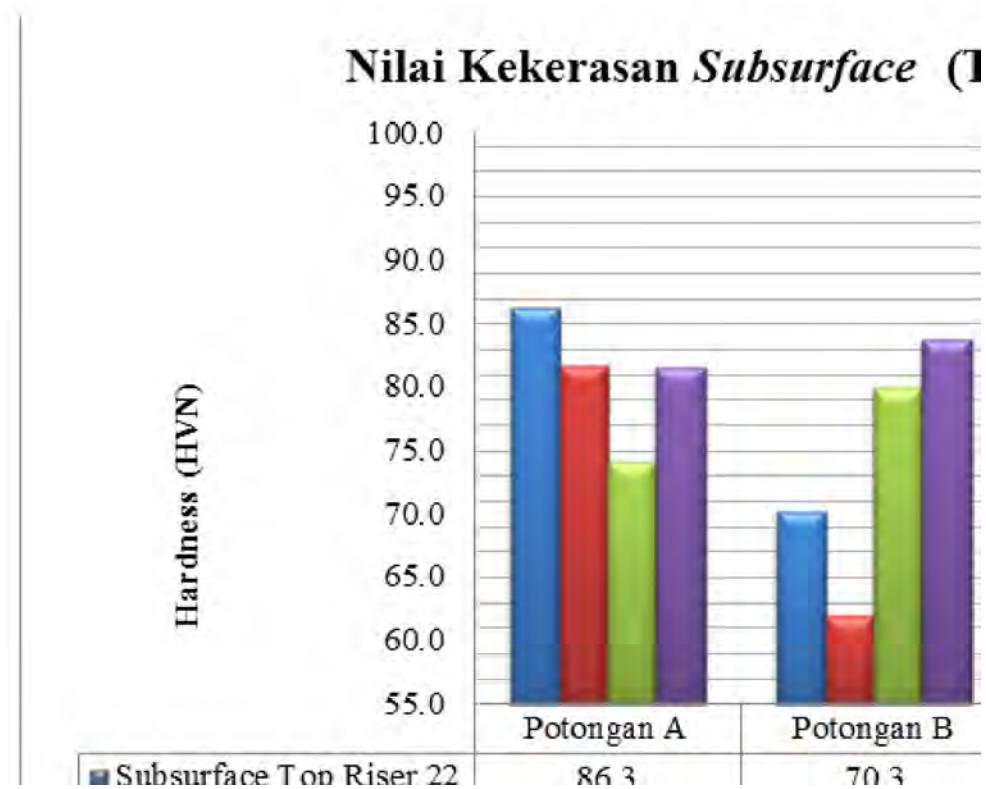
Pengujian Kekerasan (Vickers)



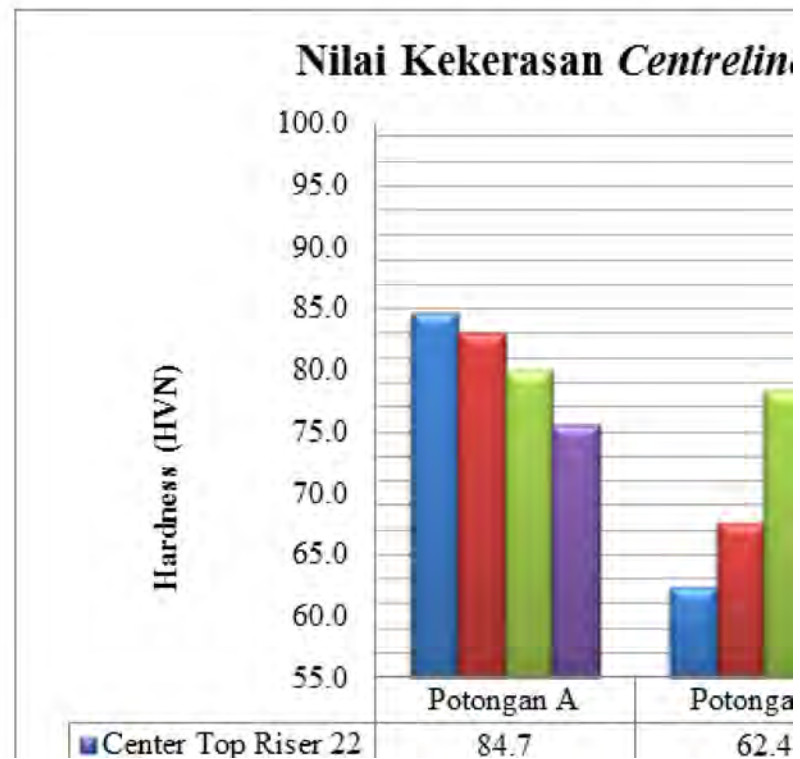
Pengujian Kekerasan (Vickers)



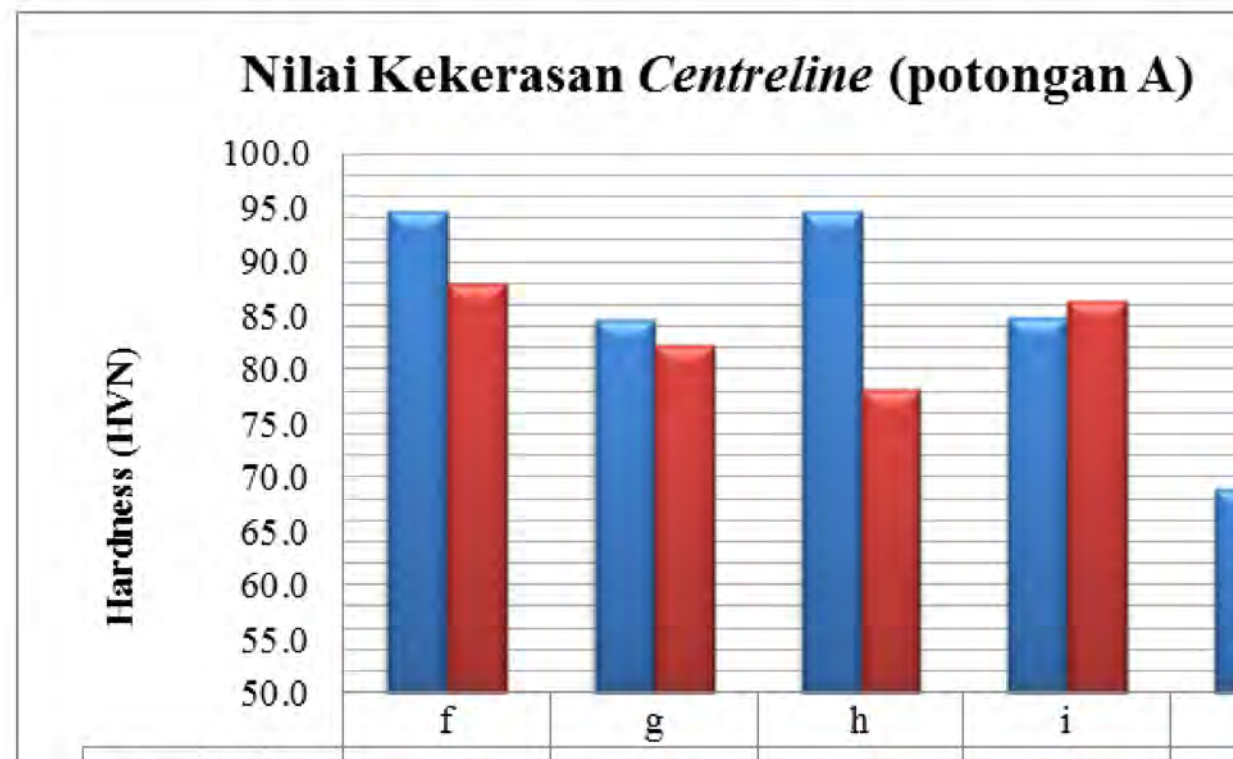
Pengujian Kekerasan (Vickers)



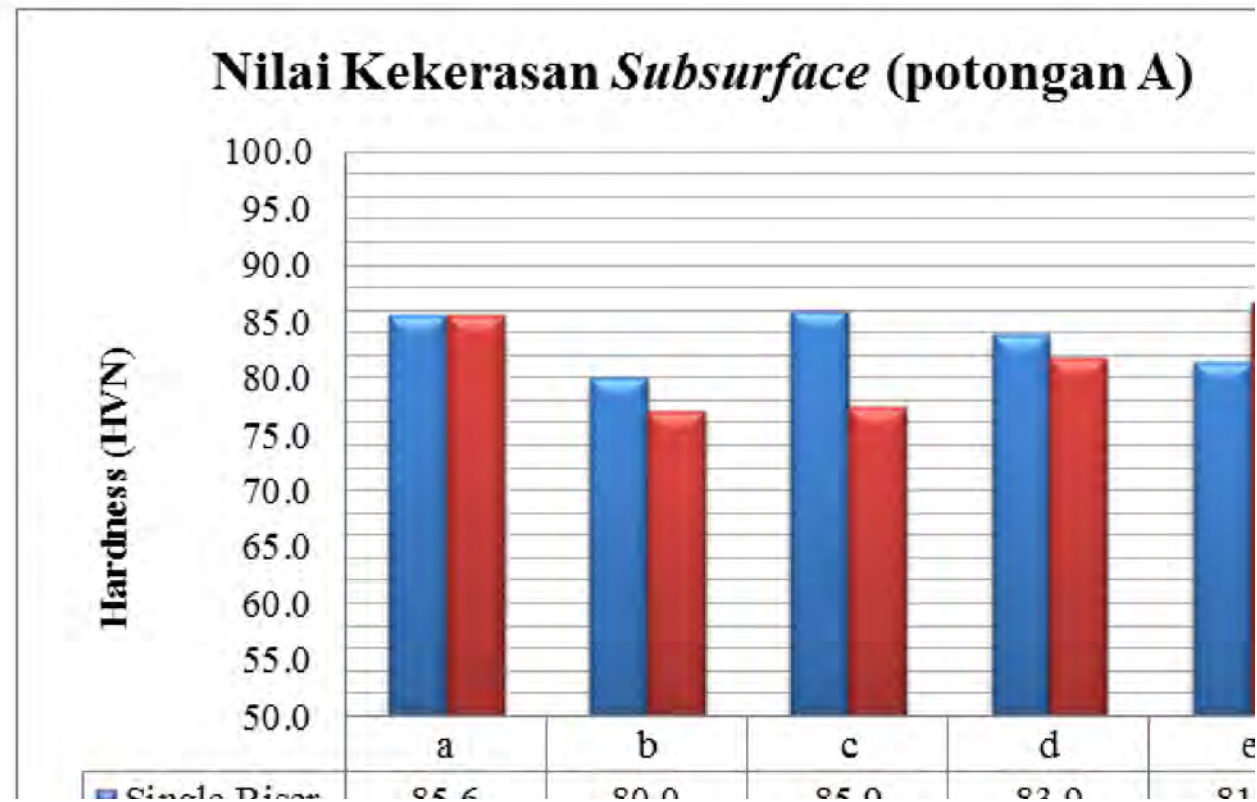
Pengujian Kekerasan (Vickers)



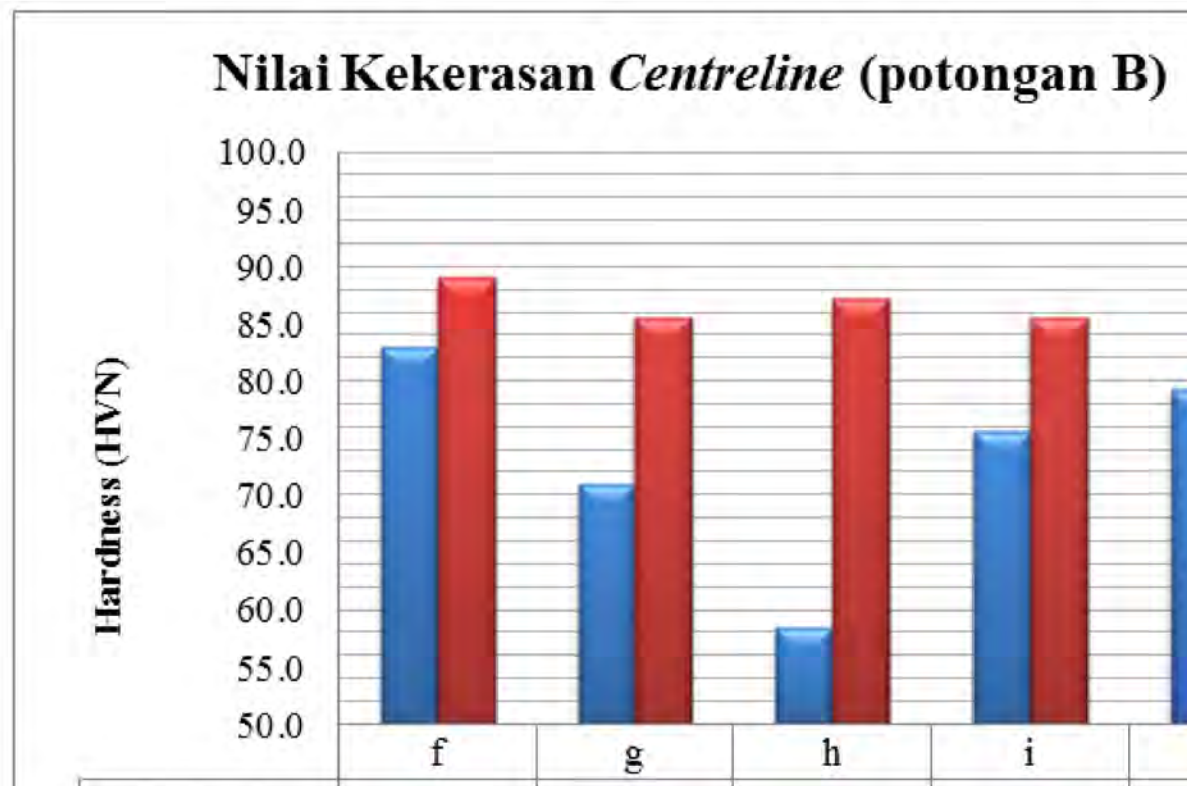
Pengujian Kekerasan (Vickers)



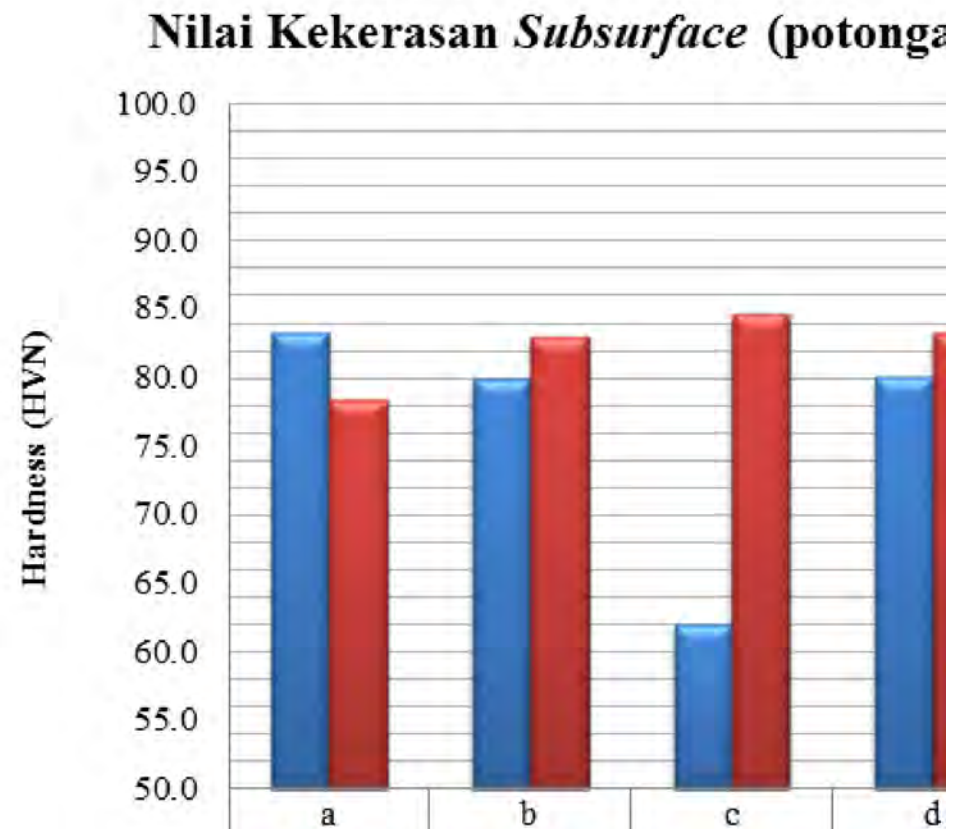
Pengujian Kekerasan (Vickers)



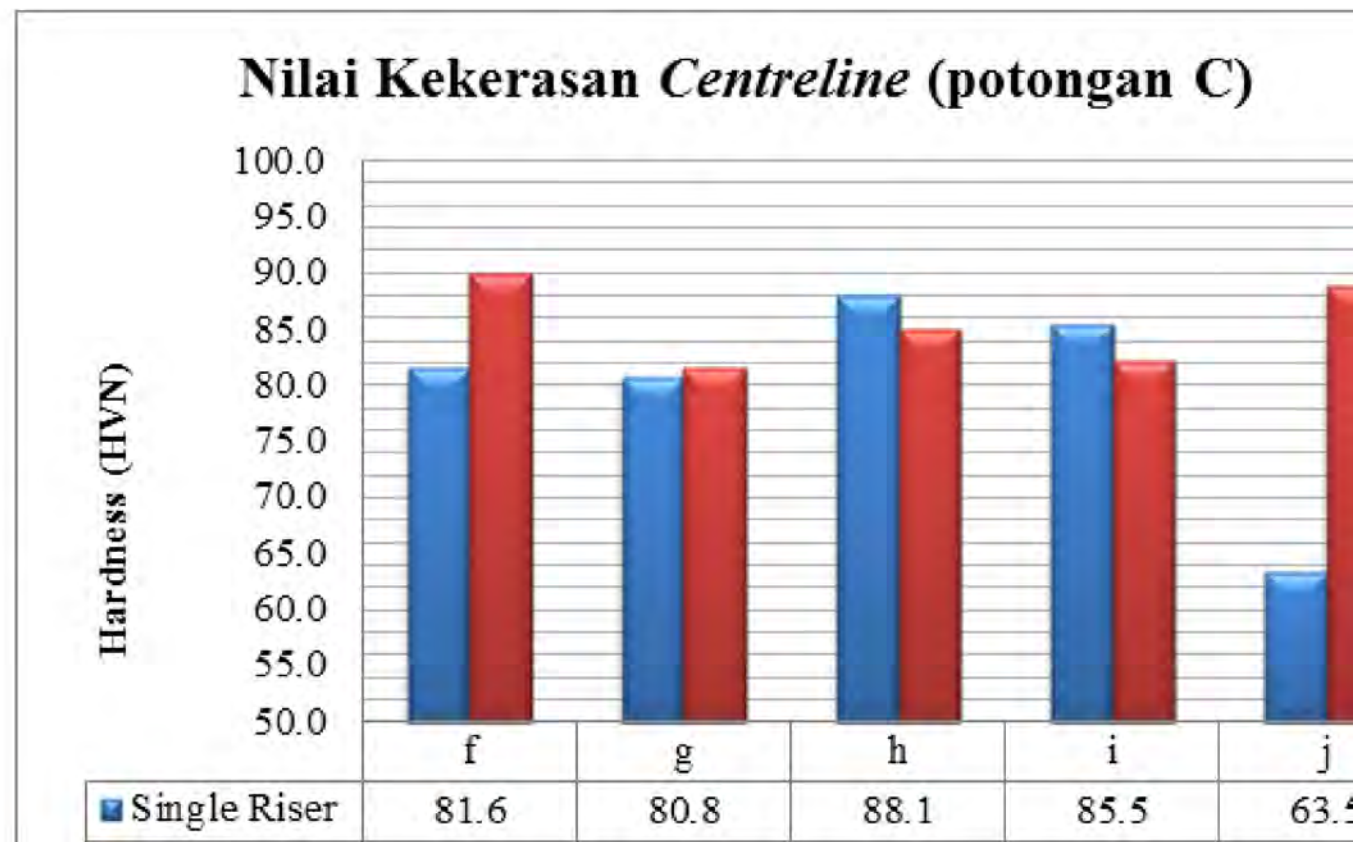
Pengujian Kekerasan (Vickers)



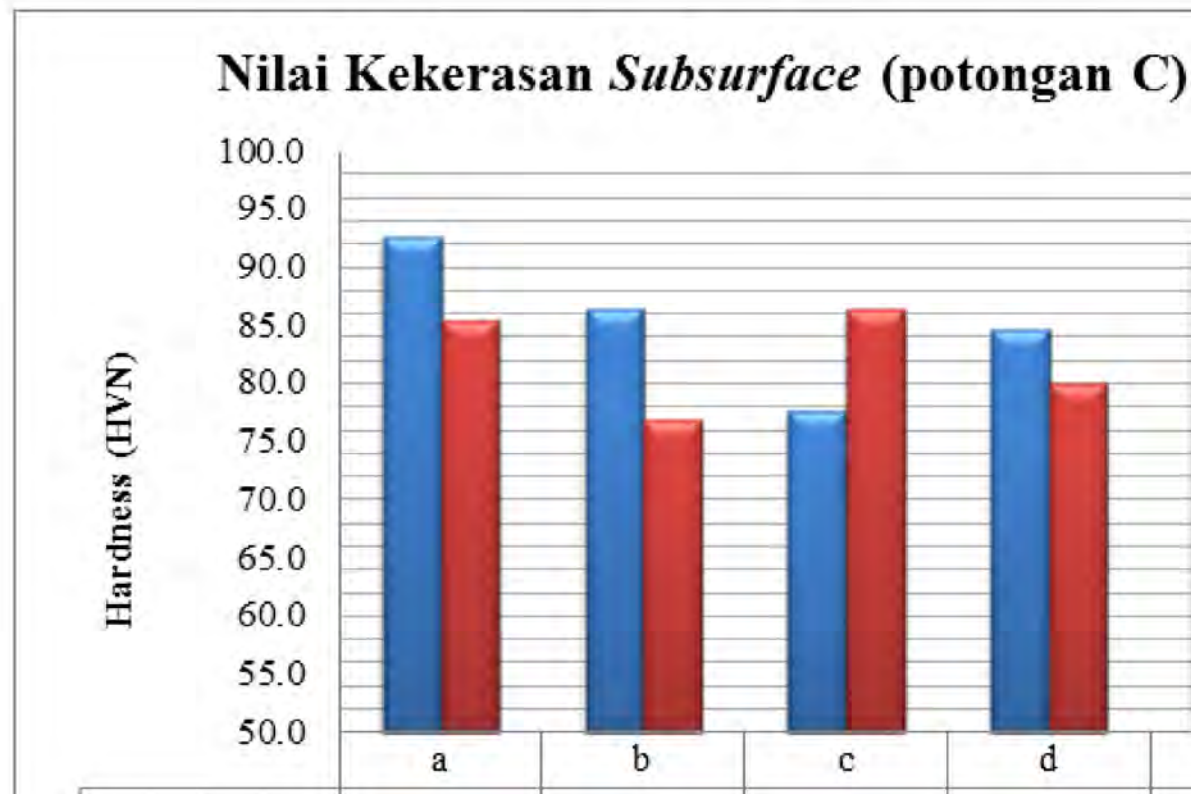
Pengujian Kekerasan (Vickers)



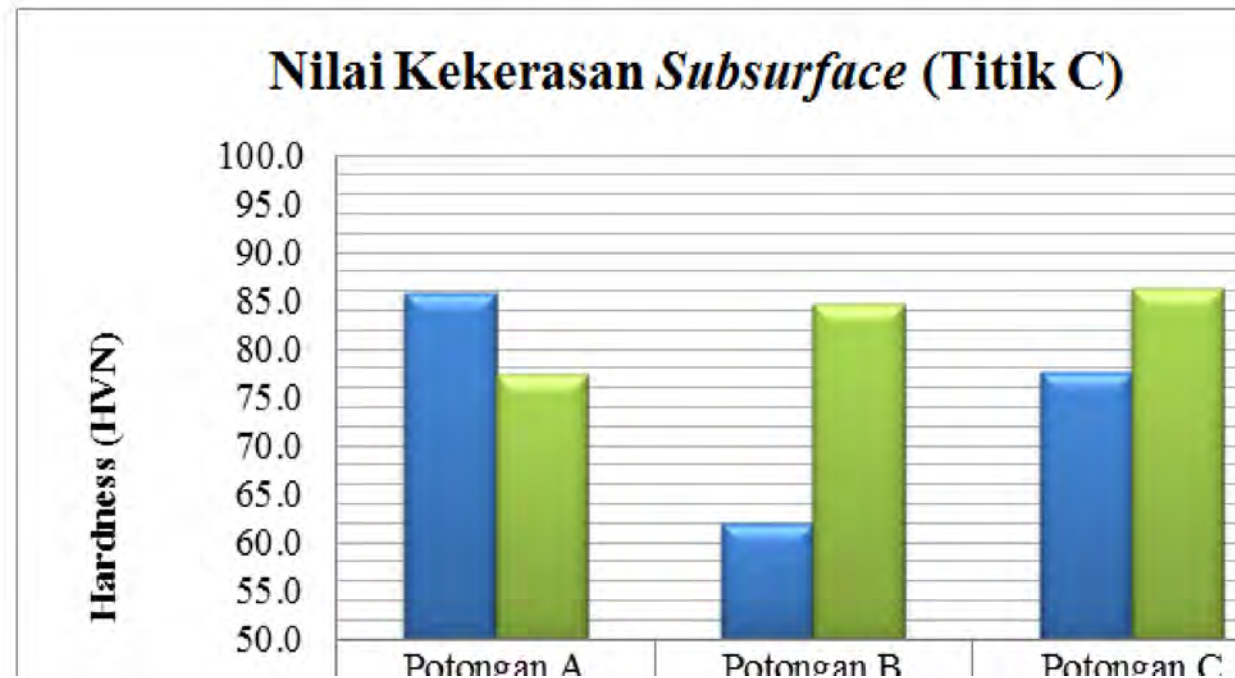
Pengujian Kekerasan (Vickers)



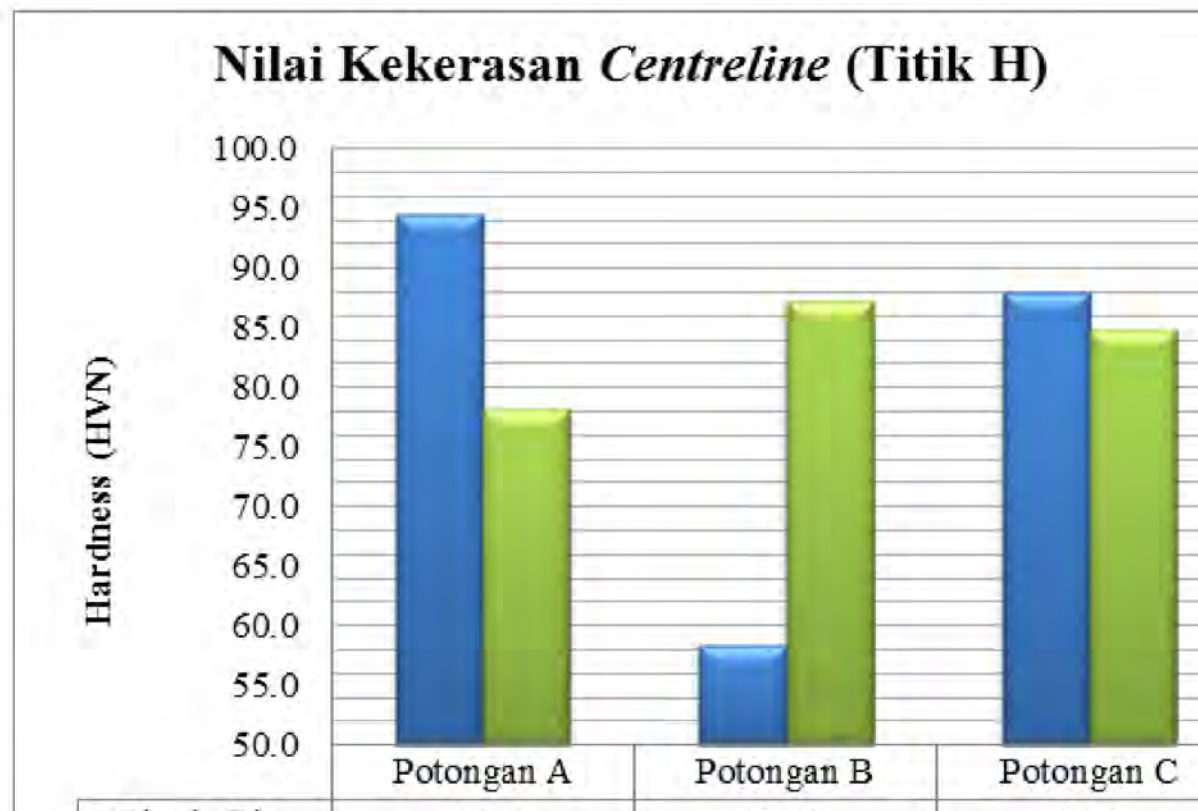
Pengujian Kekerasan (Vickers)



Pengujian Kekerasan (Vickers)



Pengujian Kekerasan (Vickers)



Pengujian Kekerasan (Vickers)

Secara keseluruhan, data distribusi nilai kekerasan yang paling merata pada satu spesimen terdapat pada spesimen dengan sistem penambah samping (*side riser*) dengan diameter penambah 22 mm maupun diameter penambah 25 mm.

Artinya, produk cor dengan sistem penambah samping memiliki proses urutan pendinginan yang sesuai sehingga distribusi nilai kekerasan yang lebih baik dan merata dapat diperoleh daripada penggunaan sistem penambah atas.

Kesimpulan (Porosity)

- ✓ Cacat yang dihasilkan dari pengecoran *lost foam* didominasi oleh cacat mikroporositas dan cacat *gas pore*.
- ✓ Letak penambah menjadi faktor dominan dalam mengurangi jumlah cacat yang terjadi pada produk cor karena selain sebagai penyuplai logam cair untuk mengkompensasi penyusutan, penambah yang diletakkan didekat *ingate* juga dapat berfungsi sebagai penjerat gas (*bubble gas trap*).
- ✓ Penggunaan diameter yang terlalu besar pada sistem penambah atas (*top riser*) akan memperparah adanya cacat pada produk cor yang biasanya menimbulkan *shrinkage cavity*.

Kesimpulan (Porosity)

- ✓ Pada parameter jumlah penambah, secara kuantitatif penambah tunggal terbukti lebih efektif mengurangi cacat porositas pada produk cor dibandingkan penambah ganda.

Namun secara kualitatif, sistem penambah tunggal memiliki cacat yang cenderung terdistribusi tepat di bawah penambah (*riser*) dalam bentuk *shrinkage cavity*, yang menunjukkan kegagalan sistem penambah tersebut dalam mengantisipasi penyusutan.

- ✓ Dari hasil pengujian cacat porositas baik secara kuantitatif maupun kualitatif, sistem penambah samping dengan diameter 25 mm memiliki persentase porositas paling sedikit dibanding sistem penambah lainnya.

Kesimpulan (*Hardness*)

- ✓ Beberapa hasil pengujian cenderung tidak menunjukkan adanya hubungan yang jelas antara nilai kekerasan dengan parameter yang diuji.
- ✓ Pada parameter letak penambah, tampak bahwa produk cor dengan sistem penambah samping memiliki nilai kekerasan yang tidak jauh berbeda dan cenderung terdistribusi merata pada seluruh permukaan potongan baik daerah *subsurface* maupun *centerline*.

Sedangkan dengan menggunakan sistem penambah atas, produk cor memiliki nilai kekerasan yang lebih rendah pada daerah tepat di bawah penambah (potongan B) dibandingkan daerah lainnya.



TERIMA KASIH