



**PENGENDALIAN KUALITAS CACAT POROSITAS PRODUK
PENGECORAN LOGAM MENGGUNAKAN METODE
TAGUCHI**

SKRIPSI

Oleh:

Indra Setiawan

151910101038

PROGRAM STUDI STRTA 1 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2019



**PENGENDALIAN KUALITAS CACAT POROSITAS PRODUK
PENGECORAN LOGAM MENGGUNAKAN METODE
TAGUCHI**

SKRIPSI

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh:

Indra Setiawan

151910101038

PROGRAM STUDI STRTA 1 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2019

PERSEMBAHAN

Dengan mengucap puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa dengan kerendahan hati, skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Kedua orang tua saya Ibu tercinta Sumarsih yang telah memberi segala do'a dukungan semangat dan materi serta Almarhum Bapak Saelan yang telah memberi dukungan semangat dan pelajaran hidup yang berharga meski beliau sudah tidak bisa melihat karya tulis ini hingga selesai. Terimakasih atas semua cinta, kasih sayang, perhatian, do'a, pengorbanan, motivasi dan bimbingan kalian semua demi terciptanya insan yang beriman dan berakhlak mulia. Semoga Allah SWT selalu melimpahkan rahmat dan karunia-Nya serta membalas semua kebaikan yang telah kalian lakukan.
2. Kakak-kakakku yang selalu memberikan motivasi, doa dan dukungan, baik moril maupun materil serta dorongan semangat dalam pendidikan.
3. Bapak Imam Sholahuddin, S.T., M.T. selaku pembimbing grup riset MRG 6 yang selalu membimbing saya, baik motivasi, arahan maupun saran yang tiada henti-hentinya selama riset. Serta keluarga besar grup riset MRG yang selalu memberikan saran dan motivasi selama riset.
4. Seluruh guru dari taman kanak-kanak hingga perguruan tinggi yang telah mendidik dan mengarahkan pada kebaikan.
5. Saudara seperjuanganku Teknik Mesin angkatan 2015.
6. Almamater Universitas Jember tercinta.

MOTTO

“Bertakwalah pada Allah maka Allah akan mengajarimu. Sesungguhnya Allah Maha Mengetahui segala sesuatu.”

(Al-Baqarah: 282)

“Sesungguhnya bersama dengan kesulitan, ada kemudahan”

(Al-Insyirah:6)

"Tiadanya keyakinanlah yang membuat orang takut menghadapi tantangan; dan saya percaya pada diri saya sendiri."

(Muhammad Ali)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Indra Setiawan

NIM : 151910101038

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “Pengendalian Kualitas Cacat Porositas Produk Pengecoran Logam Menggunakan Metode Taguchi” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 2 Agustus 2019

yang menyatakan,

Indra Setiawan

NIM 151910101038

SKRIPSI

**PENGENDALIAN KUALITAS CACAT POROSITAS PRODUK
PENGECORAN LOGAM MENGGUNAKAN METODE
TAGUCHI**

Oleh

Indra Setiawan

NIM 151910101038

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Agus Triono, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Hari Arbiantara Basuki, S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Pengendalian Kualitas Cacat Porositas Produk Pengecoran Logam Menggunakan Metode Taguchi” telah diuji dan disahkan pada:

Hari, Tanggal : 27 Januari 2019

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Ketua,

Sekretaris,

Dr. Agus Triono, S.T., M.T.
NIP. 19700807 2002 12 1 002

Hari Arbiantara Basuki, S.T., M.T.
NIP. 19670924 1994 12 1 001

Anggota I,

Anggota II,

Ir. Ahmad Syuhri, S.T., M.T.
NIP. 19670123 1997 02 1 001

Intan Hardiatama, S.T., M.T.
NIP. 19890428 2019 03 2 021

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM
NIP. 19661215 199503 2 001

RINGKASAN

Pengendalian Kualitas Cacat Porositas Produk Pengecoran Logam Menggunakan Metode Taguchi; Indra Setiawan, 151910101038; 2019; 71 halaman; Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Aluminium *scrap* merupakan penumpukan sampah aluminium bekas. Akibat dari aluminium bekas yang tidak diolah dengan baik maka dapat mengotori lingkungan, sebab logam aluminium membutuhkan waktu yang cukup lama untuk dapat larut dalam air maupun dapat terurai dalam tanah. Pemanfaatan daur ulang aluminium berpotensi menghasilkan produk berbagai komponen dan dapat mengembangkannya menjadi suatu produk alternatif.

Tingginya penggunaan logam aluminium di berbagai industri tidak lepas dari teknologi pengecoran, hal ini perlu diimbangi dengan peningkatan kualitas produk dalam mengurangi jumlah cacat yang timbul pada produk cor khususnya penggunaan cetakan pasir. Salah satunya yaitu cacat porositas. Porositas adalah suatu cacat dimana udara terperangkap akibat aliran turbulen logam cair saat proses penuangan melewati *gating system* yang dapat menurunkan kualitas hasil produk cor. Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan kombinasi yang paling optimal dari proses fabrikasi produk pengecoran logam dengan variasi faktor kendali diameter *down sprue* (mm), radius *sprue well*, dan panjang *runner* untuk menghasilkan nilai porositas yang seminimal mungkin.

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Terapan, jurusan teknik mesin, Fakultas Teknik, universitas Jember. Pada bulan januari hingga Juli 2019. Penelitian ini mengambil data nilai porositas yang dihasilkan dengan metode taguchi berdasarkan matriks orthogonal L9 (3^3) dengan pengulangan sebanyak 3 kali untuk tiap kombinasinya.

Kontribusi faktor kendali dalam mengurangi cacat porositas yang signifikan dipengaruhi oleh faktor kendali yaitu Diameter *down sprue* sebesar 83,4206%, Radius *sprue well* 2,9717% dan Panjang *runner* 11,2702%. Kondisi optimal yang

dihasilkan adalah pada Diameter down sprue level 3 (30 mm), Radius sprue well level 2 (7,5°), dan Panjang runner 1 (40mm).



SUMMARY

Pengendalian Kualitas Cacat Porositas Produk Pengecoran Logam Menggunakan Metode Taguchi; Indra Setiawan, 151910101038; 2019; 63 halaman; Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Univeritas Jember.

Aluminum scrap is a buildup of used aluminum waste. As a result of used aluminum which is not properly processed, it can pollute the environment, because aluminum metal requires a long time to dissolve in water and can decompose in the soil. The use of aluminum recycling has the potential to produce various component products and can develop it into an alternative product.

The high use of aluminum metal in various industries can not be separated from casting technology, this needs to be balanced with an increase in product quality in reducing the number of defects that arise in cast products, especially the use of sand molds. One of them is porosity defects. Porosity is a defect in which air is trapped due to turbulent flow of molten metal during the pouring process through a gating system which can reduce the quality of the results of cast products. The purpose of this research is to determine the most optimal combination of metal casting product fabrication process with variations in the control factor of down sprue diameter (mm), radius sprue well, and runner length to produce the minimum porosity value.

This research was conducted in the Applied Technology Laboratory, mechanical engineering department, Faculty of Engineering, Jember University. In January to July 2019. This study takes porosity value data generated by the Taguchi method based on the L9 orthogonal matrix (33) with repetitions of 3 times for each combination.

The contribution of the control factor in reducing porosity defects was significantly influenced by the control factor, namely the down sprue diameter of 83.4206%, the sprue well radius of 2.9717% and the runner length of 11.2702%.

The optimal conditions produced are in the diameter down sprue level 3 (30 mm), Radius sprue well level 2 (7,5°), and runner length 1 (40mm).



PRAKATA

Puji syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul “Pengendalian Kualitas Cacat Porositas Produk Pengecoran Logam Menggunakan Metode Taguchi”. Shalawat serta salam penulis curahkan kepada Nabi Muhammad SAW yang telah menunjukkan inspirasi, suri tauladan, dan jalan yang terang bagi umat manusia dalam menjalani kehidupan di dunia. Skripsi ini disusun guna memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penulis tidak lupa berterima kasih serta mengapresiasi semua pihak yang telah membantu dan mendukung selama penyusunan skripsi ini, khususnya kepada:

1. Bapak Dr. Agus Triono, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama, dan Bapak Hari Arbiantara Basuki, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah memberikan masukan dan arahan dalam penyusunan dan penulisan skripsi ini. serta Bapak Ir. Ahmad Syuhri, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Utama dan Ibu Intan Hardiatama, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Anggota yang telah memberikan kritik dan saran untuk perbaikan skripsi.
2. Pembimbing *group* riset MRG Bapak Imam Sholahuddin S.T.,M.T dan Keluarga besar MRG yang selalu memberikan bimbingan, motivasi, arahan dukungan, ide dan bantuan dalam penyelesaian skripsi ini.
3. Semua pihak yang telah membantu dan memberi masukan dalam penyelesaian skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Semoga hasil dari penelitian ini dapat memberikan manfaat dan wawasan bagi semua pembaca.

Jember, 2 Agustus 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN.....	v
HALAMAN PEMBIMBING	vi
HALAMAN PENGESAHAN.....	vii
RINGKASAN	viii
SUMMARY	x
PRAKATA	xii
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	4
1.6 Hipotesis.....	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Pengecoran Logam.....	5
2.1.1 Jenis-jenis pengecoran logam	5
2.1.2 Bahan-bahan pengecoran	5
2.2 Pengecoran Cetakan Pasir	5

2.2.1 Syarat bagi pasir cetak	6
2.2.2 Jenis-jenis cetakan pasir	6
2.3 Metode Pembuatan Pengecoran Logam	6
2.3.1 Pola (<i>pattern</i>)	7
2.3.2 Sistem saluran (<i>gating system</i>).....	7
2.3.3 Pembuatan cetakan (<i>moulding</i>).....	9
2.3.4 Proses peleburan (<i>melting</i>).....	10
2.3.5 Proses penuangan (<i>pouring</i>).....	12
2.4 Cacat Porositas	12
2.4.1 Usaha pencegahan cacat porositas	13
2.5 Aluminium Daur Ulang	14
2.6 Metode Taguchi.....	14
2.6.1 Keunggulan metode taguchi.....	14
2.6.2 Kekurangan metode taguchi.....	15
2.7 Desain Eksperimen Taguchi	15
2.7.1 Tahap perencanaan eksperimen	15
2.7.2 Tahap pelaksanaan eksperimen.....	17
2.7.3 Tahap analisa.....	17
2.7.4 Interpretasi Hasil Eksperimen	22
2.7.5 Eksperimen Konfirmasi	25
2.8 Hasil Penelitian Terdahulu	25
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN.....	27
3.1 Metode Penelitian.....	27
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	27
3.3 Alat dan Bahan.....	27
3.3.1 Alat.....	27
3.3.2 Bahan	28
3.4 Variabel Penelitian.....	28

3.4.1 Variabel bebas	28
3.4.2 Variabel Terikat	28
3.4.3 Variabel Kontrol.....	28
3.5 Tahapan Penelitian	29
3.5.1 Pembuatan pola	29
3.5.2 Pembuatan cetakan.....	29
3.5.3 Peleburan logam.....	30
3.5.4 Penuangan	30
3.5.5 Pembongkaran.....	30
3.5.6 Hasil pengujian.....	30
3.6 Pengambilan Data	31
3.7 Metode Analisis	32
3.8 Diagram Alir Penelitian.....	35
3.9 Rencana Penelitian.....	36
BAB 4. PEMBAHASAN	37
4.1 Data Hasil Percobaan	37
4.2 Perhitungan S/N Rasio.....	38
4.3 Kombinasi Variasi Optimal	39
4.4 Analisa Varian, Uji F, dan Persen Kotribusi.....	41
4.5 Prediksi Respon Optimal.....	45
4.6 Eksperimen Konfirmasi.....	46
4.7 Pembahasan	48
4.7.1 Pengaruh Faktor Kendali Terhadap Nilai Porositas.....	48
BAB 5. PENUTUP.....	51
5.1 Kesimpulan	51
5.2 Saran	51
DAFTAR PUSTAKA	52
LAMPIRAN.....	54

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Ukuran pengalir (Surdia dan Chijjiwa, 1996).....	9
Tabel 2.2 Tabel matriks ortogonal $L_9(3^3)$	17
Tabel 3. 1 Variasi bebas	28
Tabel 3. 2 Tabel kode sampel	31
Tabel 3. 3 Data hasil pengujian porositas hasil coran.....	33
Tabel 3. 4 Hasil analisis varians dan kontribusi parameter berpengaruh.....	34
Tabel 3. 5 Rencana penelitian	36
Tabel 4. 1 Data hasil eksperimen persentase cacat porositas.....	37
Tabel 4. 2 Data hasil S/N rasio.....	39
Tabel 4. 3 Respon rata-rata nilai S/N rasio untuk setiap faktor kendali	40
Tabel 4. 4 Kombinasi parameter sistem saluran respons optimum.....	41
Tabel 4. 5 Hasil ANOVA faktor kendali fabrikasi produk pengecoran.....	42
Tabel 4. 6 Kondisi hipotesa H_0	44
Tabel 4. 7 Persen kontribusi tiap faktor kendali	44
Tabel 4. 8 Hasil nilai porositas eksperimen konfirmasi.....	46
Tabel 4. 9 Persen kontribusi tiap faktor kendali	48

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Aliran proses pada pembuatan coran (Surdia dan Chijiiwa, 1996).....	6
Gambar 2. 2 Istilah-istilah sistem saluran (Surdia dan Chijiiwa, 1996)	8
Gambar 2. 3 Bentuk saluran masuk (Surdia dan Chijiiwa, 1996).....	9
Gambar 2. 4 Rangka cetakan (Surdia dan Chijiiwa, 1996).....	10
Gambar 2. 5 Konstruksi kupola biasa (Surdia dan Chijiiwa, 1996).....	11
Gambar 2. 6 Tanur induksi jenis krus (Surdia dan Chijiiwa, 1996)	11
Gambar 2. 7 Tanur induksi jenis saluran(Surdia dan Chijiiwa, 1996).....	12
Gambar 2. 8 Cacat lubang jarum atau porositas (Surdia dan Chijiiwa, 1996).....	13
Gambar 2. 9 Perubahan letak saluran turun untuk mencegah rongga udara (Surdia dan Chijiiwa, 1996).....	13
Gambar 2. 10 Hasil Uji Densitas (Aryadita, 2018).....	25
Gambar 3. 1 Pola cetakan.....	29
Gambar 3. 2 Diagram alir penelitian.....	36
Gambar 4. 1 Nilai plot rata-rata S/N rasio	40
Gambar 4. 2 Plot rata-rata percobaan eksperimen konfirmasi dan prediksi	47
Gambar 4. 3 Skema aliran solidifikasi logam cair pada cetakan (Utomo dkk., 2017)	50



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini perkembangan teknologi didunia industri pengecoran logam berkembang pesat, seiring berkembangnya teknik dan metode pengecoran serta berbagai model produk cor yang membanjiri pasar domestik (Slamet dan Hidayat, 2010). Dalam bidang industri penggunaan logam aluminium sangatlah dibutuhkan, baik skala kecil maupun skala besar. Sifat-sifat penting yang menyebabkan dipilihnya aluminium adalah ringan, tahan korosi, penghantar panas dan listrik yang baik. Oleh karena itu aluminium banyak digunakan pada peralatan rumah tangga dan komponen mesin yang memiliki sifat ringan seperti *pulley*, *impeller* turbin, piston, *velg*, dan lain-lain.

Aluminium *scrap* merupakan penumpukan sampah aluminium bekas. Akibat dari aluminium bekas yang tidak diolah dengan baik maka dapat mengotori lingkungan, sebab logam aluminium membutuhkan waktu yang cukup lama untuk dapat larut dalam air maupun dapat terurai dalam tanah. Pemanfaatan daur ulang aluminium berpotensi menghasilkan produk berbagai komponen dan dapat mengembangkannya menjadi suatu produk alternatif.

Tingginya penggunaan logam aluminium di berbagai industri tidak lepas dari teknologi pengecoran, hal ini perlu diimbangi dengan peningkatan kualitas produk dalam mengurangi jumlah cacat yang timbul pada produk cor khususnya penggunaan cetakan pasir. Salah satunya yaitu cacat porositas. Porositas adalah suatu cacat dimana udara terperangkap akibat aliran turbulen logam cair saat proses penuangan melewati *gating system* yang dapat menurunkan kualitas hasil produk cor (Wibowo dkk., 2017).

Pada penelitian yang dilakukan (Wibowo dkk., 2017) bahwa desain *gating system* dengan panjang *runner* 60 mm dan radius *sprue well* 10 mm memiliki porositas terendah dengan angka *density* tertinggi yaitu 8,94 g/cm³. Pada penelitian yang dilakukan oleh (Aryadita, 2018) bahwa saluran turun (*down sprue*) diameter 22 mm pada cetakan logam memiliki pengaruh terhadap hasil pengecoran dengan tingkat porositas terendah dengan angka *density* tertinggi yaitu 2,90 g/cm³.

Metode statistika telah banyak dikembangkan dan digunakan pada berbagai bidang, salah satunya ialah bidang optimasi. Metode statistika yang biasa diterapkan untuk optimasi adalah Taguchi. Metode Taguchi merupakan salah satu metode yang efektif untuk mengendalikan kualitas produk secara off-line, yaitu usaha pengendalian atau perbaikan kualitas yang dimulai dari perancangan hingga pemrosesan produk (Ermawati dan Hartati, 2014). Metode Taguchi adalah pendekatan yang efisien dengan menggunakan perencanaan percobaan untuk menghasilkan kombinasi faktor atau level yang dapat dikendalikan dengan memperhatikan biaya yang kecil namun tetap memenuhi permintaan konsumen, salah satu pada penerapan metode pada pengecoran logam. Pada penelitian yang dilakukan (HB, 2011) bahwa aplikasi metode Taguchi diterapkan pada kekuatan tarik coran propeller yang termasuk dalam karakteristik *higher is better* karena semakin tinggi kekuatan tarik coran *propeller* maka semakin bagus kualitasnya.

Pada penelitian ini akan mendalami sistem saluran yaitu diameter *down sprue*, radius *sprue well*, dan panjang *runner*. Dengan membandingkan variasi ukuran diameter *down sprue*, radius *sprue well*, dan panjang *runner* diharapkan dapat memperbaiki kualitas produk cor aluminium dengan cetakan pasir. Serta dapat mencari parameter yang optimal dari ketiga variasi tersebut untuk menghasilkan produk cor dengan cacat porositas yang minimal.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang penelitian diatas diperoleh perumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh faktor diameter *down sprue* (mm), radius *sprue well* , dan panjang *runner* (mm) terhadap nilai porositas yang dihasilkan pada produk pengecoran logam ?
2. Bagaimana menentukan variasi parameter proses pembuatan *gating system* yang optimal untuk menghasilkan produk cor dengan porositas terendah menggunakan perhitungan metode taguchi ?

1.3 Batasan Masalah

Beberapa batasan yang diterapkan yakni untuk mempermudah analisa dalam penelitian ini, antara lain:

1. Penelitian ini menganalisa pengaruh parameter diameter *down sprue*, radius *sprue well*, dan panjang *runner* terhadap cacat porositas
2. Metode analisis yang digunakan metode taguchi untuk mengetahui kombinasi parameter yang optimal
3. Material yang digunakan adalah aluminium scrap
4. Waktu peleburan dan suhu saat proses peleburan dianggap seragam
5. Cetakan yang digunakan yaitu cetakan pasir
6. Menggunakan peleburan dengan dapur konvensional
7. Analisis cacat coran porositas gas
8. Pengujian porisitas menggunakan metode penimbangan dan perbandingan densitas teoritis dan densitas aktual
9. Tidak menganalisa struktur mikro hasil coran

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini:

1. Mengetahui pengaruh diameter *down sprue* (mm), radius *sprue well* , dan panjang *runner* (mm) terhadap nilai porositas yang dihasilkan pada produk pengecoran logam.

2. Mengetahui variasi parameter proses pembuatan *gating system* yang optimal untuk menghasilkan produk cor dengan porositas terendah menggunakan perhitungan metode taguchi.

1.5 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini:

1. Dapat menentukan proses yang optimal produk cor dengan menggunakan metode taguchi.
2. Dapat meningkatkan kualitas produk cor dengan mengetahui tingkat porositas terendah.

1.6 Hipotesis

Hipotesis awal dari penelitian ini akan diperoleh semakin besar diameter *down sprue* semakin kecil nilai porositas hasil coran karena rendahnya aliran turbulensi pada penuangan, perubahan dimensi radius *sprue well* mempengaruhi nilai porositas hasil coran karena akan mengubah laju aliran logam cair, dan semakin pendek runner semakin kecil nilai porositas hasil coran karena aliran logam cair bertransisi menjadi laminar yang cepat saat masuk kedalam cetakan. Dengan menggunakan metode taguchi dapat menentukan kombinasi diameter *down sprue*, radius *sprue well*, dan panjang *runner* yang digunakan akan menghasilkan produk cor dengan nilai cacat porositas yang minimal.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengecoran Logam

Pengecoran logam adalah suatu proses pembentukan produk cor dengan cara mencairkan logam pada tungku peleburan pada suhu tertentu kemudian dituangkan kedalam cetakan yang sudah disediakan dan dibiarkan hasil cor sampai membeku. Pada tahun 4.000 sebelum masehi, sejarah tentang pengecoran logam dimulai ketika orang mengetahui bagaimana mencairkan logam dan bagaimana membuat cetakan (Surdia dan Chijjiwa, 1996).

2.1.1 Jenis-jenis pengecoran logam

Ada beberapa jenis pengecoran logam yang sering digunakan, antara lain:

- a. Pengecoran cetakan pasir
- b. Pengecoran cetak
- c. Pengecoran cetakan rendah
- d. Pengecoran sentrifugal

2.1.2 Bahan-bahan pengecoran

Ada beberapa bahan pengecoran, antara lain:

- a. Coran besi cor
- b. Coran baja
- c. Coran paduan tembaga
- d. Coran logam ringan
- e. Coran paduan lain

2.2 Pengecoran Cetakan Pasir

Pengecoran cetakan pasir merupakan pengecoran logam dengan menggunakan pasir sebagai media cetakan yang akan dibuat. Macam pasir cetak yang digunakan adalah pasir gunung, pasir pantai, pasir sungai dan pasir silika yang disediakan alam. Karena murah biaya produksi dan dapat memproduksi benda cor dengan kapasitas banyak, cetakan pasir ini banyak digunakan oleh industri (Qohar dkk., 2017).

2.2.1 Syarat bagi pasir cetak

Menurut (Surdia dan Chijjiwa, 1996), pasir cetak memerlukan sifat-sifat yang memenuhi persyaratan sebagai berikut:

- a. Mempunyai sifat mampu bentuk
- b. Permaeabilitas yang baik
- c. Distribusi besar butir yang cocok
- d. Tahan terhadap temperatur logam yang dituang
- e. Komposisi yang cocok
- f. Mampu dipakai lagi
- g. Pasir harus murah

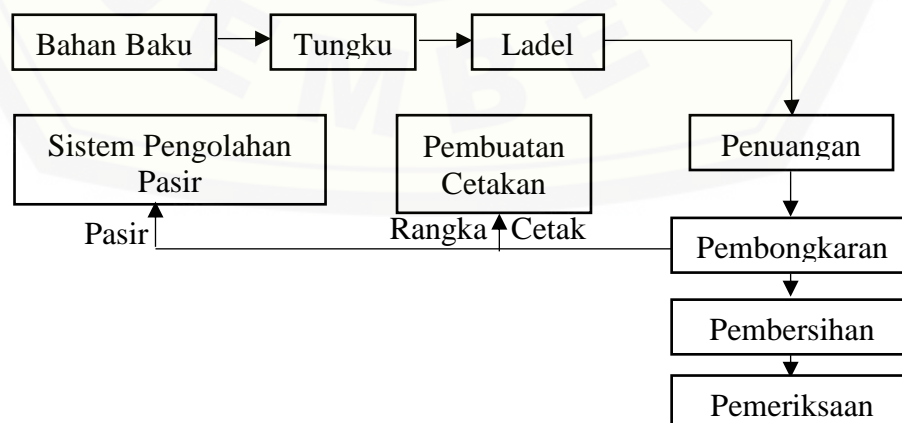
2.2.2 Jenis-jenis cetakan pasir

Menurut (Qohar dkk., 2017), cetakan pasir dapat dibagi menjadi 2:

- a. Cetakan pasir basah
- b. Cetakan pasir kering

2.3 Metode Pembuatan Pengecoran Logam

Proses pengecoran logam meliputi beberapa tahapan yaitu proses pembuatan pola, proses pembuatan cetakan, proses peleburan, proses penuangan, proses pembongkaran, dan proses pembersihan. Pada tahapan ini untuk mengetahui bagaimana urutan proses pembuatan pengecoran logam dari proses awal hingga proses akhir terjadinya hasil produk cor. Berikut yang ditunjukkan gambar 2.1 merupakan alur proses pada pembuatan coran.



Gambar 2.1 Aliran proses pada pembuatan coran (Surdia dan Chijjiwa, 1996)

2.3.1 Pola (*pattern*)

Pola (*pattern*) adalah suatu model yang memiliki ukuran dan bentuk yang sama dengan bentuk produknya dengan memeperhitungkan berbagai persyaratan dalam pengecoran. Proses pembuatan cetakan dimana pola tersebut dipakai dan mempertimbangkan ekonomi yang sesuai dengan jumlah dari biaya pembuatan cetakan merupakan hal yang perlu diperhatikan dalam menetapkan macam pola yang digunakan (Surdia dan Chijjiwa, 1996). Bahan-bahan yang digunakan dalam pembuatan pola antara lain:

a. Kayu

Kayu yang dipakai untuk pembuatan pola adalah kayu saru, kayu aras, kayu pinus, kayu magoni, kayu jati dan lain-lain. Kayu yang kadar airnya 14% tidak dapat dipakai karena akan terjadi pelentingan yang disebabkan perubahan kadar air dalam kayu (Surdia dan Chijjiwa, 1996).

b. Resin sintetis

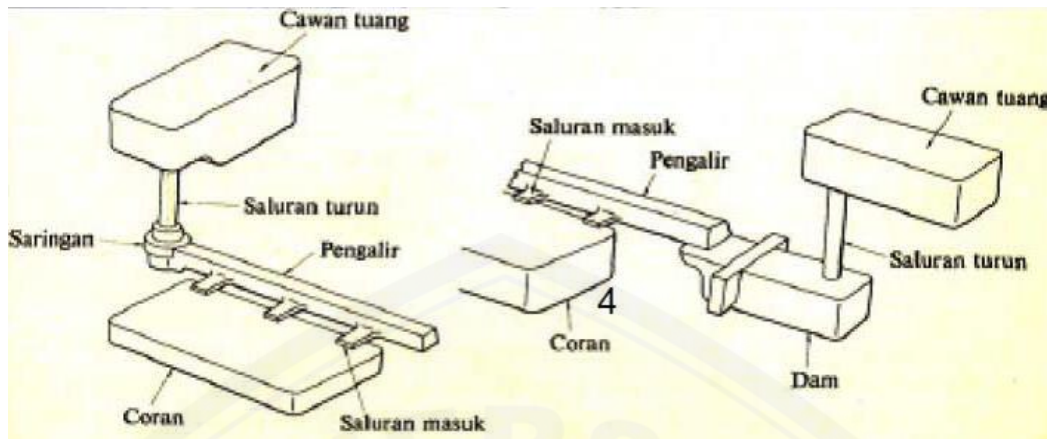
Resin epoksi yang sering digunakan dalam pembuatan pola karena mempunyai sifat antara lain penyusutan yang kecil, tahan aus yang tinggi, memberikan pengaruh yang baik dengan menambah pengencer (Surdia dan Chijjiwa, 1996).

c. Logam

Bahan yang dipakai untuk pola logam adalah besi cor. Besi cor kelabu yang digunakan karena sangat tahan aus, tahan panas dan tidak mahal (Surdia dan Chijjiwa, 1996).

2.3.2 Sistem saluran (*gating system*)

Sistem saluran adalah sistem saluran yang terdapat pada cetakan logam dan berfungsi sebagai saluran masuk cairan logam supaya dapat masuk mengisi rongga cetakan secepat mungkin dan cairan logam tidak mengalami turbulensi. Bagian yang terdapat pada sistem saluran meliputi cawan tuang, saluran turun, pengalir dan masuk. Berikut gambar 2.2 merupakan istilah-istilah sistem saluran.



Gambar 2. 2 Istilah-istilah sistem saluran (Surdia dan Chijiiwa, 1996)

a. Cawan tuang

Cawan tuang adalah cawan penerima berbentuk corong atau cawan dengan saluran turun dibawahnya. Cawan tuang harus memiliki kontruksi yang tidak dapat membawa kotoran logam cair dari ladle, maka bentuk cawan tidak boleh terlalu dangkal karena akan membawa pusaran- pusaran dan timbulah terak atau kotoran yang terapung pada permukaan logam cair (Surdia dan Chijiiwa, 1996).

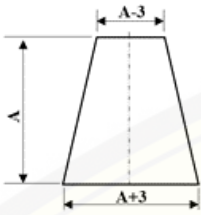

b. Saluran turun (*sprue*)

Saluran turun adalah saluran turun yang dibuat lurus dan tegak dengan irisan berupa lingkaran dengan ukuran yang sama atau mengecil dari atas sampai bawah (Surdia dan Chijiiwa, 1996). Ada dua sistem saluran turun yaitu ada *down sprue* dan *sprue well*.

c. Pengalir (*runner*)

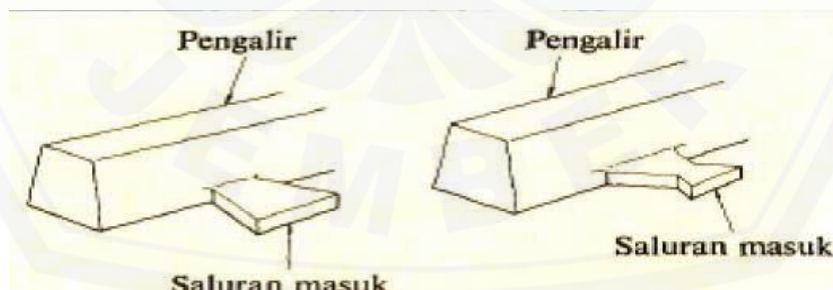
Pengalir adalah saluran yang membawa cairan logam dari saluran turun kerongga cetak. Pengalir dibuat dengan tujuan untuk memberikan pendinginan lambat pada logam cair. Logam cair dalam pengalir masih membawa kotoran yang mengapung, terutama pada permulaan penuangan, sehingga untuk membuang kotoran tersebut dibuat perpanjangan pemisah pada ujung saluran pengalir atau saluran turun dibuat ditengah-tengah pengalir (Surdia dan Chijiiwa, 1996). Berikut tabel 2.1 menunjukkan ukuran dan panjang pada saluran pengalir.

Tabel 2.1 Ukuran pengalir (Surdia dan Chijiwa, 1996)

Potongan pengalir (A X A)mm	Panjang pengalir (C) mm
	
20 X 20	< 600
30 X 30	< 1.000
40 X 40	< 2.000
50 X 50	< 3.000

d. Saluran masuk (*in gate*)

Saluran masuk adalah saluran dibuat lebih kecil dari pengalir dan bentuknya diusahakan mengecil menuju kearah rongga cetakan produk, agar dapat mencegah kotoran masuk ke rongga cetakan (Surdia dan Chijiwa, 1996). Bentuk geometri saluran masuk beragam bentuknya berupa bujur sangkar, trapesium, segitiga, lingkaran yang membesar kearah rongga cetakan untuk mencegah terkikisnya cetakan. Pada gambar 2.4 bentuk saluran masuk yang mudah diputuskan pada saat pemisahan benda coran.



Gambar 2. 3 Bentuk saluran masuk (Surdia dan Chijiwa, 1996)

2.3.3 Pembuatan cetakan (*moulding*)

Pembuatan cetakan adalah proses pembuatan cetakan sesuai dengan pola dari masing-masing produk, bahan yang digunakan pada proses pembuatan cetakan ini berupa pasir yang telah diolah sedemikian rupa sehingga pasir tersebut mudah

dibentuk dengan menggunakan pola. Pada pembuatan cetakan ini, ada beberapa rangka cetakan yang biasanya digunakan yaitu rangka cetakan kayu atau logam, seperti ditunjukkan pada gambar 2.5 (Surdia dan Chijjiwa, 1996).



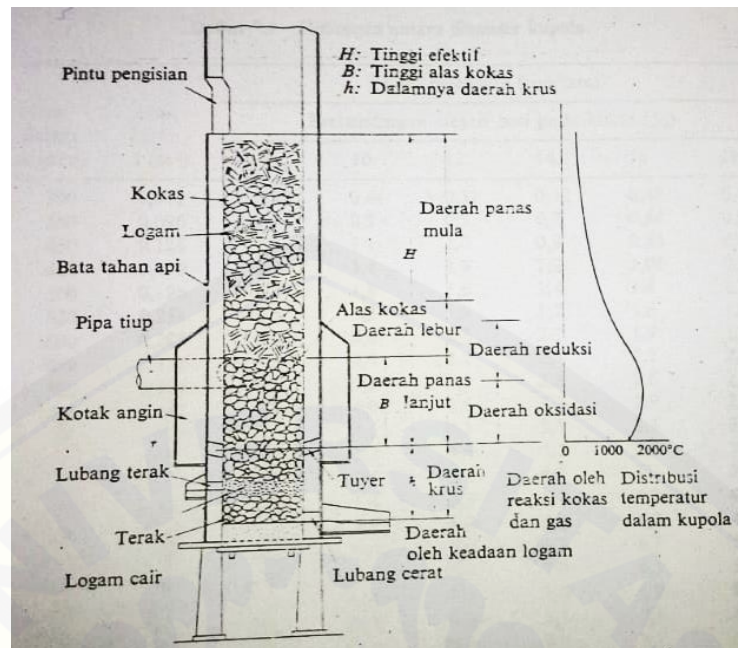
Gambar 2. 4 Rangka cetakan (Surdia dan Chijjiwa, 1996)

2.3.4 Proses peleburan (*melting*)

Proses peleburan adalah proses dimana material bahan baku dicairkan pada suhu tertentu menggunakan dapur peleburan. Proses ini merupakan proses paling utama dalam industri pengecoran logam, karena dari proses peleburan inilah komposisi dari suatu produk dibuat dan diperhitungkan. Dalam industri pengecoran logam dikenal beberapa tungku peleburan, antara lain:

a. Dapur kupola

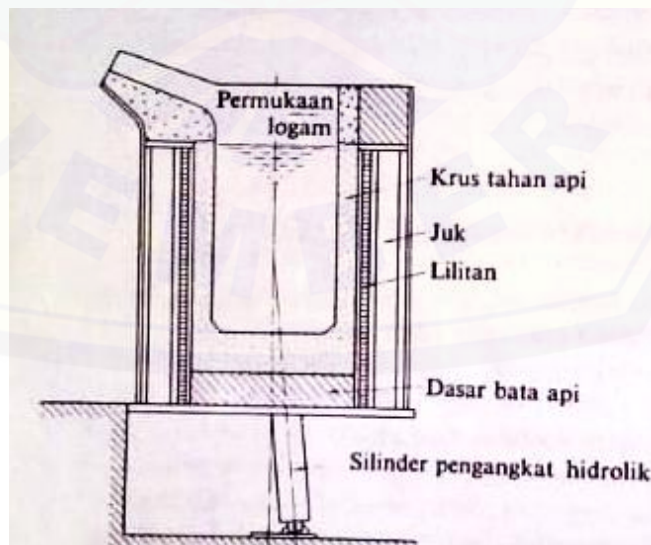
Dapur kupola adalah dapur yang digunakan untuk peleburan besi cor. Konstruksi dari kupola yang umum, dijelaskan pada gambar 2.6, dapur ini dibuat dari besi baja yang tegak, dilapisi oleh batu tahan api, sebagai bahan bakar menggunakan kokas, udara ditiupkan kedalam melalui tuyer, kokas terbakar dan bahan logam mencair (Surdia dan Chijjiwa, 1996).



Gambar 2. 5 Konstruksi kupola biasa (Surdia dan Chijiwa, 1996)

b. Tanur induksi jenis krus

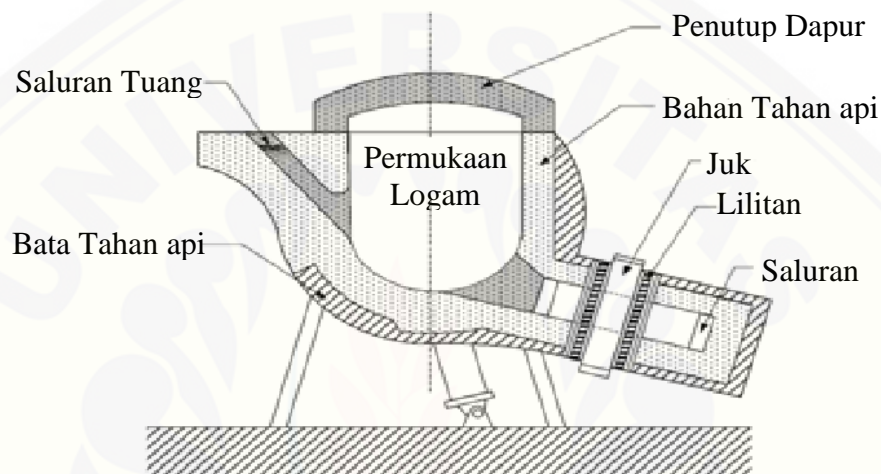
Tanur krus disebut juga jenis tanur tak berinti, ruangan tanur tempat logam cair berbentuk krus. Ruangan tanur tempat logam cair berbentuk krus seperti ditunjukkan pada gambar 2.7. Keuntungan dari tanur ini adalah komstrusinya sederhana, tetapi efisiensi tanur ini lebih rendah dari efisiensi tanur jenis saluran (Surdia dan Chijiwa, 1996).



Gambar 2. 6 Tanur induksi jenis krus (Surdia dan Chijiwa, 1996)

c. Tanur jenis saluran

Tanur jenis saluran ini memerlukan bahan tahan api yang netral berkualitas tinggi, tetapi mengambil tenaga listrik lebih sedikit dan pembuatannya membutuhkan keahlian yang tinggi (Surdia dan Chijjiwa, 1996). Ruang tanur induksi jenis saluran memiliki daerah pemanas dan daerah krus seperti ditunjukkan pada gambar 2.8.



Gambar 2. 7 Tanur induksi jenis saluran(Surdia dan Chijjiwa, 1996)

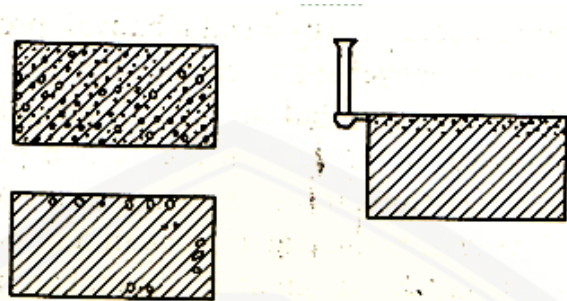
2.3.5 Proses penuangan (*pouring*)

Proses penuangan adalah proses pengeluaran logam cair dari tanur diterima dalam ladle dan dituangkan ke dalam cetakan. Proses ini berlangsung singkat namun cukup menentukan rangkaian pengecoran, sehingga operator perlu menguasai teknik penuangan cairan logam yang benar. Dalam proses penuangan diperlukan pengaturan temperatur penuangan, kecepatan penuangan, dan cara-cara penuangan (Surdia dan Chijjiwa, 1996).

2.4 Cacat Porositas

Porositas adalah suatu jenis cacat yang terperangkapnya gas pada logam cair pada saat pengecoran yang menyebabkan hasil benda cor terdapat lubang-lubang pada permukaan benda cor maupun terdapat juga didalam benda cor (Pratama dan

Soeharto, 2012). Rongga udara yang ditunjukkan pada gambar 2.9 adalah cacat yang banyak terjadi pada berbagai bentuk.

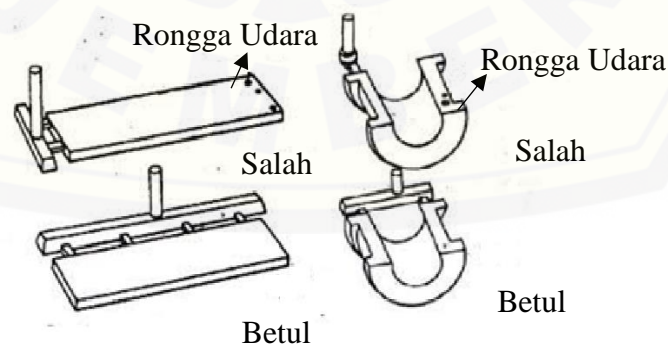


Gambar 2. 8 Cacat lubang jarum atau porositas (Surdia dan Chijiiwa, 1996)

2.4.1 Usaha pencegahan cacat porositas

Menurut (Surdia dan Chijiiwa, 1996), bahwa ada beberapa hal yang perlu diperhatikan untuk mencegah terjadinya cacat, antara lain:

- a. Dalam peleburan menggunakan dapur kupola untuk mendapatkan cairan logam yang bersih, hal yang perlu diperhatikan yaitu menjaga tingginya alas kokas, menghindari tiupan melalui tuyer yang berlebihan, menghilangkan kelembapan pada dasar dan dinding oleh pemanas pemula, dan menggunakan zat penghilang oksid. Untuk mendapatkan logam cair bertemperatur tinggi, hal yang perlu diperhatikan adalah mengatur jumlah kokas secara sempurna.
- b. Perlu memasang saluran turun pada tempat yang benar dan menuangkan logam cair bertemperatur cocok dengan kecepatan yang cukup, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.10 .



Gambar 2. 9 Perubahan letak saluran turun untuk mencegah rongga udara (Surdia dan Chijiiwa, 1996)

- c. Bahan-bahan yang membentuk gas pada pembuatan cetakan perlu diusahakan menjadi sekecil mungkin.

2.5 Aluminium Daur Ulang

Salah satu keuntungan aluminium lainnya adalah mampu didaur ulang tanpa mengalami sedikitpun kehilangan kualitas. Proses daur ulang tidak mengubah struktur aluminium, daur ulang terhadap aluminium dapat dilakukan berkali-kali. Mendaur ulang aluminium hanya mengkonsumsi energi sebesar 5% dari yang digunakan dalam memproduksi aluminium dari bahan tambang (Hermawan dkk., 2013). Manfaat dari daur ulang aluminium sangat jelas. Saat ini 40% dari semua aluminium yang digunakan dalam konstruksi didapat dari daur ulang, namun angka ini terus meningkat sebab konsep penggunaan ulang dalam suatu komponen bangunan sudah diterima secara luas (Fasya dan Iskandar, 2015). Pemanfaatan daur ulang aluminium dilakukan melalui proses pengecoran. Dimana pengertian pengecoran sendiri adalah suatu proses manufaktur yang menggunakan logam cair dan cetakan untuk menghasilkan produk dengan bentuk yang mendekati bentuk geometri akhir produk jadi.

2.6 Metode Taguchi

Metode Taguchi merupakan suatu metodologi baru dalam bidang teknik yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses dalam waktu yang bersamaan menekan biaya dan sumber daya seminimal mungkin. Sasaran itu dengan menjadikan produk atau proses “tidak sensitif” terhadap berbagai faktor, seperti material, perlengkapan manufaktur, tenaga kerja manusia, dan kondisi-kondisi operasional. Metode Taguchi menjadikan produk bersifat kokoh (*robust*) terhadap faktor gangguan (*noise*), karenanya metode ini disebut juga sebagai rancangan kokoh (*robust design*) (Soejanto, 2009).

2.6.1 Keunggulan metode taguchi

1. Desain eksperimen Taguchi lebih efisien karena memungkinkan untuk menjelaskan penelitian yang lebih banyak faktor dan jumlah.

2. Desain eksperimen Taguchi memungkinkan diperolehnya suatu proses yang menghasilkan produk yang konsisten dan kokoh terhadap faktor yang tidak dapat dikontrol.
3. Metode Taguchi menghasilkan kesimpulan mengenai respon faktor-faktor dan level dari faktor-faktor kontrol yang menghasilkan respon optimum.

2.6.2 Kekurangan metode taguchi

Metode Taguchi memiliki kekurangan, yaitu dimana terdapat rancangan yang mengorbankan pengaruh interaksi dan ada pula rancangan yang mengorbankan pengaruh utama dan pengaruh interaksi yang cukup signifikan.

2.7 Desain Eksperimen Taguchi

Desain eksperimen taguchi dibagi menjadi 3 tahapan utama yang mencakup semua pendekatan eksperimen, antara lain:

- a. Tahapan perencanaan
- b. Tahapan pelaksanaan
- c. Tahapan analisa

2.7.1 Tahap perencanaan eksperimen

Perencanaan eksperimen merupakan tahapan terpenting yang meliputi perumusan masalah, penetapan tujuan eksperimen, penentuan variable tak bebas, identifikasi factor-faktor, pemisahan factor control dan factor gangguan, penentuan jumlah level dan nilai level factor, letak dari kolom interaksi, perhitungan derajat kebebasan, dan pemilihan matriks orthogonal. Berikut penjelasan tahapan eksperimen sebagai berikut :

a. Perumusan Masalah

Penentuan masalah utama yang akan dilakukan penelitian.

b. Tujuan Eksperimen

Penentuan sebab-akibat dari masalah utama yang telah ditentukan.

c. Penentuan Variabel Tak Bebas (Variabel Respon)

Variabel ini adalah tujuan akhir dari penelitian yang dilakukan. Dimana variabel respon pada penelitian ini adalah cacat porositas dari pengecoran logam dan

karakteristik kualitas yang dipakai adalah semakin kecil nilai cacat yang terjadi semakin baik.

d. Identifikasi Faktor-Faktor (Variabel Bebas)

Penentuan faktor-faktor yang berpengaruh terhadap topik utama karena tidak semua faktor berpengaruh terhadap topik yang ada.

e. Pemisahan Faktor Kontrol dan Faktor Gangguan

Nilai yang dapat ditetapkan, diubah dan di kontrol disebut faktor kontrol. Sedangkan faktor gangguan adalah kebalikannya. Akan tetapi biaya untuk melakukan penelitian akan semakin tinggi.

f. Penentuan Jumlah Level dan Nilai Level Faktor

Tahap ini untuk menentukan jumlah level dan nilai yang digunakan untuk diteliti. Semakin banyak jumlahnya maka semakin baik hasil yang didapatkan. Akan tetapi biaya untuk melakukan penelitian akan semakin tinggi

g. Perhitungan Derajat Kebebasan

Tujuan dari tahap ini adalah untuk menentukan minimum eksperimen yang harus dilakukan dalam menyelidiki faktor yang sedang diteliti. Rumus derajat kebebasan adalah sebagai berikut :

$$DK = c (b - 1) \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

DK = Derajat Kebebasan

b = Banyak level yang diteliti

c = Banyak faktor yang diteliti

h. Pemilihan Matriks Orthogonal

Penentuan matriks ini berdasarkan jumlah level, faktor dan jumlah baris dari eksperimen yang akan dilakukan serta berpengaruh terhadap nilai dari derajat kebebasan. Tabel matriks orthogonal yang disajikan seperti pada tabel 2.2.

$$L_a(b^c) \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

L = Rancangan bujur sangkar latin

a = Banyaknya baris eksperimen yang akan diteliti

b = Banyaknya variasi level dari faktor yang diteliti

c = Banyaknya faktor yang akan diteliti

Tabel 2.2 Tabel matriks ortogonal $L_9(3^3)$

Eksperimen	Faktor		
	A	B	C
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

Berikut tabel diatas terdiri dari 3 faktor (A, B dan C) dan 3 level (1, 2 dan 3) dimana kombinasi eksperimennya berjumlah 9 baris.

2.7.2 Tahap pelaksanaan eksperimen

Pelaksanaan eksperimen taguchi adalah melakukan pekerjaan berdasarkan setting faktor pada matriks orthogonal dengan jumlah eksperimen sesuai jumlah replikasi dan urutan seperti randomisasi.

2.7.3 Tahap analisa

Tahap dimana dilakukan pengambilan dan pengolahan data sesuai dengan eksperimen yang telah dilakukan. Tahapan analisa ini diantaranya :

a. Analisis Varian Taguchi

Analisis varian adalah suatu teknik analisa secara statistik dengan menguraikan seluruh variansi atas tiap bagian yang diteliti sehingga membantu dalam mengidentifikasi kontribusi dari tiap faktor. Analisis varian dua arah data eksperimen yang diperoleh dari dua faktor atau lebih menggunakan matrik orthogonal dengan cara menghitung jumlah kuadrat pada masing-masing kolom.

1. Jumlah Kuadrat Faktor A (SS_A)

$$SS_A = \left[\sum_{i=1}^{KA} \left(\frac{A_i^2}{n_{Ai}} \right) \right] - \frac{T^2}{N} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

SS_A = Jumlah Kuadrat Faktor A (Diameter *down sprue*)

A_i = Level ke i dari faktor A

n_{Ai} = Jumlah eksperimen level ke i dari faktor A

T = Jumlah data keseluruhan

N = Jumlah total eksperimen

2. Jumlah Kuadrat Faktor B (SS_B)

$$SS_B = \left[\sum_{i=1}^{KB} \left(\frac{B_i^2}{n_{Bi}} \right) \right] - \frac{T^2}{N} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

SS_B = Jumlah Kuadrat Faktor B (Radius *sprue well*)

B_i = Level ke i dari faktor B

n_{Bi} = Jumlah eksperimen level ke i dari faktor B

T = Jumlah data keseluruhan

N = Jumlah total eksperimen

3. Jumlah Kuadrat Faktor C (SS_C)

$$SS_C = \left[\sum_{i=1}^{KC} \left(\frac{C_i^2}{n_{Ci}} \right) \right] - \frac{T^2}{N} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :

SS_C = Jumlah Kuadrat Faktor C (Panjang *runner*)

C_i = Level ke i dari faktor C

n_{Ci} = Jumlah eksperimen level ke i dari faktor C

T = Jumlah data keseluruhan

N = Jumlah total eksperimen

4. Derajat kebebasan (DK)

$$DK = c (b - 1) \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

DK = Derajat Kebebasan

b = Banyak level yang diteliti

c = Banyak faktor yang diteliti

5. Rata-rata Kuadrat Faktor A

$$MS_A = \frac{SS_A}{DK_A} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana :

MS_A = Rata-rata kuadrat faktor A

SS_A = Jumlah kuadrat faktor A

DK_A = Derajat Kebebasan faktor A

6. Rata-rata Kuadrat Faktor B

$$MS_B = \frac{SS_B}{DK_B} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana :

MS_B = Rata-rata kuadrat faktor B

SS_B = Jumlah kuadrat faktor B

DK_B = Derajat Kebebasan faktor B

7. Rata-rata Kuadrat Faktor C

$$MS_C = \frac{SS_C}{DK_C} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana :

MS_C = Rata-rata kuadrat faktor C

SS_C = Jumlah kuadrat faktor C

DK_C = Derajat Kebebasan faktor C

8. Jumlah Kuadrat Total (SS_T)

$$SST = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana :

SS_T = Jumlah kuadrat total

y_i = Nilai yang diperoleh dari eksperimen

\bar{y} = Rata-rata total data yang diperoleh dari eksperimen

9. Jumlah kuadrat karena rata –rata (SS_m)

$$SS_m = N \cdot Y'^2 \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana :

SS_m = Jumlah kuadrat karena rata-rata

N = Jumlah total eksperimen

Y' = rata rata total dari seluruh eksperimen

10. Jumlah kuadrat error (SS_e)

$$SS_{\text{faktor}} = SS_A + SS_B + SS_C$$

$$SS_e = SS_T - SS_m - SS_{\text{faktor}} \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana :

SS_{faktor} = Jumlah kuadrat seluruh faktor

SS_e = Jumlah kuadrat error

b. Uji Hipotesa F

Uji hipotesa F membuktikan adanya perbedaan perlakuan dan Pengaruh faktor dari percobaan. Uji ini dilakukan dengan cara membandingkan variansi yang disebabkan dari tiap faktor dan variansi error.

$$F_{\text{sumber}} = \frac{\text{Variansi karena perlakuan} + \text{Variansi karena error}}{\text{variansi karena error}}$$

Nilai F_{sumber} yang diperoleh dibandingkan dengan nilai F_{tabel} pada harga α tertentu dengan derajat kebebasan $[(k-1).(N-k)]$. Dimana k adalah jumlah level dari faktor sedangkan N adalah jumlah total eksperimen.

H_0 : Tidak ada pengaruh dari variasi penelitian yang digunakan ($\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_i$).

H_1 : Ada pengaruh dari variasi penelitian yang digunakan, setidaknya ada μ_i yang tidak sama.

Disaat F_{hitung} lebih kecil dari F_{sumber} maka H_0 diterima (tidak ada pengaruh dari variasi penelitian yang dilakukan). Sedangkan, apabila apabila terjadi kebalikannya maka H_0 ditolak (ada pengaruh dari variasi penelitian yang dilakukan).

c. Rasio S/N

Rasio S/N digunakan untuk mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi kekurangan kontribusi pada suatu respon serta mengetahui faktor level mana yang berpengaruh pada hasil eksperimen. Tipe karakteristik kualitas pada rasio S/N adalah sebagai berikut :

1. Semakin kecil, semakin baik

Memiliki batas nilai 0 dan tidak negatif serta nilai yang mendekati 0 adalah yang terbaik.

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^r Y_i^2 \right) \dots \dots \dots (2.13)$$

Dimana :

n = Jumlah pengulangan atau replikasi

r = Jumlah data

Y_i = Data variabel respon

2. Tertuju pada nilai tertentu

$$S/N = -10 \log V_e$$

$$S/N = -10 \log \left(\frac{V_m - V_e}{nV_e} \right) \dots\dots\dots(2.14)$$

3. Semakin besar, semakin baik

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^r \frac{1}{Y_i^2} \right) \dots\dots\dots(2.15)$$

Dimana :

n = Jumlah pengulangan atau replikasi

r = Jumlah data

Y_i = Data variabel respon

2.7.4 Interpretasi Hasil Eksperimen

Interpretasi yang dilakukan untuk menganalisa hasil eksperimen menggunakan analisis varians adalah sebagai berikut :

a. Persen Kontribusi

Porsi tiap-tiap faktor terhadap total variansi yang diteliti yang merupakan fungsi dari jumlah kuadrat (SS) dari masing-masing faktor yang signifikan.

$$\rho = \frac{SS'_{faktor}}{SS_T} \times 100\% \dots\dots\dots(2.16)$$

$$\begin{aligned} \rho_A &= \frac{SS'_A}{SS_T} \times 100\% & SS'_A &= SS_A - MS_e(DK_A) \\ \rho_B &= \frac{SS'_B}{SS_T} \times 100\% & SS'_B &= SS_B - MS_e(DK_B) \\ \rho_C &= \frac{SS'_C}{SS_T} \times 100\% & SS'_C &= SS_C - MS_e(DK_C) \end{aligned}$$

Dimana :

- ρ = Persen kontribusi
- ρ_A = Persen kontribusi pada faktor A
- ρ_B = Persen kontribusi pada faktor B
- ρ_C = Persen kontribusi pada faktor C
- SS_A = Jumlah kuadrat deviasi pada faktor A
- SS_B = Jumlah kuadrat deviasi pada faktor B
- SS_C = Jumlah kuadrat deviasi pada faktor C
- SS'_A = Jumlah kuadrat sesungguhnya pada faktor A
- SS'_B = Jumlah kuadrat sesungguhnya pada faktor B
- SS'_C = Jumlah kuadrat sesungguhnya pada faktor C

$\rho \leq 15\%$ maka tidak ada faktor yang berpengaruh terabaikan. Sedangkan $\rho \geq 50\%$ maka terdapat faktor berpengaruh yang terabaikan dan error yang hadir terlalu besar (Soejanto, 2009).

b. Interval Kepercayaan (CI)

Pada metode taguchi, Interval kepercayaan dibagi menjadi 3 yaitu :

1. Interval Kepercayaan untuk Level Faktor (CI_1)

$$CI_1 = \sqrt{\frac{F_{\alpha;1;v_e} MS_e}{n}} \dots\dots\dots(2.17)$$

$$\begin{aligned} \mu_{ik} &= \bar{i}_k \pm CI_1 \\ \bar{i}_k - CI_1 &\leq \mu_{ik} \leq \bar{i}_k + CI_1 \end{aligned}$$

Dimana :

- $F_{\alpha;1;v_e}$ = Rasio F
- α = Resiko

- $V_1 = 1$
- $V_e =$ Derajat kebebasan *error*
- $MS_e =$ Rata-rata kuadrat *error*
- $n =$ Jumlah yang diuji pada kondisi tertentu
- $\mu_{Ak} =$ Dugaan rata-rata faktor i pada level ke k
- $\bar{1}_k =$ Rata-rata faktor i pada level k
- $k =$ Level faktor (1,2...)

2. Interval Kepercayaan pada Kondisi Perlakuan yang diprediksi (CI_2)

$$CI_2 = \frac{\sqrt{F_{\alpha;1;V_e}MS_e}}{n_{eff}} \dots\dots\dots(2.18)$$

$$n_{eff} = \frac{N}{1 + (\text{Jumlah DK yang berhubungan dengan faktor } i)}$$

Dimana :

- $N =$ Jumlah total eksperimen
- $n_{eff} =$ Jumlah pengulangan efektif

3. Interval Kepercayaan untuk Memprediksi Eksperimen Konfirmasi (CI_3)

Interval kepercayaan ini digunakan untuk pembuktian dari level faktor optimal yang sudah didapatkan.

$$CI_3 = \sqrt{F_{\alpha;1;V_e}MS_e \left[\left(\frac{1}{n_{eff}} \right) + \left(\frac{1}{r} \right) \right]} \dots\dots\dots(2.19)$$

Dimana :

- $r =$ Jumlah sampel pada percobaan konfirmasi dan $r \neq 0$
- $V_2 =$ Derajat bebas varian kesalahan *pooling*

2.7.5 Eksperimen Konfirmasi

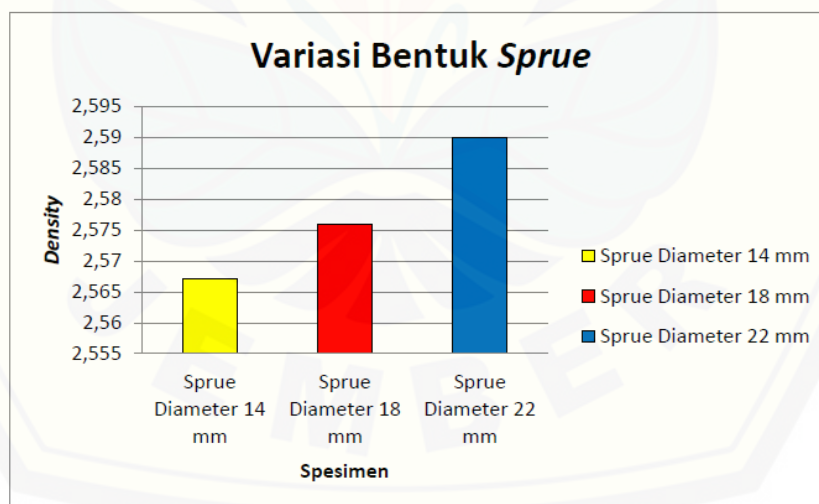
Eksperimen konfirmasi merupakan sebuah eksperimen yang digunakan untuk menguji kesimpulan yang di dapat. Tujuan dilakukannya eksperimen konfirmasi adalah membuat parameter faktor yang optimal sesuai hasil analisis eksperimen.

2.8 Hasil Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu ini digunakan untuk menentukan variabel dan parameter yang digunakan, pada penelitian ini menggunakan 3 parameter sistem saluran antara lain :

a. Pengaruh diameter *down sprue* terhadap cacat porositas

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Aryadita, 2018) menggunakan diameter *down sprue* sebesar 14mm, 18mm, dan 22mm, bahwa saluran turun (*down sprue*) diameter 22 mm pada cetakan logam memiliki pengaruh terhadap hasil pengecoran dengan tingkat porositas terendah dengan angka *density* tertinggi yaitu 2,90 g/cm³. Berikut gambar grafik uji densitas yang ditunjukkan pada gambar 2.11 .



Gambar 2. 10 Hasil Uji Densitas (Aryadita, 2018)

b. Pengaruh radius *sprue well* terhadap cacat porositas

Pada penelitian yang dilakukan (Utomo dkk., 2017) menggunakan radius *sprue well* R0, R5, dan R10, bahwa radius *sprue well* 5 mm memiliki porositas terendah dengan angka *density* tertinggi yaitu 8,86 g/cm³. Pada penelitian yang

dilakukan (Wibowo dkk., 2017) menggunakan radius *sprue well* R0, R5, dan R10, bahwa radius *sprue well* 10 mm memiliki porositas terendah dengan angka *density* tertinggi yaitu 8,94 g/cm³. Pada penelitian yang dilakukan (Kristiadi dkk., 2018) menggunakan radius *sprue well* R0 dan R5, bahwa radius *sprue well* 5 mm memiliki porositas terendah dengan angka *density* tertinggi yaitu 8,96 g/cm³.

c. Pengaruh panjang *runner* terhadap cacat porositas

Pada penelitian yang dilakukan (Wibowo dkk., 2017) menggunakan panjang *runner* 50mm, 60mm, dan 70mm, bahwa panjang *runner* 60mm memiliki porositas terendah dengan angka *density* tertinggi yaitu 8,94 g/cm³. Pada penelitian yang dilakukan (Kristiadi dkk., 2018) menggunakan panjang *runner* 60mm dan 70mm, bahwa panjang *runner* 60mm memiliki porositas terendah dengan angka *density* tertinggi yaitu 8,96 g/cm³.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan untuk penelitian ini adalah metode eksperimental, yaitu suatu metode untuk menganalisis proses optimal pada pembuatan produk pengecoran logam yang menghasilkan cacat porositas minimal, yang kualitasnya dikendalikan menggunakan metode taguchi. Variasi parameter sistem saluran yang digunakan yaitu *down sprue*, *sprue well*, dan *runner*.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini meliputi kegiatan utama yaitu pembuatan dan pengujian produk cor. Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknologi Terapan, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Jember. Waktu penelitian dimulai dari 1 Januari 2019 sampai dengan 29 Mei 2019.

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Alat

Beberapa alat yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain :

- | | |
|--|-------------------------------|
| a. Dapur peleburan menggunakan bahan bakar gas LPG | k. Gerinda |
| b. Kowi kapasitas 2kg | l. Gelas ukur 10, 250, 500 mL |
| c. Pola produk cor | m. Timbangan digital |
| d. Rangka cetakan | n. Ayakan 80, 30 mesh |
| e. Gergaji | o . Besi penumbuk |
| f. Sendok | |
| g. Penutup wajah | |
| h. Apron | |
| i. Sarung tangan | |
| j. Sepatu | |

3.3.2 Bahan

Beberapa bahan yang diperlukan dalam penelitian ini, antara lain:

- a. Paduan aluminum scrap yang berasal dari barang bekas dan berbagai bahan campuran logam aluminium
- b. Pasir kali 75%, bentonite 20%
- c. air 5%
- d. Resin
- e. Katalis

3.4 Variabel Penelitian

3.4.1 Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang nilainya ditentukan oleh peneliti sebelum melakukan penelitian. Variabel bebas yang ditunjukkan pada tabel 3.1 digunakan dalam penelitian ini adalah variasi diameter *down sprue*, variasi radius *sprue well*, dan variasi panjang *runner*.

Tabel 3. 1 Variasi bebas

Kode	Faktor	Level 1	Level 2	Level 3
A	Diameter <i>down sprue</i>	22mm	26mm	30mm
B	Radius <i>sprue well</i>	R5	R7,5	R10
C	Panjang <i>runner</i>	40mm	50mm	60mm

3.4.2 Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang dipengaruhi atau yang menjadi akibat karena adanya variabel bebas (Sugiyono, 2009). Variabel terikat pada penelitian ini adalah nilai persentase cacat porositas dari komposit produk pengecoran logam.

3.4.3 Variabel Kontrol

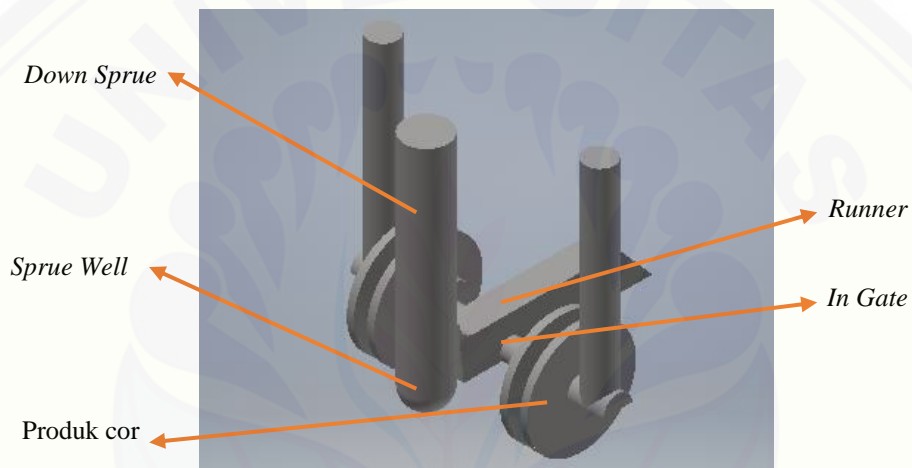
Variabel kontrol adalah variabel yang dikendalikan atau dibuat konstan sehingga pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat tidak dipengaruhi oleh faktor luar yang diteliti (Sugiyono, 2009). Variabel kontrol merupakan variabel yang tidak divariasikan, variabel kontrol dalam penelitian ini adalah suhu furnace 750°C, komposisi pasir cetak yaitu pasir kali 75%, bentonite 20%, air 5%, dan ukuran pasir kali 30 mesh.

3.5 Tahapan Penelitian

Tahap penelitian proses pembuatan produk cor sebagai berikut:

3.5.1 Pembuatan pola

Pola adalah alat bantu yang berfungsi sebagai master dalam pembuatan cetakan pengecoran logam. Pola cetakan yang direncanakan ditunjukkan seperti gambar 3.1, untuk dimensi pada pola yang direncanakan secara lengkap ditunjukkan pada lampiran.



Gambar 3. 1 Pola cetakan

3.5.2 Pembuatan cetakan

- Mempersiapkan kerangka cetak dan pola beserta sistem saluran bagian bawah (*drag*)
- Menuangkan pasir cetak kedalam kerangka cetak bagian bawah kemudian dipadatkan menggunakan penumbuk
- Mempersiapkan kerangka cetak dan pola beserta sistem saluran bagian atas (*kup*)
- Menuangkan pasir cetak kedalam kerangka cetak bagian atas kemudian dipadatkan menggunakan penumbuk
- Mengeluarkan pola masing-masing dari kerangka cetak bagian atas dan kerangka cetak bagian bawah, sehingga terbentuk rongga (*cavity*) seperti pola

- f. Menyatakan cetakan bagian atas dan bagian bawah menjadi satu bagian sehingga siap untuk dituangkan logam cair ke dalamnya
- g. Mengulangi langkah a-f untuk variasi diameter *down sprue*, radius *top sprue well*, dan panjang *runner* yang berbeda sesuai kombinasi yang ditunjukkan seperti tabel 3.2 kode sampel

3.5.3 Peleburan logam

- a. Menyiapkan dapur peleburan yang akan digunakan
- b. Memasukkan bahan aluminium bekas ke dalam dapur peleburan
- c. Tunggu suhu dapur peleburan sampai 750°C
- d. Bersihkan cairan aluminium dari kotoran yang menempel pada aluminium bekas yang sudah mencair

3.5.4 Penuangan

- a. Mendekatkan cetakan di dekat dapur peleburan untuk menghindari penurunan temperatur yang terlalu besar ketika akan dituangkan ke dalam cetakan
- b. Tuangkan cairan aluminium bekas yang sudah mencair ke dalam cetakan yang sudah disiapkan

3.5.5 Pembongkaran

Setelah logam cair selesai dituangkan ke dalam cetakan, diamkan sampai mengeras kemudian bongkar cetakan pasir untuk mengambil hasil produk cor dan bersihkan dari pasir yang menempel pada hasil coran.

3.5.6 Hasil pengujian

- a. Melakukan pengambilan data yang ditunjukkan pada tabel 3.2, metode pengambilan data dan kombinasi level berdasarkan rancangan *Orthogonal Array* (OA) Taguchi.
- b. Pengambilan data menggunakan 3 kali pengulangan tiap sampel
- c. Pengujian porositas
- d. Dilakukan pemeriksaan kualitas pada setiap hasil percobaan.

Tabel 3. 2 Tabel kode sampel

No	Faktor Kendali		
	Level A(mm)	Level B(Radius)	Level C(mm)
1	22	5	40
2	22	7,5	50
3	22	10	60
4	26	5	50
5	26	7,5	60
6	26	10	40
7	30	5	60
8	30	7,5	40
9	30	10	50

3.6 Pengambilan Data

Data tingkat persentase porositas sampel diambil dari hasil fabrikasi produk coran dengan proses menghitung densitas produk coran. Jumlah sampel yang diambil adalah sebanyak 3 buah pengulangan tiap variasi produk coran. Berikut pengujian yang akan digunakan:

a. Pengujian densitas

Pengukuran densitas yang materialnya berbentuk padatan menggunakan metode *archimedes*. Besarnya nilai densitas teoritis didapatkan sesuai perhitungan yang mengacu pada ASTM E-252. Untuk menghitung densitas aktual dan teoritis menggunakan persamaan :

Densitas aktual/sampel:

$$\rho_m = \frac{m_s}{(m_s - m_g)} \times \rho_{H_2O} \dots\dots\dots(3.1)$$

Densitas teoritis:

$$\rho_{th} = \frac{100}{\left[\frac{\%Al}{\rho_{Al}} + \frac{\%Fe}{\rho_{Fe}} + \dots \right]} \dots\dots\dots(3.2)$$

Dimana :

ρ_m = Densitas aktual (gram/cm³)

m_s = Massa sampel kering (gram)

m_g = Massa sampel yang digantung dalam air (gram)

ρ_{H_2O} = Massa jenis air = 1 gram/ cm³

ρ_{th} = Densitas teoritis (gram/cm³)

ρ_{Al} = Massa jenis Al (gram/cm³)

b. Perhitungan porositas

Porositas dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara jumlah volume ruang kosong (rongga pori) yang dimiliki oleh zat padat terhadap jumlah dari volume zat padat itu sendiri. Porositas suatu bahan pada umumnya dikatakan sebagai porositas terbuka atau *apparent porosity*, dan dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$P = \left(\frac{D_{teoritis} - D_{aktual}}{D_{teoritis}} \right) \times 100\% \quad \dots\dots\dots(3.3)$$

Dimana :

P = Porositas (%)

$D_{teoritis}$ = Densitas teoritis (gram/cm³)

D_{aktual} = Densitas aktual (gram/cm³)

3.7 Metode Analisis

Penelitian ini menggunakan beberapa metode, antara lain:

a. Studi literature

Jurnal atau penelitian sebelumnya digunakan sebagai standar produk lolos atau reject. Lolos atau reject-nya suatu produk cor ini ditentukan dari minimal adanya cacat porositas pada hasil produk.

b. Pengambilan data

Pengambilan data diambil dari orthogonal array L9(3³) seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.3 dengan pengulangan sebanyak tiga kali pada setiap kombinasi.

Tabel 3. 3 Data hasil pengujian porositas hasil coran

No	Faktor Kendali			Replikasi	Hasil Porositas	Rata-rata
	A	B	C			
1	1	1	1	I II III		
2	1	2	2	I II III		
3	1	3	3	I II III		
4	2	1	2	I II III		
5	2	2	3	I II III		
6	2	3	1	I II III		
7	3	1	3	I II III		
8	3	2	1	I II III		
9	3	3	2	I II III		
Rata – Rata Total						

c. Menganalisa data yang diperoleh menggunakan perhitungan:

1. Rasio S/N
2. Analisis varian

Analisis varian digunakan untuk mencari besarnya pengaruh setiap parameter kendali terhadap suatu proses. Pada perhitungan ini menggunakan software minitab yang akan diperoreh data seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.4.

Tabel 3. 4 Hasil analisis varians dan kontribusi parameter berpengaruh

Sumber	DK	SS	MS	F _{hitung}	SS'	ρ
<i>Down Sprue</i>						
<i>Sprue Well</i>						
<i>Runner</i>						
<i>Residual</i>						
Total						

3. Uji F

Nilai F_{hitung} yang lebih besar daripada F_{tabel} menunjukkan bahwa faktor-faktor yang digunakan memiliki pengaruh signifikan terhadap hasil porositas produk cor. Dimana pada penelitian ini menggunakan taraf signifikansi α sebesar 5%. Hipotesa awal (H_0) dan Hipotesa alternatif (H_1) yang digunakan sebagai uji hipotesis menggunakan distribusi F :

Parameter proses pengecoran logam

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$ (Tidak ada pengaruh setiap variasi parameter yang digunakan)

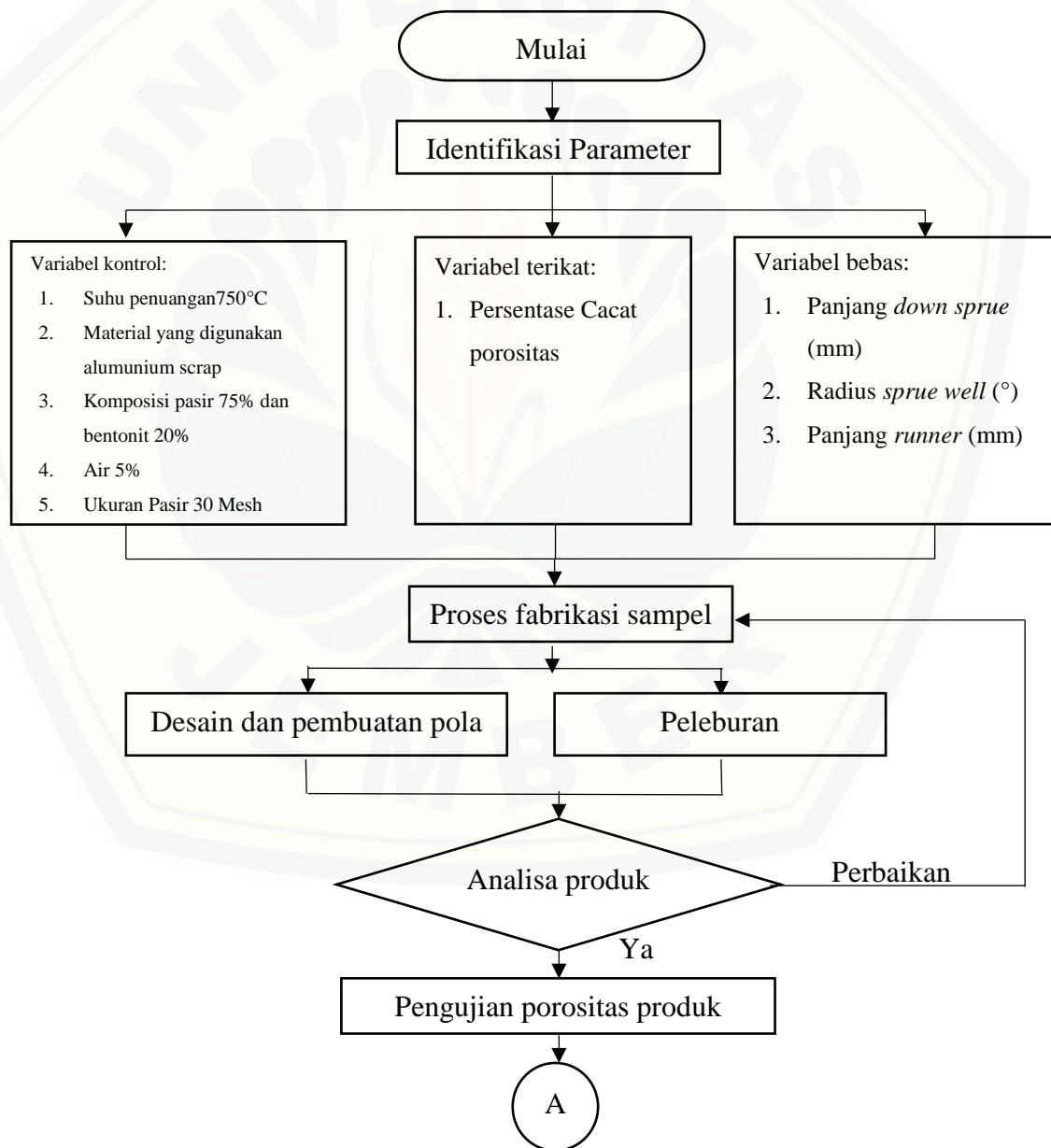
$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$ (Adanya pengaruh setiap variasi parameter yang digunakan)

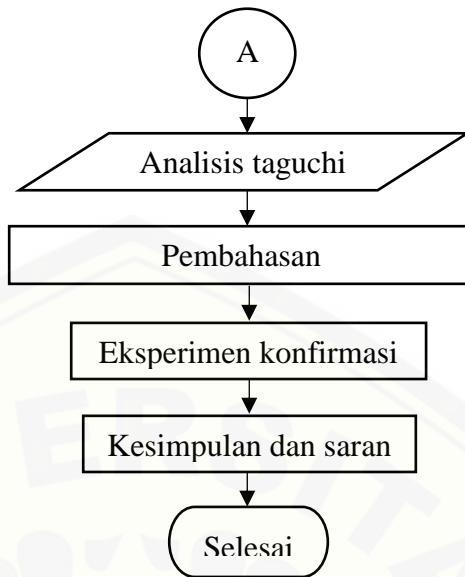
d. Interpretasi Hasil Eksperimen

1. Persen kontribusi
2. Interval Kepercayaan

e. Eksperimen konfirmasi

3.8 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3. 2 Diagram alir penelitian

3.9 Rencana Penelitian

Tabel 3. 5 Rencana penelitian

No	Kegiatan	Januari				Februari				Maret				April				Mei				Juni			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Studi literatur	■	■	■	■																				
2	Pra-riset pengecoran aluminium	■	■	■	■	■	■	■	■																
3	Pembuatan proposal					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■								
4	Fabrikasi Produk coran													■	■	■	■	■	■	■	■				
5	Pengujian													■	■	■	■	■	■	■	■				
6	Pengolahan data																	■	■	■	■				
7	Dokumentasi					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
8	Laporan																					■	■	■	■

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Hasil analisa menggunakan metode taguchi mengenai optimasi proses fabrikasi produk pengecoran didapatkan kesimpulan bahwa :

- a. Pengaruh faktor pada ukuran diameter *down sprue* yaitu semakin besar ukuran diameter *down sprue* semakin kecil porositas yang didapat dengan nilai persentasi kontribusi sebesar 83,4206%, pengaruh faktor pada panjang *runner* yaitu semakin pendek ukuran *runner* semakin kecil porositas yang didapat dengan nilai persentae kontribusi sebesar 11,2702%, dan pengaruh faktor pada radius *sprue well* tidak mempengaruhi terhadap porositas dengan nilai persentase kontribusi sebesar 2,9717%.
- b. Faktor kendali paling optimal yang didapatkan adalah pada diameter *down sprue* level 3 (30 mm), radius *sprue well* level 2 (R7,5), dan panjang *runner* level 1 (40mm). Nilai porositas optimal berdasarkan kombinasi rata-rata nilai S/N rasio, parameter untuk kombinasi yang optimal terhadap nilai porositas adalah sebesar -31,3621.

5.2 Saran

Pada penelitian selanjutnya untuk proses pemotongan sampel dilakukan menggunakan alat bantu yang memiliki keakurasian yang tepat, agar hasil pemotongan produk dikatakan seragam dan proses pengujian mendapatkan hasil yang akurat. Pada penggunaan pasir kali lumajang bisa dilakukan penelitian dengan variasi ukuran mesh dan campuran komposisi pasir cetak untuk mendapatkan hasil produk yang baik.

DAFTAR PUSTAKA




- adianta, A. W. 2018. Studi Fluiditas dan Karakteristik Aliran pada Pengecoran Al-Si Alloy Menggunakan Simulasi Numerik. *Energy and Engineering (EE)* 1: 007-012.
- Aryadita, L. 2018. Pengaruh Perbedaan Diameter Saluran Turun pada Cetakan Pasir (14 mm, 18 mm dan 22 mm) pada Pembuatan Produk Cor Sepatu Rem Tromol dengan Bahan Alumunium. *Skripsi*. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Ermawati, dan Hartati. 2014. Aplikasi Metode Taguchi Dalam Pengendalian Kualitas Produksi. *Jurnal Teknosains* Volume 8 Nomor 2: 185 – 194.
- Fasya, F., dan N. Iskandar. 2015. Melt Loss dan Porositas Pada Aluminium Hasil Daur Ulang. *Jurnal Teknik Mesin S-1* Vol. 3: 1-7.
- HB, I. 2011. Perbaikan Kualitas Coran Propeller Pada Industri Kecil Dengan Metode Taguchi. *JURNAL AUSTENIT* VOLUME 3: 46-51.
- Hermawan, P. S., H. Purwanto, dan S. M. B. Respati. 2013. Analisa Pengaruh Variasi Temperatur Tuang Pada Pengecoran Squeeze Terhadap Struktur Mikro Dan Kekerasan Produk Sepatu Kampas Rem Dengan Bahan Aluminium (Al) Silikon (Si) Daur Ulang. *Momentum* Vol. 9: 10-15.
- Indra, A., Ridwan, dan I. Setiawan. 2012. Analisa Aliran Fluida Pada Pipa Spiral Dengan Variasi Diameter Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamics (CFD). Universitas Gunadarma.
- Kristiadi, Y., V. Y. Risonarta, dan J. Anggono. 2018. Studi Pengaruh Variasi Desain Gating System pada Porositas Hasil Pengecoran Paduan Sn-Pb menggunakan Cetakan Pasir. *Skripsi*. Surabaya: Universitas Kristen Petra.
- Pratama, R. M., dan Soeharto. 2012. Studi Eksperimen Pengaruh Jenis Saluran pada Aluminium Sand Casting terhadap Porositas Produk Toroidal Piston. *JURNAL TEKNIK ITS* 1: F-126 - F-130.
- Qohar, A., I. K. G. Sugita, dan I. P. Lokantara. 2017. Pengaruh Permeabilitas dan Temperatur Tuang Terhadap Cacat dan Densitas Hasil Pengecoran Aluminium Silikon (Al-Si) Menggunakan Sand Casting. *Jurnal Ilmiah Teknik Desain Mekanika* 6: 1-6.

- Slamet, S., dan T. Hidayat. 2010. Pengaruh Model Saluran Tuang Pada Cetakan Pasir terhadap Hasil Cor Logam. 1-9.
- Soejanto, I. 2009. *Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Sugiyono. 2009. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Surdia, T., dan K. Chijjiwa. 1996. *Teknik Pengecoran Logam*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Utomo, Fendy, J. Anggono, dan V. Y. Risonarta. 2017. Pengaruh Variasi Gating System terhadap Porositas dan Shrinkage pada Pengecoran Paduan Timah Putih. *Skripsi*. Surabaya: Universitas Kristen Petra.
- Wibowo, A., J. Anggono, dan V. Y. Risonarta. 2017. Modifikasi Dimensi Desain Runner dan Sprue Well pada Gravity Die Casting Timah Putih Untuk Mengurangi Waste Material dan Porositas. *Skripsi*. Surabaya: Universitas Kristen Petra.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Data uji XRF pasir Lumajang

a. Laporan hasil uji

 UNIVERSITAS NEGERI MALANG FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM LABORATORIUM MINERAL DAN MATERIAL MAJU (LABORATORIUM SENTRAL) Jalan Sekeloaq 3, Malang 65145 Telp. 0341-451312 (paw 300) 5749/5 083106001088 E-mail : labmineral@unma.ac.id Website : central@laboratory.unma.ac.id																																	
LAPORAN HASIL UJI LSUM.LHU.E.00361.2019																																	
Customers	: M. Hafizh Khoiruddin – Universitas Jember																																
Contact Customer	: 087852056745/ email : hafizhkhairuddin30@gmail.com																																
Methods	: IKM.E.1																																
Test Equipment	: XRF																																
Measurement time	: Maret 27, 2019																																
Order Number	: LHU.P.00305.2019																																
SPECIMEN DESCRIPTION																																	
Condition of Samples	: Sampel serbuk hitam dalam plastik klip																																
Sample Code	: E 363																																
Material Name	: Pasir Lumajang																																
Received Date	: Maret 21, 2019																																
OPERATOR, ANALYZER & SUPERVISOR																																	
Analyzer	: Maslinda A.H., S.Si																																
Supervisor	: Nandang Mufli, S.Si, M.T, Ph.D																																
RESULTS																																	
Remark	: <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>No.</th> <th>Compound</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>Al</td></tr> <tr><td>2</td><td>Si</td></tr> <tr><td>3</td><td>K</td></tr> <tr><td>4</td><td>Ca</td></tr> <tr><td>5</td><td>Ti</td></tr> <tr><td>6</td><td>V</td></tr> <tr><td>7</td><td>Cr</td></tr> <tr><td>8</td><td>Mn</td></tr> <tr><td>9</td><td>Fe</td></tr> <tr><td>10</td><td>Cu</td></tr> <tr><td>11</td><td>Zn</td></tr> <tr><td>12</td><td>Sr</td></tr> <tr><td>13</td><td>Ba</td></tr> <tr><td>14</td><td>Eu</td></tr> <tr><td>15</td><td>Re</td></tr> </tbody> </table>	No.	Compound	1	Al	2	Si	3	K	4	Ca	5	Ti	6	V	7	Cr	8	Mn	9	Fe	10	Cu	11	Zn	12	Sr	13	Ba	14	Eu	15	Re
No.	Compound																																
1	Al																																
2	Si																																
3	K																																
4	Ca																																
5	Ti																																
6	V																																
7	Cr																																
8	Mn																																
9	Fe																																
10	Cu																																
11	Zn																																
12	Sr																																
13	Ba																																
14	Eu																																
15	Re																																
*Hasil analisa hanya berlaku untuk sampel yang diuji																																	
Mengetahui, Manajer Teknis	Malang, 28 Maret 2019 Menyetujui dan Dekan Kepala Lab. Mineral dan Material Maju FMIPA UM																																
 Dra. Surjani Wonoahardjo, Ph.D. NIP.196605281991032001	 Nandang Mufli, S.Si, M.T, Ph.D NIP. 197208152005011001																																

b. Kandungan pasir Lumajang hasil uji XRF

27 mrt 2019 09:55:08 Page 1


Sample results

Sample ident																					
E 363																					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Application</td> <td><Standardless></td> </tr> <tr> <td>Sequence</td> <td>1 of 1</td> </tr> <tr> <td>Measurement time</td> <td>27-mrt-2019 08:46:05</td> </tr> <tr> <td>Position</td> <td>4</td> </tr> </table>														Application	<Standardless>	Sequence	1 of 1	Measurement time	27-mrt-2019 08:46:05	Position	4
Application	<Standardless>																				
Sequence	1 of 1																				
Measurement time	27-mrt-2019 08:46:05																				
Position	4																				
Compound	Al	Si	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Cu	Zn	Sr	Ba	Eu							
Conc	7,7	22,9	2,19	23,0	2,02	0,12	0,080	0,76	41,6	0,23	0,04	1,2	0,2	0,5							
Unit	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%							

Compound	Re
Conc	0,48
Unit	%

Lampiran 2 Data uji XRF Scrap Velg

a. Laporan hasil uji

	UNIVERSITAS NEGERI MALANG FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM LABORATORIUM MINERAL DAN MATERIAL MAJU (LABORATORIUM SENTRAL) Jalan Semarang 5, Malang 65145 Telp. 0341-251312 (paw 200) / 374895 98530001688 E-mail : labmineral@um.ac.id / labmm@um.ac.id Website : central.laboratory.um.ac.id																																
LAPORAN HASIL UJI																																	
LSUM.LHU.E.00442.2019																																	
Customers	: Indra Setiawan – Universitas Jember																																
Contact Customer	: 081233219994 / email: --																																
Methods	: IKM.E.1																																
Test Equipment	: XRF																																
Measurement time	: April 18, 2019																																
Order Number	: LHM.P.00414.2019																																
SPECIMEN DESCRIPTION																																	
Condition of Samples	: Logam																																
Sample Code	: E 445																																
Material Name	: Sampel indra setiawan																																
Received Date	: April 12, 2019																																
OPERATOR, ANALYZER & SUPERVISOR																																	
Analyzer	: Maulinda A.H., S.Si																																
Supervisor	: Nandang Mufti, S.Si, M.T, Ph.D																																
RESULTS																																	
Remark	:																																
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">No.</th> <th style="text-align: center;">Compound</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td style="text-align: center;">1</td><td style="text-align: center;">Al</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">2</td><td style="text-align: center;">Si</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">3</td><td style="text-align: center;">P</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">4</td><td style="text-align: center;">Ca</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">5</td><td style="text-align: center;">Ti</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">6</td><td style="text-align: center;">V</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">7</td><td style="text-align: center;">Cr</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">8</td><td style="text-align: center;">Fe</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">9</td><td style="text-align: center;">Ni</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">10</td><td style="text-align: center;">Cu</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">11</td><td style="text-align: center;">Zn</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">12</td><td style="text-align: center;">Ga</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">13</td><td style="text-align: center;">Gd</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">14</td><td style="text-align: center;">Yb</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">15</td><td style="text-align: center;">Re</td></tr> </tbody> </table>	No.	Compound	1	Al	2	Si	3	P	4	Ca	5	Ti	6	V	7	Cr	8	Fe	9	Ni	10	Cu	11	Zn	12	Ga	13	Gd	14	Yb	15	Re
No.	Compound																																
1	Al																																
2	Si																																
3	P																																
4	Ca																																
5	Ti																																
6	V																																
7	Cr																																
8	Fe																																
9	Ni																																
10	Cu																																
11	Zn																																
12	Ga																																
13	Gd																																
14	Yb																																
15	Re																																
*Hasil analisa hanya berlaku untuk sampel yang diuji																																	

Mengetahui,
Manajer Teknis



Dra. Surjani Wicorahardjo, Ph.D.
NIP.196605281991032001

Malang, 22 April 2019

Menyetujui
a.n. Dekan
Kepala Lab. Mineral dan Material Maju FMIPA UM



Nandang Mufti, S.Si, M.T, Ph.D
NIP.-497208152005011001

b.Kandungan scrap velg hasil uji XRF

18-apr-2019 13:29:38

Sample results

Page 1

Sample ident	
E	445


Application	<Standardless>
Sequence	1 of 1
Measurement time	18-apr-2019 10:15:08
Position	3

Compound	Al	Si	P	Ca	Ti	V	Cr	Fe	Ni	Cu	Zn	Ga	Gd	Yb
Conc	86,4	11,6	0,46	0,475	0,284	0,01	0,017	0,428	0,027	0,037	0,02	0,049	0,15	0,01
Unit	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%


Compound	Re
Conc	0,05
Unit	%

Lampiran 3 Data uji kekuatan dan permeabilitas pasir cetak

a.Laporan hasil uji




LABORATORIUM PENGECORAN LOGAM
FAKULTAS TEKNIK JURUSAN MESIN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
Jl. MT Haryono 167 Malang Telp. (0341) 551611 – 551430 Fax.157 Malang 65145



Data Hasil Pengujian

Nama Pelanggan : M. Hafidh Khoirudin
 Nim Pelanggan : 151910101102
 Instansi Pelanggan : Universitas Jember
 Jenis Pengujian : Pengujian Kekuatan ; Pengujian Permeabilitas
 Spesimen 1 : Kadar Bentonit 20%
 Kadar Air 5 %

No	Kekuatan Tekan (N/cm ²)		Kekuatan Geser (N/cm ²)		Kekuatan Tarik (N/cm ²)		Pengujian Permeabilitas	
	Kering	Basah	Kering	Basah	Kering	Basah	Permeabilitas (ml/menit)	Tekanan (mmka)
1	-	3,7	-	2,5	-	1,1	130	53
2	-	3,7	-	2,5	-	1,1	-	-
3	-	3,6	-	2,5	-	1,1	-	-

Malang, 29 April 2019
 Kepala Lab. Pengecoran Logam

Rudiarto Raharjo, ST., MT.
 NIP. 19820225 201212 1 002

b. Spesimen uji sifat mekanis pasir

*Lampiran 4 Data hasil nilai porositas*

Komb.	Faktor Kendali			% Porositas			Rata-rata
	A diameter	B radius	C panjang	I	II	III	
1	22	5	40	39,3403	38,1464	38,9917	38,8261
2	22	7,5	50	38,9118	38,7949	38,8618	38,8562
3	22	10	60	38,6086	39,9558	39,4079	39,3241
4	26	5	50	38,5017	38,6497	38,6508	38,6007
5	26	7,5	60	38,3407	38,4849	38,6179	38,4812
6	26	10	40	38,1307	38,1420	38,2441	38,1723
7	30	5	60	37,2877	38,5164	38,2999	38,0347
8	30	7,5	40	37,6842	35,8541	38,2815	37,2733
9	30	10	50	37,0664	37,0410	38,5114	37,5396
Rata-rata total							38,3453

Lampiran 5 Tabel F statistik $\alpha = 0,05$

Titik Persentase Distribusi F untuk Probabilita = 0,05															
df untuk penyebut (N2)	df untuk pembilang (N1)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	161	199	216	225	230	234	237	239	241	242	243	244	245	245	246
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.40	19.41	19.42	19.42	19.43
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.76	8.74	8.73	8.71	8.70
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.94	5.91	5.89	5.87	5.86
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.70	4.68	4.66	4.64	4.62
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.03	4.00	3.98	3.96	3.94
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.60	3.57	3.55	3.53	3.51
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.31	3.28	3.26	3.24	3.22
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.10	3.07	3.05	3.03	3.01
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.94	2.91	2.89	2.86	2.85
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.82	2.79	2.76	2.74	2.72
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.72	2.69	2.66	2.64	2.62
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.63	2.60	2.58	2.55	2.53
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.57	2.53	2.51	2.48	2.46
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.51	2.48	2.45	2.42	2.40
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.46	2.42	2.40	2.37	2.35
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.41	2.38	2.35	2.33	2.31
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.37	2.34	2.31	2.29	2.27
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.34	2.31	2.28	2.26	2.23
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.31	2.28	2.25	2.22	2.20
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.28	2.25	2.22	2.20	2.18
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.26	2.23	2.20	2.17	2.15
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.24	2.20	2.18	2.15	2.13
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.22	2.18	2.15	2.13	2.11
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.20	2.16	2.14	2.11	2.09
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.18	2.15	2.12	2.09	2.07
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.17	2.13	2.10	2.08	2.06
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.15	2.12	2.09	2.06	2.04
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.14	2.10	2.08	2.05	2.03
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.13	2.09	2.06	2.04	2.01
31	4.16	3.30	2.91	2.68	2.52	2.41	2.32	2.25	2.20	2.15	2.11	2.08	2.05	2.03	2.00
32	4.15	3.29	2.90	2.67	2.51	2.40	2.31	2.24	2.19	2.14	2.10	2.07	2.04	2.01	1.99
33	4.14	3.28	2.89	2.66	2.50	2.39	2.30	2.23	2.18	2.13	2.09	2.06	2.03	2.00	1.98
34	4.13	3.28	2.88	2.65	2.49	2.38	2.29	2.23	2.17	2.12	2.08	2.05	2.02	1.99	1.97
35	4.12	3.27	2.87	2.64	2.49	2.37	2.29	2.22	2.16	2.11	2.07	2.04	2.01	1.99	1.96
36	4.11	3.26	2.87	2.63	2.48	2.36	2.28	2.21	2.15	2.11	2.07	2.03	2.00	1.98	1.95
37	4.11	3.25	2.86	2.63	2.47	2.36	2.27	2.20	2.14	2.10	2.06	2.02	2.00	1.97	1.95
38	4.10	3.24	2.85	2.62	2.46	2.35	2.26	2.19	2.14	2.09	2.05	2.02	1.99	1.96	1.94
39	4.09	3.24	2.85	2.61	2.46	2.34	2.26	2.19	2.13	2.08	2.04	2.01	1.98	1.95	1.93
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.04	2.00	1.97	1.95	1.92
41	4.08	3.23	2.83	2.60	2.44	2.33	2.24	2.17	2.12	2.07	2.03	2.00	1.97	1.94	1.92
42	4.07	3.22	2.83	2.59	2.44	2.32	2.24	2.17	2.11	2.06	2.03	1.99	1.96	1.94	1.91
43	4.07	3.21	2.82	2.59	2.43	2.32	2.23	2.16	2.11	2.06	2.02	1.99	1.96	1.93	1.91
44	4.06	3.21	2.82	2.58	2.43	2.31	2.23	2.16	2.10	2.05	2.01	1.98	1.95	1.92	1.90
45	4.06	3.20	2.81	2.58	2.42	2.31	2.22	2.15	2.10	2.05	2.01	1.97	1.94	1.92	1.89

Titik Persentase Distribusi F untuk Probabilita = 0,05

df untuk penyebut (N2)	df untuk pembilang (N1)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
46	4.05	3.20	2.81	2.57	2.42	2.30	2.22	2.15	2.09	2.04	2.00	1.97	1.94	1.91	1.89
47	4.05	3.20	2.80	2.57	2.41	2.30	2.21	2.14	2.09	2.04	2.00	1.96	1.93	1.91	1.88
48	4.04	3.19	2.80	2.57	2.41	2.29	2.21	2.14	2.08	2.03	1.99	1.96	1.93	1.90	1.88
49	4.04	3.19	2.79	2.56	2.40	2.29	2.20	2.13	2.08	2.03	1.99	1.96	1.93	1.90	1.88
50	4.03	3.18	2.79	2.56	2.40	2.29	2.20	2.13	2.07	2.03	1.99	1.95	1.92	1.89	1.87
51	4.03	3.18	2.79	2.55	2.40	2.28	2.20	2.13	2.07	2.02	1.98	1.95	1.92	1.89	1.87
52	4.03	3.18	2.78	2.55	2.39	2.28	2.19	2.12	2.07	2.02	1.98	1.94	1.91	1.89	1.86
53	4.02	3.17	2.78	2.55	2.39	2.28	2.19	2.12	2.06	2.01	1.97	1.94	1.91	1.88	1.86
54	4.02	3.17	2.78	2.54	2.39	2.27	2.18	2.12	2.06	2.01	1.97	1.94	1.91	1.88	1.86
55	4.02	3.16	2.77	2.54	2.38	2.27	2.18	2.11	2.06	2.01	1.97	1.93	1.90	1.88	1.85
56	4.01	3.16	2.77	2.54	2.38	2.27	2.18	2.11	2.05	2.00	1.96	1.93	1.90	1.87	1.85
57	4.01	3.16	2.77	2.53	2.38	2.26	2.18	2.11	2.05	2.00	1.96	1.93	1.90	1.87	1.85
58	4.01	3.16	2.76	2.53	2.37	2.26	2.17	2.10	2.05	2.00	1.96	1.92	1.89	1.87	1.84
59	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.26	2.17	2.10	2.04	2.00	1.96	1.92	1.89	1.86	1.84
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.95	1.92	1.89	1.86	1.84
61	4.00	3.15	2.76	2.52	2.37	2.25	2.16	2.09	2.04	1.99	1.95	1.91	1.88	1.86	1.83
62	4.00	3.15	2.75	2.52	2.36	2.25	2.16	2.09	2.03	1.99	1.95	1.91	1.88	1.85	1.83
63	3.99	3.14	2.75	2.52	2.36	2.25	2.16	2.09	2.03	1.98	1.94	1.91	1.88	1.85	1.83
64	3.99	3.14	2.75	2.52	2.36	2.24	2.16	2.09	2.03	1.98	1.94	1.91	1.88	1.85	1.83
65	3.99	3.14	2.75	2.51	2.36	2.24	2.15	2.08	2.03	1.98	1.94	1.90	1.87	1.85	1.82
66	3.99	3.14	2.74	2.51	2.35	2.24	2.15	2.08	2.03	1.98	1.94	1.90	1.87	1.84	1.82
67	3.98	3.13	2.74	2.51	2.35	2.24	2.15	2.08	2.02	1.98	1.93	1.90	1.87	1.84	1.82
68	3.98	3.13	2.74	2.51	2.35	2.24	2.15	2.08	2.02	1.97	1.93	1.90	1.87	1.84	1.82
69	3.98	3.13	2.74	2.50	2.35	2.23	2.15	2.08	2.02	1.97	1.93	1.90	1.86	1.84	1.81
70	3.98	3.13	2.74	2.50	2.35	2.23	2.14	2.07	2.02	1.97	1.93	1.89	1.86	1.84	1.81
71	3.98	3.13	2.73	2.50	2.34	2.23	2.14	2.07	2.01	1.97	1.93	1.89	1.86	1.83	1.81
72	3.97	3.12	2.73	2.50	2.34	2.23	2.14	2.07	2.01	1.96	1.92	1.89	1.86	1.83	1.81
73	3.97	3.12	2.73	2.50	2.34	2.23	2.14	2.07	2.01	1.96	1.92	1.89	1.86	1.83	1.81
74	3.97	3.12	2.73	2.50	2.34	2.22	2.14	2.07	2.01	1.96	1.92	1.89	1.85	1.83	1.80
75	3.97	3.12	2.73	2.49	2.34	2.22	2.13	2.06	2.01	1.96	1.92	1.88	1.85	1.83	1.80
76	3.97	3.12	2.72	2.49	2.33	2.22	2.13	2.06	2.01	1.96	1.92	1.88	1.85	1.82	1.80
77	3.97	3.12	2.72	2.49	2.33	2.22	2.13	2.06	2.00	1.96	1.92	1.88	1.85	1.82	1.80
78	3.96	3.11	2.72	2.49	2.33	2.22	2.13	2.06	2.00	1.95	1.91	1.88	1.85	1.82	1.80
79	3.96	3.11	2.72	2.49	2.33	2.22	2.13	2.06	2.00	1.95	1.91	1.88	1.85	1.82	1.79
80	3.96	3.11	2.72	2.49	2.33	2.21	2.13	2.06	2.00	1.95	1.91	1.88	1.84	1.82	1.79
81	3.96	3.11	2.72	2.48	2.33	2.21	2.12	2.05	2.00	1.95	1.91	1.87	1.84	1.82	1.79
82	3.96	3.11	2.72	2.48	2.33	2.21	2.12	2.05	2.00	1.95	1.91	1.87	1.84	1.81	1.79
83	3.96	3.11	2.71	2.48	2.32	2.21	2.12	2.05	1.99	1.95	1.91	1.87	1.84	1.81	1.79
84	3.95	3.11	2.71	2.48	2.32	2.21	2.12	2.05	1.99	1.95	1.90	1.87	1.84	1.81	1.79
85	3.95	3.10	2.71	2.48	2.32	2.21	2.12	2.05	1.99	1.94	1.90	1.87	1.84	1.81	1.79
86	3.95	3.10	2.71	2.48	2.32	2.21	2.12	2.05	1.99	1.94	1.90	1.87	1.84	1.81	1.78
87	3.95	3.10	2.71	2.48	2.32	2.20	2.12	2.05	1.99	1.94	1.90	1.87	1.83	1.81	1.78
88	3.95	3.10	2.71	2.48	2.32	2.20	2.12	2.05	1.99	1.94	1.90	1.86	1.83	1.81	1.78
89	3.95	3.10	2.71	2.47	2.32	2.20	2.11	2.04	1.99	1.94	1.90	1.86	1.83	1.80	1.78
90	3.95	3.10	2.71	2.47	2.32	2.20	2.11	2.04	1.99	1.94	1.90	1.86	1.83	1.80	1.78

Titik Persentase Distribusi F untuk Probabilita = 0,05

df untuk penyebut (N2)	df untuk pembilang (N1)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
91	3.95	3.10	2.70	2.47	2.31	2.20	2.11	2.04	1.98	1.94	1.90	1.86	1.83	1.80	1.78
92	3.94	3.10	2.70	2.47	2.31	2.20	2.11	2.04	1.98	1.94	1.89	1.86	1.83	1.80	1.78
93	3.94	3.09	2.70	2.47	2.31	2.20	2.11	2.04	1.98	1.93	1.89	1.86	1.83	1.80	1.78
94	3.94	3.09	2.70	2.47	2.31	2.20	2.11	2.04	1.98	1.93	1.89	1.86	1.83	1.80	1.77
95	3.94	3.09	2.70	2.47	2.31	2.20	2.11	2.04	1.98	1.93	1.89	1.86	1.82	1.80	1.77
96	3.94	3.09	2.70	2.47	2.31	2.19	2.11	2.04	1.98	1.93	1.89	1.85	1.82	1.80	1.77
97	3.94	3.09	2.70	2.47	2.31	2.19	2.11	2.04	1.98	1.93	1.89	1.85	1.82	1.80	1.77
98	3.94	3.09	2.70	2.46	2.31	2.19	2.10	2.03	1.98	1.93	1.89	1.85	1.82	1.79	1.77
99	3.94	3.09	2.70	2.46	2.31	2.19	2.10	2.03	1.98	1.93	1.89	1.85	1.82	1.79	1.77
100	3.94	3.09	2.70	2.46	2.31	2.19	2.10	2.03	1.97	1.93	1.89	1.85	1.82	1.79	1.77
101	3.94	3.09	2.69	2.46	2.30	2.19	2.10	2.03	1.97	1.93	1.88	1.85	1.82	1.79	1.77
102	3.93	3.09	2.69	2.46	2.30	2.19	2.10	2.03	1.97	1.92	1.88	1.85	1.82	1.79	1.77
103	3.93	3.08	2.69	2.46	2.30	2.19	2.10	2.03	1.97	1.92	1.88	1.85	1.82	1.79	1.76
104	3.93	3.08	2.69	2.46	2.30	2.19	2.10	2.03	1.97	1.92	1.88	1.85	1.82	1.79	1.76
105	3.93	3.08	2.69	2.46	2.30	2.19	2.10	2.03	1.97	1.92	1.88	1.85	1.81	1.79	1.76
106	3.93	3.08	2.69	2.46	2.30	2.19	2.10	2.03	1.97	1.92	1.88	1.84	1.81	1.79	1.76
107	3.93	3.08	2.69	2.46	2.30	2.18	2.10	2.03	1.97	1.92	1.88	1.84	1.81	1.79	1.76
108	3.93	3.08	2.69	2.46	2.30	2.18	2.10	2.03	1.97	1.92	1.88	1.84	1.81	1.78	1.76
109	3.93	3.08	2.69	2.45	2.30	2.18	2.09	2.02	1.97	1.92	1.88	1.84	1.81	1.78	1.76
110	3.93	3.08	2.69	2.45	2.30	2.18	2.09	2.02	1.97	1.92	1.88	1.84	1.81	1.78	1.76
111	3.93	3.08	2.69	2.45	2.30	2.18	2.09	2.02	1.97	1.92	1.88	1.84	1.81	1.78	1.76
112	3.93	3.08	2.69	2.45	2.30	2.18	2.09	2.02	1.96	1.92	1.88	1.84	1.81	1.78	1.76
113	3.93	3.08	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.92	1.87	1.84	1.81	1.78	1.76
114	3.92	3.08	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.87	1.84	1.81	1.78	1.75
115	3.92	3.08	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.87	1.84	1.81	1.78	1.75
116	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.87	1.84	1.81	1.78	1.75
117	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.87	1.84	1.80	1.78	1.75
118	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.87	1.84	1.80	1.78	1.75
119	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.87	1.83	1.80	1.78	1.75
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.87	1.83	1.80	1.78	1.75
121	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.09	2.02	1.96	1.91	1.87	1.83	1.80	1.77	1.75
122	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.09	2.02	1.96	1.91	1.87	1.83	1.80	1.77	1.75
123	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.08	2.01	1.96	1.91	1.87	1.83	1.80	1.77	1.75
124	3.92	3.07	2.68	2.44	2.29	2.17	2.08	2.01	1.96	1.91	1.87	1.83	1.80	1.77	1.75
125	3.92	3.07	2.68	2.44	2.29	2.17	2.08	2.01	1.96	1.91	1.87	1.83	1.80	1.77	1.75
126	3.92	3.07	2.68	2.44	2.29	2.17	2.08	2.01	1.95	1.91	1.87	1.83	1.80	1.77	1.75
127	3.92	3.07	2.68	2.44	2.29	2.17	2.08	2.01	1.95	1.91	1.86	1.83	1.80	1.77	1.75
128	3.92	3.07	2.68	2.44	2.29	2.17	2.08	2.01	1.95	1.91	1.86	1.83	1.80	1.77	1.75
129	3.91	3.07	2.67	2.44	2.28	2.17	2.08	2.01	1.95	1.90	1.86	1.83	1.80	1.77	1.74
130	3.91	3.07	2.67	2.44	2.28	2.17	2.08	2.01	1.95	1.90	1.86	1.83	1.80	1.77	1.74
131	3.91	3.07	2.67	2.44	2.28	2.17	2.08	2.01	1.95	1.90	1.86	1.83	1.80	1.77	1.74
132	3.91	3.06	2.67	2.44	2.28	2.17	2.08	2.01	1.95	1.90	1.86	1.83	1.79	1.77	1.74
133	3.91	3.06	2.67	2.44	2.28	2.17	2.08	2.01	1.95	1.90	1.86	1.83	1.79	1.77	1.74
134	3.91	3.06	2.67	2.44	2.28	2.17	2.08	2.01	1.95	1.90	1.86	1.83	1.79	1.77	1.74
135	3.91	3.06	2.67	2.44	2.28	2.17	2.08	2.01	1.95	1.90	1.86	1.82	1.79	1.77	1.74

Titik Persentase Distribusi F untuk Probabilita = 0,05

df untuk penyebut (N2)	df untuk pembilang (N1)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
136	3.91	3.06	2.67	2.44	2.28	2.17	2.08	2.01	1.95	1.90	1.86	1.82	1.79	1.77	1.74
137	3.91	3.06	2.67	2.44	2.28	2.17	2.08	2.01	1.95	1.90	1.86	1.82	1.79	1.76	1.74
138	3.91	3.06	2.67	2.44	2.28	2.16	2.08	2.01	1.95	1.90	1.86	1.82	1.79	1.76	1.74
139	3.91	3.06	2.67	2.44	2.28	2.16	2.08	2.01	1.95	1.90	1.86	1.82	1.79	1.76	1.74
140	3.91	3.06	2.67	2.44	2.28	2.16	2.08	2.01	1.95	1.90	1.86	1.82	1.79	1.76	1.74
141	3.91	3.06	2.67	2.44	2.28	2.16	2.08	2.00	1.95	1.90	1.86	1.82	1.79	1.76	1.74
142	3.91	3.06	2.67	2.44	2.28	2.16	2.07	2.00	1.95	1.90	1.86	1.82	1.79	1.76	1.74
143	3.91	3.06	2.67	2.43	2.28	2.16	2.07	2.00	1.95	1.90	1.86	1.82	1.79	1.76	1.74
144	3.91	3.06	2.67	2.43	2.28	2.16	2.07	2.00	1.95	1.90	1.86	1.82	1.79	1.76	1.74
145	3.91	3.06	2.67	2.43	2.28	2.16	2.07	2.00	1.94	1.90	1.86	1.82	1.79	1.76	1.74
146	3.91	3.06	2.67	2.43	2.28	2.16	2.07	2.00	1.94	1.90	1.85	1.82	1.79	1.76	1.74
147	3.91	3.06	2.67	2.43	2.28	2.16	2.07	2.00	1.94	1.90	1.85	1.82	1.79	1.76	1.73
148	3.91	3.06	2.67	2.43	2.28	2.16	2.07	2.00	1.94	1.90	1.85	1.82	1.79	1.76	1.73
149	3.90	3.06	2.67	2.43	2.27	2.16	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.82	1.79	1.76	1.73
150	3.90	3.06	2.66	2.43	2.27	2.16	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.82	1.79	1.76	1.73
151	3.90	3.06	2.66	2.43	2.27	2.16	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.82	1.79	1.76	1.73
152	3.90	3.06	2.66	2.43	2.27	2.16	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.82	1.79	1.76	1.73
153	3.90	3.06	2.66	2.43	2.27	2.16	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.82	1.78	1.76	1.73
154	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27	2.16	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.82	1.78	1.76	1.73
155	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27	2.16	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.82	1.78	1.76	1.73
156	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27	2.16	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.81	1.78	1.76	1.73
157	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27	2.16	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.81	1.78	1.76	1.73
158	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27	2.16	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.81	1.78	1.75	1.73
159	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27	2.16	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.81	1.78	1.75	1.73
160	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27	2.16	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.81	1.78	1.75	1.73
161	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27	2.16	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.81	1.78	1.75	1.73
162	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27	2.15	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.81	1.78	1.75	1.73
163	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27	2.15	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.81	1.78	1.75	1.73
164	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27	2.15	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.81	1.78	1.75	1.73
165	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27	2.15	2.07	1.99	1.94	1.89	1.85	1.81	1.78	1.75	1.73
166	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27	2.15	2.07	1.99	1.94	1.89	1.85	1.81	1.78	1.75	1.73
167	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27	2.15	2.06	1.99	1.94	1.89	1.85	1.81	1.78	1.75	1.73
168	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27	2.15	2.06	1.99	1.94	1.89	1.85	1.81	1.78	1.75	1.73
169	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27	2.15	2.06	1.99	1.94	1.89	1.85	1.81	1.78	1.75	1.73
170	3.90	3.05	2.66	2.42	2.27	2.15	2.06	1.99	1.94	1.89	1.85	1.81	1.78	1.75	1.73
171	3.90	3.05	2.66	2.42	2.27	2.15	2.06	1.99	1.93	1.89	1.85	1.81	1.78	1.75	1.73
172	3.90	3.05	2.66	2.42	2.27	2.15	2.06	1.99	1.93	1.89	1.84	1.81	1.78	1.75	1.72
173	3.90	3.05	2.66	2.42	2.27	2.15	2.06	1.99	1.93	1.89	1.84	1.81	1.78	1.75	1.72
174	3.90	3.05	2.66	2.42	2.27	2.15	2.06	1.99	1.93	1.89	1.84	1.81	1.78	1.75	1.72
175	3.90	3.05	2.66	2.42	2.27	2.15	2.06	1.99	1.93	1.89	1.84	1.81	1.78	1.75	1.72
176	3.89	3.05	2.66	2.42	2.27	2.15	2.06	1.99	1.93	1.88	1.84	1.81	1.78	1.75	1.72
177	3.89	3.05	2.66	2.42	2.27	2.15	2.06	1.99	1.93	1.88	1.84	1.81	1.78	1.75	1.72
178	3.89	3.05	2.66	2.42	2.26	2.15	2.06	1.99	1.93	1.88	1.84	1.81	1.78	1.75	1.72
179	3.89	3.05	2.66	2.42	2.26	2.15	2.06	1.99	1.93	1.88	1.84	1.81	1.78	1.75	1.72
180	3.89	3.05	2.65	2.42	2.26	2.15	2.06	1.99	1.93	1.88	1.84	1.81	1.77	1.75	1.72

Lampiran 6 Alat dan bahan eksperimen

a. Frame cetakan



b. Ayakan ukuran 30 mesh dan 80 mesh



c. Pemukul pasir cetak



d. Timbangan digital



e. Pelindung tangan



f. Pelindung wajah



g. Gelas ukur



h. Resin eterset 2504



i. Pasir Lumajang



j. Bentonit



k. Air



n. Skrap Velg



m. Dapur konvensional



Lampiran 7 Proses fabrikasi pengecoran logam

a. Penimbangan pasir



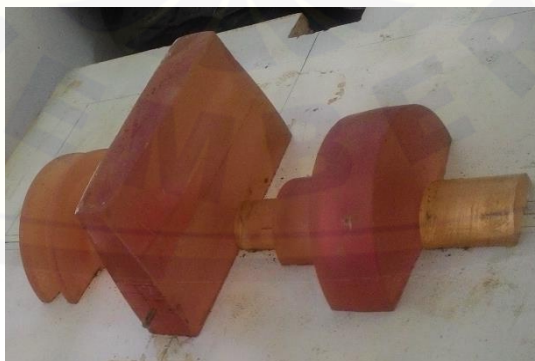
b. Penimbangan bentonit



c. Pencampuran pasir, bentonit, dan air



d. Pembuatan pola dari resin



e. Proses pembuatan cetakan pasir



f. Proses penggabungan antar cetakan bagian atas dan cetakan bagian bawah



g. Proses peleburan



g. Proses penuangan



h. Proses pengambilan produk cor dari cetakan pasir



i. Produk hasil

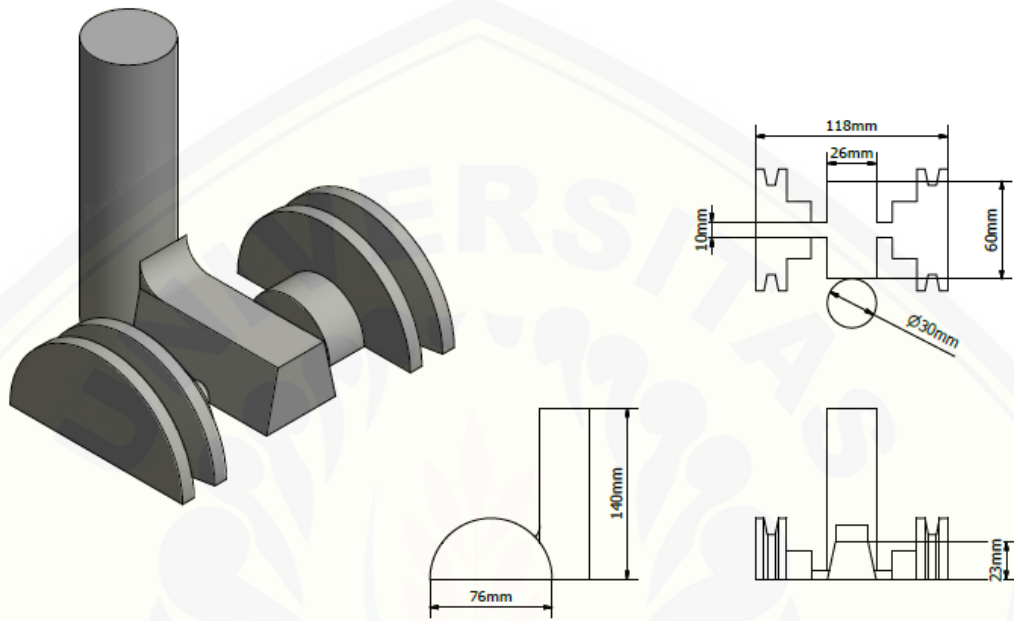


Lampiran 8 Pengujian Porositas



Lampiran 9 Dimensi Pola Cetakan

a. Pola bagian atas



b. Pola bagian bawah

