

**MODIFIKASI PASIR LAMPUNG SEBAGAI *RAW-MATERIAL* PASIR
CETAK PADA PROSES PELEBURAN *SCRAP* ALUMINIUM**

(Skripsi)

Oleh

WULANDA YURISTA PERSATIKA



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
2018**

ABSTRAK

MODIFIKASI PASIR LAMPUNG SEBAGAI *RAW-MATERIAL* PASIR CETAK PADA PROSES PELEBURAN *SCRAP* ALUMINIUM

Oleh

WULANDA YURISTA PERSATIKA

Modifikasi pasir Lampung sebagai *raw-material* pasir cetak pada proses peleburan *scrap* aluminium pada temperatur 640 °C, menghasilkan nilai dengan bertambahnya persentase pasir pantai Maringgai dan berkurangnya persentase pasir Tanjung Bintang, menghasilkan tingkat porositas dan kekasaran permukaan benda coran yang sesuai dengan standar kriteria pasir cetak. Setelah dilakukan uji porositas dan melihat bentuk permukaan dari sampel-sampel menghasilkan hasil pasir cetak terbaik diperoleh pada komposisi 75% pasir Maringgai, 25% pasir Tanjung Bintang. Dari hasil ini, menunjukkan bahwa campuran pasir Maringgai dan Tanjung Bintang dapat menggantikan pasir Ceper sebagai pasir cetak.

Kata kunci: PasirCetak,*Scrap*, Komposisi, Pengecoran, XRF, dan Porositas.

ABSTRACT

**MODIFICATION OF LAMPUNG SAND AS RAW-MATERIAL SAND
PRINTING ON ALUMINIUM SCRAP PROCESSING PROCESS**

By

WULANDA YURISTA PERSATIKA

Modification sand of Lampung as raw material of printed sand at aluminum scrap process at 640 °C temperature, yield value with increasing of Maringgai sand beach sand and decreasing of Tanjung Bintang sand percentage, yielding porosity level and surface roughness of casting object according to standard sand sands criteria. After the porosity test and see the surface shape of the samples, the best sand sand yields are obtained with the composition of 75% Maringgai sand, 25% starch sand, water and clay. From this result, it shows that Maringgai and Tanjung Bintang sand mixes can replace Ceper sand as printed sand.

Keywords: *Sand Print, Scrap, Composition, Casting, XRF, and Porosity.*

**MODIFIKASI PASIR LAMPUNG SEBAGAI RAW-MATERIAL PASIR
CETAK PADA PROSES PELEBURAN SCRAP ALUMINIUM**

Oleh

WULANDA YURISTA PERSATIKA

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS**

Pada

**Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2018**

**Judul Skripsi : MODIFIKASI PASIR LAMPUNG SEBAGAI
RAW-MATERIAL PASIR CETAK PADA
PROSES PELEBURAN SCRAP
ALUMUNIUUM**

Nama Mahasiswa : Wulanda Yurista Persatika

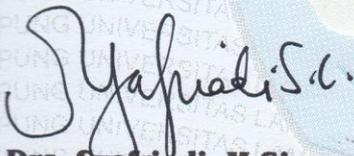
Nomor Pokok Mahasiswa : 1217041052

Jurusan : Fisika

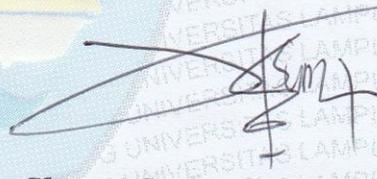
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

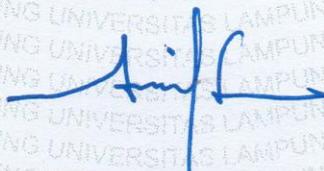


Drs. Syafriadi, M.Si.
NIP 19610821 199203 1 002



Slamet Sumardi, S.Si., M.T.
NIP 19790426 200604 1 005

2. Ketua Jurusan Fisika



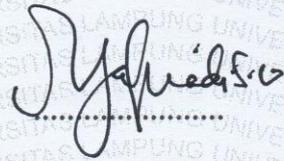
Arif Surtano, M.Si., M.Eng.
NIP 19710909 200012 1 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

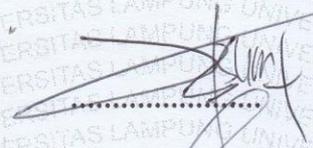
Ketua

: Drs. Syafriadi, M.Si.



Sekretaris

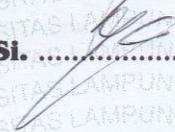
: Slamet Sumardi, S.Si., M.T.



Penguji

Bukan Pembimbing

: Drs. Ediman Ginting Suka, M.Si.

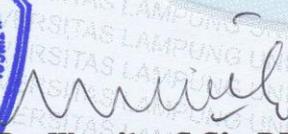


2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Prof. Dr. Warsito, S.Si., DEA., Ph.D.

NIP 19710212 199512 1 001



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 29 Januari 2018

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan oleh orang lain. Sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebut dalam daftar pustaka. Selain itu saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya ini tidak benar maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 30 Januari 2018



Wulanda Yurista Persatika
NPM. 1217041052

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Panaragan, Kecamatan Tulang Bawang Tengah, Kabupaten Tulang Bawang Barat, Provinsi Lampung pada tanggal 12 Oktober 1994. Penulis merupakan anak pertama dari pasangan Bapak Kesuma Yuda dan Ibu Suryanti. Penulis menyelesaikan pendidikan di TK Melati Panaragan Jaya II 2001, SDN 5 Tirta Kencana tahun 2006, SMPN 2 Tulang Bawang Tengah pada tahun 2009, dan SMAN 1 Tulang Bawang Tengah pada tahun 2012.

Selanjutnya pada tahun 2012 penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam melalui jalur Reguler. Penulis melakukan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di UPT. Balai Penelitian Teknologi Mineral-LIPI Lampung dengan judul “Karakterisasi Pasir Wilayah Lampung Sebagai Pasir Cetak”. Penulis juga pernah menjadi asisten praktikum Fisika Dasar, Sains Dasar Fisika, dan Fisika Eksperimen. Kemudian penulis melakukan penelitian “Modifikasi pasir Lampung Sebagai *Raw-Material* Pasir Cetak Pada Proses Peleburan *Scrap* Alumunium “ sebagai tugas akhir di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam UNILA.

MOTTO

*“Jangan hanya menunggu, tapi bergeraklah,
lakukan apa yang bisa kita lakukan, tidak akan ada
hasil jika tidak ada proses”*

*“Do not just wait, but move on, do what we can do,
there will be no results if there is no process”*

*Dengan penuh rasa syukur kepada Allah SWT,
kupersembahkan karya ini untuk orng-orang yang kusayangi*

AYAHANDA KESUMA YUDA DAN IBUNDA SURYANTI

*Kedua orang tuaku yang selalu mendo'akanku, mengasihiku,
mendukungku, menyemangatiku, berkorban untukku tanpa
mengenal rasa lelah dan sebagai motivator terbesar dalam
hidupku.*

**ADIK-ADIKKU, SERTA KELUARGA BESAR YANG MENJADI
PENYEMANGATKU**

Terimakasih atas motivasi dalam hidupku

AHI TARMAN Z. L.

Terimakasih atas motivasi selama ini

BAPAK SYAFRIADI

Terimakasih atas ilmu pengetahuan dan kesabarannya

BAPAK-IBU DOSEN

*Terimakasih atas ilmu pengetahuan dan budi pekerti yang
telah membuka hati dan wawasanku.*

PARA SAHABATKU, TEMAN SEPERJUANGANKU DAN ANGKATAN '12

Terimakasih atas kebaikan dan kebersamaan yang kita lalui.

ALMAMATER TERCINTA

UNIVERSITAS LAMPUNG

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, yang telah memberikan kesehatan dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**MODIFIKASI PASIR LAMPUNG SEBAGAI *RAW-MATERIAL* PASIR CETAK PADA PROSES PELEBURAN *SCRAP* ALUMUNIUM**”. Tujuan penulisan skripsi ini adalah sebagai salah satu persyaratan untuk mendapatkan gelar sarjana dan melatih mahasiswa untuk berpikir cerdas dan kreatif dalam menulis karya ilmiah.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua. Amin.

Bandar Lampung, 30 Januari 2018

Penulis,

Wulanda Yurista Persatika

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan nikmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian tugas akhir dengan judul “Modifikasi Pasir Lampung sebagai *Raw-Material* Pasir Cetak pada Proses Peleburan *Scrap* Alumunium” sebagai salah satu pertanggungjawaban kelulusan sebagai sarjana.

Penulis menyadari bahwa selama melakukan penelitian tidak terlepas dari dukungan, bimbingan, motivasi, serta do'a dari pihak lain. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua penulis Bapak Kesuma Yuda dan Ibu Suryanti, S.Pd yang tidak pernah berhenti mendo'akan dan memberikan dukungan kepada penulis.
2. Bapak Drs. Syafriadi, M.Si., sebagai Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan, saran dan arahan yang mendukung dari awal sampai akhir penulisan.
3. Bapak Slamet Sumardi, S. Si., M.T., sebagai Pembimbing II yang senantiasa sabar dalam mengoreksi skripsi dan memberikan masukan-masukan serta nasehat untuk menyelesaikan skripsi ini dari awal sampai akhir penulisan.
4. Bapak Drs. Ediman Ginting Suka, M. Si., sebagai Penguji yang telah mengoreksi kekurangan, memberi kritik dan saran selama penulisan skripsi.

5. Bapak David Candra Birawidha, S. T., sebagai Pembimbing Lapangan yang senantiasa sabar dalam memberikan bimbingan dan arahan yang mendukung dari awal sampai akhir penelitian serta dalam mengoreksi skripsi dan memberikan masukan-masukan serta nasehat untuk menyelesaikan skripsi ini dari awal sampai akhir penulisan.
6. Balai Penelitian Teknologi Mineral (BPMT) – LIPI dan pihak-pihak terkait yang telah membantu penulis selama pelaksanaan penelitian.
7. Ibu Nurbaiti Marsas Prilitasari, S. T., dan Ibu Isti, A. Md., yang telah membantu penulis di Laboratorium.
8. Bapak Arif Surtono, M. Si., M. Eng., sebagai Pembimbing Akademik dan selaku Ketua Jurusan, yang telah memberikan bimbingan serta nasehat dari awal perkuliahan sampai menyelesaikan tugas akhir.
9. Bapa Prof. Dr. Warsito, S. Si., M. Sc., sebagai Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.
10. Bapak Gurum Ahmad, S. Si., M. T., sebagai Sekretaris Jurusan Fisika.
11. Seluruh Dosen di Jurusan Fisika yang telah memberikan banyak ilmu kepada penulis.
12. Ketiga adik penulis Yuranti Persatika, Tyanada Persatika dan Tyas Ahmad Saka yang selalu memberikan dukungan, do'a dan semangat bagi penulis.
13. Ahi Tarman, Z. L., yang mengasihi dan yang 'ku kasihi, terimakasih atas dukungan, doa, serta semangatnya.
14. Sahabat-sahabat yang selalu mendukung dan memberi saran penulis berjuang Anggun Mersilia, Indah Retno, Oktibella Palupi, Tika Rahayu dan Sani Sartika.

15. Teman-teman fisika angkatan 2013 Reni Septiana, Sinta Novita, Reza dan Herullah yang senantiasa membantu penulis.
16. Teman-teman fisika angkatan 2012, serta Kakak-kakak tingkat serta adik-adik tingkat yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Semoga Allah SWT memberikan nikmat sehat kepada kita semua. Amin.

Bandar Lampung, 30 Januari 2018

Penulis

Wulanda Yurista Persatika

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
COVER DALAM	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
PENGESAHAN	v
PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
MOTTO	viii
PERSEMBAHAN	ix
KATA PENGANTAR	x
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xvii
I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	5
C. Batasan Masalah	5
D. Tujuan Penelitian	6
E. Manfaat Penelitian	7

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Pengecoran Logam	8
B. Gambaran Umum Pasir Cetak.....	9
C. Bahan Cetakan Pengecoran Logam.....	13
D. Sifat-sifat Pasir Cetak.....	18
E. Pengujian Pasir	21
1. Distribusi Besar Butir	21
2. Kadar Air	23
3. Kadar Lempung	25
4. Pemeriksaan Besar Butiran.....	27
5. Metode <i>XRF (X-Ray Fluorescence)</i>	28
6. Porositas	29
7. Cacat Permukaan	34
8. Pengujian Struktur Makro	35

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat penelitian	38
B. Alat dan Bahan	38
C. Prosedur Percobaan	39
1. Analisa Bahan Baku (<i>Raw Material Pasir</i>).....	40
2. Analisa Pasir Cetak.....	44
D. Diagram Alir	49

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Bahan Baku (<i>Raw Material</i>) Pasir	51
1. Kadar Air	51
2. Kadar Lempung	52
3. Distribusi Pasir	53
4. <i>XRF (X-Ray Fluorescence)</i>	56
B. Pasir Cetak	57
1. Bentuk Butir Pasir.....	57
2. Cacat Permukaan	58
3. Uji Porositas.....	60

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan	63
B. Saran	64

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Bentuk butir-butir pasir cetak	11
2. Pengaruh kadar air dan kadar lempung pada pasir diikat lempung	19
3. Pemuaiian panas dari bermacam-macam pasir	20
4. Pemuaiian panas dari bermacam-macam pasir	21
5. Penggoncang pasir <i>ro-tap</i> lengkap dengan ayakan tersusun bertingkat	23
6. <i>Moisture analyzer type MA-30</i>	25
7. Pencuci pasir berputar	27
8. Prinsip <i>x-ray flourescence</i>	29
9. Porositas gas dan <i>shrinkage</i>	30
10. Cacat porositas	31
11. Mikroskop metalurgi.....	36
12. Skema dasar pengujian mikroskop metalurgi	36
13. Tungku peleburan <i>scrap</i> alumunium	46
14. Diagram alir penelitian.....	49
15. Bentuk butir pasir	58
16. Hasil coran bentuk I (<i>Ornament</i> pagar)	58
17. Hasil coran bentuk I (<i>Ornament</i> pagar)	59
18. Grafik persentase porositas.....	61

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Keterangan Kriteria Pasir Cetak Pada Pengecoran Logam Sand Casting.....	9
2. Keterangan kriteria pasir Maringgai dan pasir Tanjung Bintang.....	13
3. Pembagian Butiran Pasir	27
4. Keterangan Kode Sampel Uji	40
5. Persentase Campuran Sampel A dan Sampel B	45
6. Data Hasil Pengujian Kadar Air Sampel A, Sampel B, dan Sampel C	51
7. Data Hasil Pengujian Kadar Lempung Sampel A, Sampel B, dan Sampel C.....	52
8. Data Persentase Berat Pasir Tiap Ayakan Sampel A.....	54
9. Data Persentase Berat Pasir Tiap Ayakan Sampel B.....	54
10. Data Nomor Kehalusan Butir <i>Grain Fineness Number</i> (GFN) sampel A dan sampel B.....	55
11. Hasil XRF sampel A dan sampel B.....	56
12. Hasil Uji Porositas pada masing-masing spesimen hasil cor	60

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pengecoran merupakan salah satu penopang kemajuan industri dunia. Teknologi pengecoranpun semakin menunjukkan perkembangan sesuai dengan kebutuhan industri logam itu sendiri dan proses pengecoran masih digunakan sampai sekarang untuk memperoleh bentuk logam sesuai dengan yang diminati. Semakin berkurangnya sumber daya alam yang menjadi bahan baku pengecoran, maka efisiensi perlu dipertimbangkan (Astika dkk, 2010). Proses pengecoran yang bagus, efisien dan ekonomis dapat mengurangi biaya produksi (Budiyono dkk, 2013). Salah satu faktor yang menentukan kualitas produk hasil pengecoran adalah bahan baku coran, komposisi pasir cetak yang berbeda, kualitas pasir cetak (menggunakan cetakan pasir), sistem peleburan, sistem penuangan dan pengerjaan akhir dari produk coran sehingga menghasilkan benda cor dengan karakteristik berbeda (Kumar and Shan, 2008).

Cetakan pasir merupakan cetakan yang paling terkenal dan paling banyak digunakan dalam industri pengecoran logam. Menurut American Foundrymen's Society (AFS) kira-kira 90% pengecoran di Amerika Serikat menggunakan cetakan pasir (Sikora, 1978). Komponen utama untuk membentuk cetakan pasir

pada industri pengecoran logam adalah pasir (ASM Handbook Committee, 1998). Pasir merupakan bahan yang fundamental dalam proses pengecoran karena pasir adalah bahan yang paling banyak tersedia di alam. Pemilihan jenis pasir untuk cetakan melibatkan beberapa faktor penting seperti bentuk dan ukuran pasir. Karakteristik atau kualitas hasil benda cor dipengaruhi oleh komposisi, jenis dan perbedaan ukuran pasir cetak. Pasir cetak yang umum digunakan adalah pasir gunung, pasir pantai, pasir sungai, dan pasir silika yang disediakan alam (Anwar, 2003).

Industri pengecoran logam yang terdapat di Kecamatan Ceper telah ada sejak abad ke-19, yakni terhitung sejak zaman penjajahan Belanda. Sampai sekarang industri tersebut masih tetap eksis keberadaannya mengingat produk yang dihasilkan. Untuk menilai kualitas produk yang dihasilkan telah didirikan Laboratorium Pengecoran Logam Ceper yang melayani uji pasir cetak, kekerasan, kekuatan tarik, struktur mikro dan analisa komposisi kimia logam (Dody dkk, 2006). Industri pengecoran logam ini menggunakan cetakan dengan media pasir. Adapun jenis pasir yang dipakai adalah pasir gunung yang mengandung lempung dan kebanyakan dapat dipakai setelah dicampur dengan air, dengan kadar lempung 10-20%. Pasir gunung ini banyak diusahakan oleh masyarakat di sekitar Kecamatan Ceper. Bahkan pasir yang digunakan oleh industri pengecoran logam maupun aluminium Provinsi Lampung selama ini berasal dari pasir pulau Jawa. Pemanfaatan pasir yang ada di Lampung khususnya pasir laut daerah Labuhan Maringgai dan pasir sungai Tanjung Bintang selama ini masih kurang, disebabkan minimnya pengetahuan dan penelitian di bidang tersebut. Untuk mengurangi biaya produksi, seiring dengan meningkatnya kebutuhan penggunaan pasir cetak

yang baik, serta untuk meningkatkan nilai tambah sumber daya alam di Provinsi Lampung, maka sebaiknya dilakukan modifikasi pasir di wilayah Lampung sebagai alternatif pasir cetak dalam proses pengecoran logam. Dalam melakukan modifikasi pasir sebagai pasir cetak, pemilihan jenis pasir yang melibatkan bentuk dan ukuran pasir pada proses pengecoran sangat penting untuk membentuk benda cor yang baik. Potensi endapan pasir kuarsa di desa Karya Tani, Kecamatan Labuhan Maringgai, Kabupaten Lampung Timur, Provinsi Lampung yang lokasinya terletak di pesisir timur Pulau Sumatera bagian Selatan, ber-jarak sekitar 70 km dari ibu kota Provinsi Lampung yang luasnya 19.498,73 Ha (Mangga, 1993). Dengan kandungan kuarsa yang melimpah hampir seluruh wilayah Karya Tani ditutupi pasir kuarsa, ketebalannya antara 1–1,5 meter, berwarna abu-abu keputihan hingga kecoklatan (Mulyo, 2007). Apabila dikelola dengan maksimal maka bisa menghasilkan keuntungan bagi pemerintah maupun investor. Pasir kuarsa memegang peranan cukup penting bagi industri, baik sebagai bahan baku utama maupun penolong. Sebagai bahan baku utama, pasir kuarsa dipakai oleh industri semen, kaca lembaran, botol dan pecah belah. Sedangkan sebagai bahan baku penolong dipakai dalam pengecoran logam, dan industri lainnya. Selain pasir laut Kecamatan Labuhan maringgai, terdapat pasir sungai Tanjung Bintang yang merupakan sebuah kecamatan di daerah Lampung Selatan. Memiliki bantaran sungai yang membentang dan sungai-sungai kecil lainnya. Dari sungai-sungai inilah didapatkan pasir sungai yang merupakan hasil gigisan batu-batuan yang keras dan tajam yang memiliki butiran antara 0.063 mm-5mm. Selama ini pasir sungai Tanjung Bintang sebagai pasir cetak pemanfaatannya cukup rendah. Pemanfaatan pasir laut dan sungai di Lampung

saat ini lebih banyak digunakan untuk bahan bangunan, hal ini sangat merugikan karena pasir laut dan sungai itu pemanfaatannya tidak hanya untuk bahan bangunan tetapi ada kegunaan lain sebagai pasir cetak pada pengecoran logam *sand casting*, bahan baku pada industri semen dan industri kaca. Dengan melimpahnya ketersediaan pasir laut dan sungai lampung, serta nilai eksploitasi cukup ekonomis, sehingga sangat tepat sebagai alternatif pasir cetak pada proses pengecoran, salah satunya terhadap hasil pengecoran aluminium untuk meminimalisir pemakaian pasir dari pulau Jawa khususnya Ceper (Nurhadi, 2004).

Pasir cetak dengan penambahan bentonit dan air 10% dan 5%, dengan komposisi pasir Tanjung Bintang terhadap pasir Maringgai sebesar 100% , 75%, 50%, dan 25% menunjukkan nilai porositas yang semakin tinggi dengan kadar pasir Tanjung Bintang yang tinggi, penelitian yang pernah dilakukan oleh Hendronursito dan Yogi (2016). Perbedaan jenis pasir silika, pasir tetes, dan pasir kali terhadap pengecoran besi cor kelabu. Diperoleh bahwa pasir silika memiliki nilai *permeabilitas* tertinggi dan pasir kali yang terendah sehingga disimpulkan bahwa pasir silika memiliki sedikit cacat pengecoran, penelitian yang pernah dilakukan oleh Dody dkk (2006). Analisa variasi pasir cetak lokal jawa timur terhadap kekuatan cetakan pasir, fluiditas, dan kualitas hasil coran logam Al-Si dengan metode *gravitasi casting*, penelitian yang pernah dilakukan oleh Uswatun (2012). Penelitian hubungan ukuran butir terhadap permeabilitas dan porositas, diperoleh bahwa ukuran butir dengan porositas dan permeabilitas mempunyai hubungan linear yang kuat dan berkorelasi negatif yaitu semakin besar ukuran butirnya maka semakin kecil porositas dan permeabilitasnya, penelitian yang

pernah dilakukan oleh Nurwidyanto dkk (2006). Penelitian ini bertujuan untuk memodifikasi pasir yang berasal dari Lampung menjadi alternatif pasir cetak terhadap hasil pengecoran logam khususnya di Lampung, selain di Pulau Jawa. Dengan demikian hasil penelitian ini diharapkan dapat memberi kontribusi pada industri di Lampung dalam penentuan cetakan pada proses pengecoran khususnya pengecoran aluminium untuk aplikasi ornament seperti pagar, sehingga pasir di Lampung dapat dimanfaatkan lebih optimal.

B. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dilakukannya penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana pengaruh perbandingan persentase campuran pasir laut dan pasir sungai wilayah Lampung terhadap porositas dan cacat permukaan benda hasil pengecoran.
2. Apakah pasir Lampung khususnya pasir Maringgai dan pasir Tanjung Bintang, efisien dalam meningkatkan nilai tambah SDA (Sumber Daya Alam) sebagai bahan baku pasir cetak.
3. Bagaimana porositas serta cacat permukaan benda cor yang dihasilkan dari cetakan modifikasi pasir Lampung.

C. Batasan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka batasan masalah penelitian ini yaitu:

1. Bahan baku pasir yang digunakan yaitu pasir pantai dari Maringgai dan pasir kali Tanjung Bintang.
2. Sebagai pembanding cetakan, menggunakan pasir gunung dari Ceper.
3. Cacat porositas dihitung dengan metode penambahan berat.
4. Pengujian karakteristik pasir yaitu distribusi butir pasir, kadar lempung, kadar air dan XRF (*X-Ray Fluorescence*).
5. Analisa pasir cetak dengan struktur makro, porositas dan cacat permukaan secara kualitatif dan kuantitatif.

D. Tujuan

Tujuan dilakukannya penelitian ini terbagi menjadi dua jenis yaitu:

1. Mengetahui adanya potensi pasir cetak di Lampung.
2. Mengetahui cara memodifikasi pasir Lampung agar sesuai dengan standar pasir cetak.
3. Mengetahui pengaruh persentase pasir laut dengan pasir sungai wilayah Lampung terhadap porositas dan cacat permukaan benda hasil pengecoran.
4. Mengetahui tingkat porositas dan cacat permukaan hasil benda cor cetakan.
5. Mengetahui apakah hasil benda cor cetakan pasir Lampung sebanding dengan cetakan pasir dari Ceper.
6. Mengetahui bentuk butir pasir yang baik sebagai bahan cetakan pasir dengan analisa struktur makro.

E. Manfaat

Manfaat dilakukannya penelitian ini yaitu:

1. Dapat meningkatkan kualitas pasir laut dan sungai lampung sehingga layak digunakan sebagai pasir cetak pada pengecoran logam.
2. Dapat memberikan informasi kepada dunia industri bahwa pasir wilayah Lampung mempunyai potensi sebagai pasir cetak pada pengecoran logam untuk pengembangan produk yang lebih baik kedepannya dalam industri pengecoran logam.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Pengecoran Logam

Pengecoran logam merupakan proses awal yang paling penting dalam industri logam. Teknologi pengecoran terus mengalami perkembangan sesuai dengan kebutuhan industri logam itu sendiri serta proses pengecoran masih digunakan sampai sekarang untuk memperoleh bentuk logam sesuai dengan yang diminati (Sewandono dkk, 2013). Pengecoran adalah suatu proses manufaktur yang menggunakan logam cair dan cetakan untuk menghasilkan barang jadi dengan bentuk yang mendekati bentuk geometri akhir produk jadi. Logam cair akan dituangkan atau ditekan ke dalam cetakan yang memiliki rongga sesuai dengan bentuk yang diinginkan (Rohman dkk, 2014). Dengan kata lain, pengecoran logam adalah pembentukan benda kerja dengan cara mencairkan logam dalam dapur pelebur, kemudian dituangkan dalam suatu cetakan dan dibiarkan sampai membeku, selanjutnya dikeluarkan dari cetakan. Peleburan logam pada umumnya mempunyai titik lebur di atas 1200 °C, sedangkan peleburan aluminium pada umumnya mempunyai titik lebur kurang dari 700 °C sehingga tidak mudah untuk mendapatkan cetakan yang sanggup menahan panas di atas temperatur tersebut. Untuk itu pasir cetak yang baik harus memenuhi persyaratan metode pengecoran

yang paling sering digunakan adalah pengecoran cetakan pasir (*sand casting*) (Rochim, 2014). Di dalam proses pengecoran logam dalam usaha untuk menghasilkan suatu produk benda coran yang berkualitas baik dengan komposisi yang dikehendaki maka ada beberapa faktor yang mempengaruhi yaitu: bahan baku coran, komposisi bahan baku, kualitas pasir cetak (bila menggunakan cetakan pasir), sistem peleburan, sistem penuangan dan pengerjaan akhir dari produk coran (Surdia dan Chijiwa, 1984).

B. Gambaran Umum Pasir Cetak

Cetakan pasir adalah cetakan yang terbuat dari pasir yang diberi bahan pengikat. Pasir cetak yang lazim dipakai adalah pasir gunung, pasir pantai, pasir sungai dan pasir silika, baik pasir silika dari alam maupun pasir silika buatan dari kwarsit dengan ukuran 0,1 mm s.d. 1,0 mm. Bahan pengikat yang paling banyak digunakan adalah bentonit. Keterangan kriteria pasir cetak pada pengecoran logam *sand casting* ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Keterangan Kriteria Pasir Cetak Pada Pengecoran Logam Sand Casting (Agarwal *et al.*, 1981).

No.	Uji Pasir Cetak	Nilai Kriteria Uji
1.	Kadar Lempung	10% s.d. 20%
2.	GFN (Grain Finnest Number)	40 s.d. 220
3.	Kadar Air	2% s.d. 12%

Pasir cetak dapat digunakan secara terus menerus selama masih mampu menahan temperatur cairan ketika dituangkan (Lal and Khan, 1981). Pasir cetak baru adalah pasir dengan ukuran butir antara 0,06 dan 2 mm yang bebas dari atau mengandung oksida kalsium dalam kadar rendah, yang terdapat di alam dalam keadaan murni

atau tercampur dengan tanah liat. Sedangkan pasir cetak lama adalah pasir bekas pakai yang dicampur secara mekanis dengan pasir baru atau bahan tambang. Menurut penggunaannya pasir baru atau pasir lama dapat dibagi menjadi pasir cetak untuk pembuatan cetakan dan pasir inti untuk pembuatan inti (SNI 19-0312-1989). Penggunaan pasir yang mahal seperti pasir zirkon dan kromite dapat dilakukan untuk mendapatkan tingkat reklamasi pasir yang tinggi (Clegg, 1985). Kekuatan cetakan pasir ditentukan oleh resistansi gesek antar butir pasir. Kekuatan cetakan pasir akan lebih tinggi jika menggunakan pasir dengan bentuk angular walaupun jika menggunakan bentuk (*rounded*) bulat akan memberikan densitas yang lebih tinggi. Perubahan bentuk pasir dari angular ke *rounded* akan menaikkan densitasnya sekitar 8-10% (Hoyt, *et al.* 1991). Densitas pasir cetak dapat ditingkatkan dengan digetarkan (Butler, 1964). Waktu pengisian logam cair kedalam cetakan akan lebih lama apabila menggunakan pasir cetak yang memiliki ukuran lebih kecil. Kecepatan penuangan semakin besar dengan bertambahnya ukuran pasir cetak (Sands and Shivkumar, 2003). 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 Al- 7% Si, ukuran pasir cetak memiliki faktor dominan dalam menentukan nilai tegangan tarik dan elongasi benda cor (Kumar *et al.*, 2008). Pemilihan jenis pasir cetak dan metode pemadatan sangat penting untuk mendapatkan permeabilitas yang tepat dan mencegah deformasi pola. Ukuran butir pasir yang dipilih tergantung pada kualitas dan ketebalan lapisan *coating*. Ukuran butir pasir American Foundrymen's Society (AFS) 30-45 menjamin permeabilitas yang baik untuk pola yang terdekomposisi menjadi gas dan cairan (Acimovic, 1991).

Pasir dapat didefinisikan sebagai butiran-butiran yang terjadi akibat penghancuran batu batuan. Ukuran dari butir-butir pasir adalah tidak lebih besar dari 1/12 in dan tidak lebih kecil dari 1/400 in. pasir merupakan bahan yang paling banyak digunakan dalam pembuatan cetakan, karena pasir dapat digunakan untuk logam ferrous dan non ferrous (Surdia dan Chijiwa, 1991).

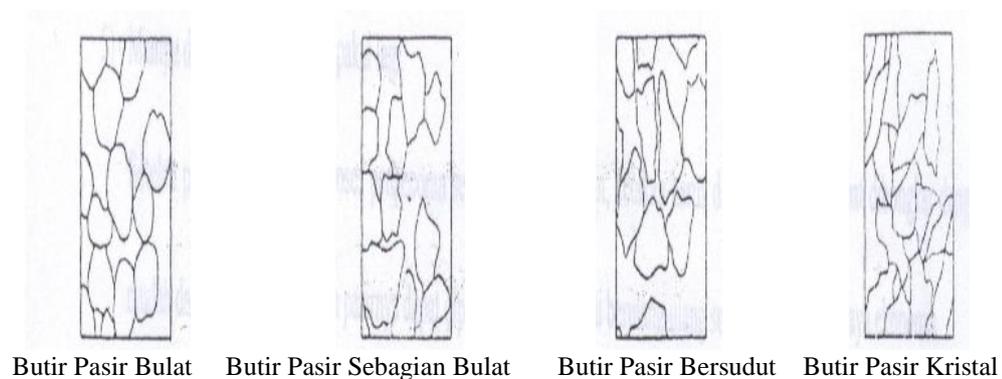
Bahan baku pembuatan cetakan pasir dapat dibagi menjadi dua golongan yaitu:

- a. Bahan utama pembentuk cetakan pasir, yaitu bahan yang mesti ada dalam pembuatan cetakan, yang terdiri dari pasir, zat pengikat dan air.
- b. Bahan tambahan, yaitu bahan yang bisa ditambahkan pada pembuatan cetakan, misalnya grafit, bubuk arang, tepung ataupun minyak nabati. Bahan-bahan tersebut dimaksudkan untuk memperbaiki sifat-sifat mekanis maupun sifat fisis cetakan.

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pembuatan pasir cetak yaitu:

1. Bentuk Butir Pasir Cetak

Bentuk butir pasir dari pasir cetak digolongkan menjadi beberapa jenis yang ditunjukkan dalam gambar yaitu butir pasir bundar, butir pasir sebagian bersudut, butir pasir bersudut butir pasir kristal, dan sebagainya.



Gambar 1. Bentuk butir-butir dari pasir cetak
(Surdia dan Chijiwa, 1984)

2. Syarat Pasir Cetak

Pasir cetak yang baik untuk pembuatan cetakan perlu memenuhi persyaratan berikut ini:

- a. Mempunyai sifat mampu bentuk sehingga mudah dalam pembuatan cetakan dengan kekuatan yang cocok sehingga tidak rusak jika dipindah-pindah letaknya dan mampu menahan logam cair saat dituang kedalam rongga cetak.
- b. Permeabilitas pasir cetak yang cocok. Permeabilitas dapat diartikan sebagai kemampuan cetakan untuk mengalirkan gas-gas dan uap air yang ada di dalamnya keluar dari cetakan. Permeabilitas berhubungan erat dengan keadaan permukaan coran. Pada prinsipnya, permeabilitas akan menentukan seberapa besar gas-gas dari cetakan atau logam cair mampu melepaskan diri selama waktu penuangan. Nilai permeabilitas yang rendah menyebabkan kulit coran lebih halus dan terjadilah gelembung udara terperangkap didalam cetakan akan menghasilkan cacat permukaan pada coran.
- c. Distribusi besar butir yang sesuai mengingat dua hal diatas terpenuhinya sifat mampu bentuk yang baik dan mudahnya gas-gas keluar dari cetakan. Butiran pasir yang terlalu halus akan mengurangi permeabilitas cetakan, sedangkan butiran yang terlalu kasar akan meningkatkan permeabilitas cetakan. Untuk itu distribusi besar butir yang cocok perlu dipertimbangkan.
- d. Tahan terhadap temperatur logam cair selama penuangan. Pasir dan bahan pengikat harus tahan api sehingga dinding dalam cetakan tidak rontok selama penuangan logam cair.

- e. Komposisi yang cocok antara bahan baku pasir dengan bahan tambah lainnya. Mempunyai kekuatan yang baik.
- f. Agar ekonomis usahakan pasir dapat digunakan lagi.
- g. Mempunyai kekuatan yang baik. Cetakan harus mempunyai kekuatan yang cukup agar tidak mudah ambruk baik pada saat penuangan, pengangkutan maupun pemindahan.

Untuk mendapatkan hasil benda cor yang baik maka diperlukan pengujian terhadap bahan utama komposisi pasir cetak yang digunakan. Keterangan kriteria pasir Maringgai dan pasir Tanjung Bintang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Keterangan kriteria pasir Maringgai dan pasir Tanjung Bintang (Mulyo, 2007).

Sampel	Warna	Ukuran	Bentuk Butir Pasir	Analisis Kimiawi	Jumlah Sumber Daya Pasir yang dapat ditambang
Pasir Maringgai	Abu-abu keputihan hingga kecoklatan	Halus sampai kasar	Sebagian besar butir bulat	SiO ₂ = 98,20% CaO=0,090% Al ₂ O ₃ =0,45% K ₂ O=0,29% Fe ₂ O ₃ =0,42% NaO=0,73% (Kualitas baik)	3.082.0000 m ³
Pasir Tanjung Bintang	Kecoklatan	Kasar	Sebagian besar butir sebagian bersudut	–	–

C. Bahan Cetakan Pengecoran Logam

Sebagian besar pengecoran logam di Indonesia menggunakan pasir sebagai bahan utama pembuatan Cetakan. Bahan cetakan pengecoran logam terdiri dari:

- 1) Bahan dasar: Pasir dan Non Pasir (Grafit, logam dan keramik).

2) Bahan perekat: Bentonit, kaolinit, air kaca dan semen.

3) Bahan aditif: Karbon aktif, karbon tidak aktif dan non karbon.

Bahan utama pembuatan cetakan, yaitu:

1. Bahan dasar (pasir)

Pasir memiliki butiran dengan garis tengah 0,02 – 0,2 mm. Untuk besar butiran dengan garis tengah < 0,02 dinyatakan sebagai debu. Sebagai dasar pemilihan, pasir dikualifikasikan sebagai berikut:

Pasir kasar: 50% lebih dengan butiran lebih besar dari 0,2 mm.

Pasir menengah: 45% lebih dengan butiran 0,1 - 0,2mm.

Pasir halus: 40% lebih dengan butiran 0,06 – 0,1 mm.

Beberapa macam pasir menurut asal-usulnya:

a. Pasir alam

Pasir yang termasuk kedalam jenis pasir alam yaitu:

- Pasir kuarsa (SiO_2) dengan sifat-sifat sebagai berikut: titik lebur $1700\text{ }^\circ\text{C}$, warna putih kelabu, Berat jenis $2,65\text{ Kg/dm}^3$. Pasir ini memiliki pemuaian yang besar yaitu pada temperatur $573\text{ }^\circ\text{C}$ dimana terjadi perubahan α -kuarsa menjadi β -kuarsa sebesar 0,8%.
- Pasir zirkon ($33\%\text{ SiO}_2+67\%\text{ ZrO}_2$) dengan sifat-sifat sebagai berikut : titik lebur $2450\text{ }^\circ\text{C}$, warnanya putih kecoklatan dengan berat jenis $4,6\text{ Kg/dm}^3$. Pasir zirkon memiliki pemuaian yang sangat kecil, karena itu zirkon sangat cocok untuk digunakan pada pengecoran benda presisi dan pengecoran baja karena temperatur leburnya yang tinggi.

b. Pasir pecahan batuan

Pasir yang termasuk kedalam jenis pasir pecahan batuan yaitu:

Pasir *chromit* (50% Cr_2O_3 + 27% Fe_2O_3 + 10% Al_2O_3 + 10% MgO + 3% batuan lain) dengan sifat-sifat sebagai berikut: titik lebur 1900–2000°C, berwarna hitam metalik. Selain itu, pasir olivin (93% 2MgO SiO_2 + 6% 2FeOSiO_2 + 1% batuan lain) dengan sifat-sifat sebagai berikut: memiliki titik lebur 1730 °C berwarna hijau kelabu. Pasir olivin memiliki keunggulan selain pemuaiannya yang kecil juga ketahanannya terhadap penetrasi cairan baja tinggi.

c. Pasir buatan

Pasir yang termasuk kedalam jenis pasir ini adalah pasir Schamotte yang merupakan produk buatan yang berasal dari sejenis lempung ataupun kaolin. Umumnya terdiri dari alumunium silikat ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) dan kuarsa. Pasir ini memiliki titik lebur 1750 °C berwarna abu-abu muda dan B_j 2,7 Kg/dm^3 . Pasir ini banya kdipergunakan pada pengecoran baja.

2. Bahan pengikat

Bahan-bahan pengikat yang dapat dipergunakan untuk membuat pasir cetak adalah bermacam-macam yaitu:

a. Bahan pengikat yang mengandung unsur silikat

Beberapa bahan pengikat yang termasuk kelompok ini antara lain:

- Tanah lempung, merupakan bahan pengikat pasir cetakan yang paling tua penggunaannya. Tanah lempung mengandung tiga jenis komponen yaitu:

1) *Montmorillonit*

2) *Kaolinit*

3) *Illite*

Saat ini jenis pengikat yang lazim dipergunakan dipabrik pengecoran adalah bentonit, yang merupakan hasil pengolahan lebih lanjut dari bahan montmorillonite. Nama bentonit ini diambil dari dua nama tempat, Front benton di Wyoming USA dimana jenis tanah lempung ini mula-mula ditemukan. Bentonit dibagi lagi kedalam dua jenis yaitu western atau sodium bentonit dan Southern atau Kalsium bentonit. Kedua jenis bentonit ini memiliki perbedaan dalam komposisi kimia dan sifat-sifat fisiknya.

- Semen merupakan pengikat hidrolis, dimana akan mengeras dengan campuran air. Portland semen dibedakan menjadi semen biasa yang umumnya terdiri dari kalsium silikat dengan kalsium aluminat dan dipadu dengan semen alumina, rapid semen yang sangat cepat mengeras merupakan campuran dari 40% kalsiumoksid dan 40% tanah lempung (Al_2O_3). Jenis semen yang lain adalah semen putih dan semen tahan api yang merupakan campuran dari semen biasa dengan batu tahan api.
- Air kaca adalah campuran dari natrium silikat ($\text{Na}_2\text{OSiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$) yang terbentuk dari hasil peleburan antara kuarsa dan soda yang dilarutkan dalam air. Kualitas air kaca dipengaruhi oleh kandungan air dan perbandingan antara SiO_2 dengan Na_2O yang sering disebut dengan istilah kadar kering atau modulnya. Sebagai contoh air kaca dengan 30% SiO_2 , 10% Na_2O dan 60% H_2O memiliki modul ($\text{SiO}_2:\text{Na}_2\text{O}$) =30:10.

b. Hidrat arang

Beberapa macam tepung dapat digunakan sebagai bahan pengikat pasir cetak seperti tepung terigu, tepung kentang maupun tepung kanji (tapioka). Untuk memperbaiki sifat pasir cetak kadang-kadang dicampurkan gula tetes.

c. Mineral Organik

Bahan pengikat ini berasal dari lemak hewan maupun lemak tumbuhan. Pasir cetak yang mengandung bahan pengikat ini akan mengeras setelah dipanaskan hingga suhu 220 °C selama beberapa jam. Sifat pasir cetak ini dapat ditingkatkan dengan mencampurkan tepung maupun bentonit kedalamnya.

d. Sintetis

Bahan sintetis yang umum digunakan sebagai bahan pengikat adalah resin Phenol dan resin Furan.

- Pengerasan dingin

Pada sistem ini resin dipisahkan dari katalisnya. Perpaduan antara resin dan katalis akan menyebabkan reaksi dan berubah menjadi kristal. Katalis tersebut berupa cairan maupun gas.

- Pengerasan panas

Dalam hal ini resin telah diolah lebih lanjut sehingga akan mengeras setelah dipanaskan, resin ini disebut dengan nama resin *hot box*. Setelah ditemukan sejenis resin yang disebut seperti nama penemunya, *croning*, maka resin *hot box* semakin sedikit digunakan.

3. Bahan tambah atau bahan pembantu

Bahan tambah ini umumnya diberikan dengan tujuan untuk memperbaiki sifat pasir cetak maupun untuk menghindari hal-hal tertentu terhadap pasir cetak, seperti:

- Untuk meningkatkan kehalusan permukaan tuangan, maka kedalam pasir cetak dapat ditambahkan debu arang. Khusus untuk tujuan ini maka debu arang yang digunakan berasal dari jelaga.

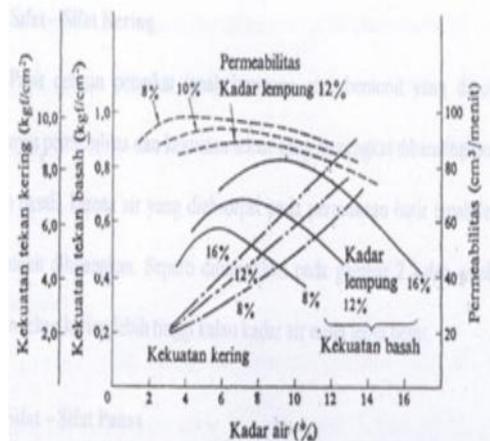
- Untuk meredam tegangan akibat pemuaian pasir kuarsa, maka kedalam pasir cetak dapat ditambahkan bahan-bahan yang bersifat elastis seperti tatal kayu, tepung-tepungan maupun serbuk batu bara.
- Untuk mengatasi penetrasi cairan logam kedalam cetakan, kedalam pasir cetak dapat ditambahkan pasir yang lebih tahan panas sebagai pasir muka seperti pasir zirkon maupun chromit.
- Untuk mempermudah dalam pembongkaran pasir inti, dapat dicampurkan bahan-bahan organik seperti tatal kayu, tepung-tepungan, dan gula tetes.
- Untuk meningkatkan kemampuan alir gas pada pasir cetak, maka dapat ditambahkan tepung-tepungan, tepung-tepungan ini akan terbakar saat proses penuangan dan meninggalkan rongga yang dapat dilalui oleh gas.

D. Sifat-sifat Pasir Cetak

1. Sifat-sifat basah

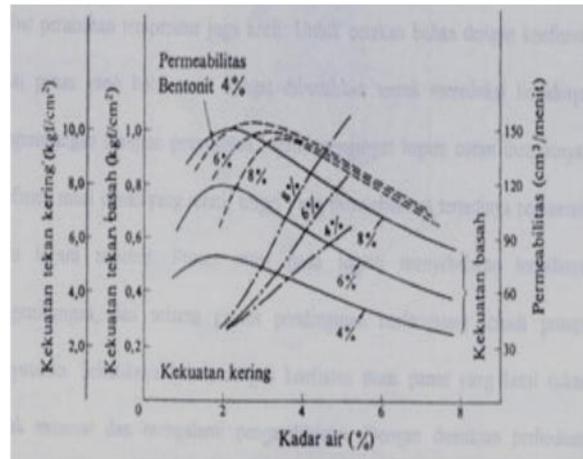
Cetakan pasir basah, proses pembuatan cetakan pasir basah adalah dengan mencampur pasir dan tanah liat dengan presentase yang diperlukan, namun kualitas yang superior biasanya dicapai ketika tanah liat berkualitas ditambahkan pada pasir murni, yaitu 2% sampai dengan 3% air dan melalui pencampuran didapatkan campuran pasir yang sudah siap diubah dan dicetak (Qohar dkk, 2017). Pasir cetak dengan tanah lempung atau bentonit sebagai pengikat menunjukkan berbagai sifat sesuai dengan kadar air. Gambar 2 menunjukkan hubungan antara kadar air dengan berbagai sifat pasir dengan pengikat tanah lempung. Karena kadar lempung dibuat tetap dan kadar air

ditambah, maka kekuatan berangsur-angsur bertambah sampai titik maksimum dan seterusnya menurun. Kecenderungan serupa timbul kalau kadar air dibuat tetap dan kadar lempung ditambah. Dengan kelebihan kadar air kekuatan dan permeabilitas akan menurun karena ruangan antara butir-butir pasir ditempati oleh lempung yang kelebihan air.



Gambar 2. Pengaruh kadar air dan kadar lempung pada pasir diikat lempung (Surdia dan Chijiwa, 1984)

Pada Gambar 2 menunjukkan hubungan antara kadar air, kekuatan dan permeabilitas dari pasir dengan pengikat bentonit. Kalau kadar air bertambah, kekuatan dan permeabilitas naik sampai titik maksimum dan turun kalau kadar air bertambah terus. Untuk pasir dengan pengikat bentonit, kadar air yang menyebabkan kekuatan basah maksimum dan yang menyebabkan permeabilitas maksimum sangat berdekatan satu sama lain.



Gambar 3. Pemuaihan panas dari bermacam macam pasir (Surdia dan Chijiwa, 1984)

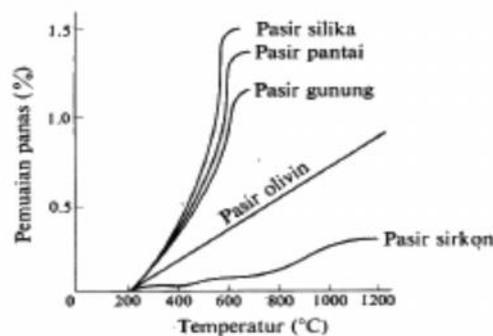
2. Sifat-sifat kering

Cetakan pasir kering, dibuat dengan menggunakan bahan pengikat tanah liat, kemudian cetakan dikeringkan dalam sebuah oven atau dengan bantuan panas lain sehingga cetakan benar-benar kering. Pengeringan cetakan dalam oven dapat memperkuat cetakan dan mengeraskan permukaan rongga cetakan. Cetakan pasir kering menghasilkan benda - benda coran yang sangat bersih dan sedikit gas yang dihasilkan (Qohar dkk, 2017). Pasir dengan pengikat tanah lempung atau bentonit yang dikeringkan mempunyai permeabilitas dan kekuatan tekan yang meningkat dibandingkan dalam keadaan basah, karena air yang diabsorpsi pada permukaan butir tanah lempung dan bentonit dihilangkan. Seperti ditunjukkan Gambar 3 dan Gambar 4 kekuatan tekan kering lebih tinggi kalau kadar air mula lebih besar.

3. Sifat-sifat panas

Cetakan mengalami temperatur tinggi dan tekanan tinggi dari logam cair pada waktu penuangan, sehingga kekuatan panas, pemuaihan panas, dan sebagainya harus diketahui sebelumnya. Pemuaihan panas berubah sesuai dengan jenis pasir cetak seperti yang ditunjukkan data Gambar 4 pasir pantai dan pasir gunung

mempunyai pemuaian panas yang lebih kecil dibandingkan dengan pasir silika, sedangkan pasir olivin dan pasir sirkon mempunyai pemuaian panas sangat kecil. Pemuaian panas bertambah sebanding dengan kadar air dari pasir dan menurun kalau kadar yang dapat terbakar bertambah.



Gambar 4. Pemuaian panas dari bermacam macam pasir (Surdia dan Chijiwa, 1984)

E. Pengujian Pasir

Pengujian pasir cetak diantaranya yaitu:

a. Distribusi Besar Butir

Penetapan ukuran butir pasir adalah bagian dari analisis ayak untuk mengukur sebaran butir pasir dengan menggunakan satu seri ayakan standar. Uji sebaran atau distribusi butiran bahan pasir diperlukan alat penggoncang pasir dan ayakan dengan mesh atau ukuran lobang bertingkat. Penetapan ukuran butir pasir ditentukan dengan cara meletakkan contoh pasir pada permukaan suatu seri ayakan, lalu digoyangkan. Berat fraksi contoh yang bertahan pada ayakan-ayakan tersebut kemudian ditimbang dan dihitung persen kumulatifnya (SNI 13-4702-1998). Syarat pasir cetak yang utama adalah sifat mampu bentuk sehingga mudah dalam pembuatan serta mampu menahan logam cair saat

dituang ke dalam rongga cetakan, permeabilitas akan menentukan seberapa besar gas-gas dari cetakan atau logam cair mampu melepaskan diri selama penuangan serta distribusi besar butir yang sangat menentukan terhadap sifat mampu bentuk dan mudahnya gas-gas keluar dari cetakan. Karakteristik paling penting pasir yakni pasir sebagai bahan refraktori alami yang mampu bertahan pada suhu tinggi saat bertemu dengan cairan logam dan terjadi penggabungan dengan cairan (Jain, 2003).

Cairan logam saat dituang akan mengenai cetakan. Hal ini menyebabkan timbulnya gas akibat dekomposisi pengikat dan zat aditif yang lain. Jika permeabilitas cetakan tidak cukup untuk mengeluarkan gas ini maka tekanan di dalam cetakan akan meningkat. Tekanan ini akan menghalangi aliran cairan logam atau bahkan dapat menimbulkan ledakan dari cetakan. Pemilihan pasir ditentukan oleh jumlah gas yang terbentuk dalam cetakan dan juga permukaan akhir yang diinginkan. Pada kenyataannya, gas yang terbentuk pada cetakan tidak selamanya merugikan. Tekanan yang terjadi pada cetakan akibat terbentuknya gas dapat menghalangi penetrasi logam pada pasir. Hal ini akan mengurangi terbakarnya butiran pasir yang mendatangkan permasalahan pada saat pembersihan dan permesinan. Jika permeabilitas rendah karena butiran pasir kecil maka zat aditif harus menghasilkan gas yang sedikit begitu sebaliknya. Kondisi pasir yang terbaik untuk mendapatkan kekuatan cetakan yang optimum dan densitas baik adalah butir pasir yang memiliki distribusi normal di atas empat atau lebih ukuran mesh yang berdekatan (ASM Handbook Committee, 1998).

Pasir cetak yang memiliki ukuran lebih kecil, menyebabkan waktu pengisian logam cair ke dalam cetakan akan lebih lama. Kecepatan penuangan semakin besar dengan bertambahnya ukuran pasir cetak (Sands dan Shivkumar, 2003).

Hal ini karena rongga-rongga antar pasir akan semakin kecil dengan mengecilnya ukuran pasir sehingga gas hasil degradasi lebih sulit keluar melalui pasir. Ukuran butir pasir yang dipilih tergantung pada kualitas dan ketebalan lapisan *coating*. Ukuran butir pasir AFS 30-45 menjamin permeabilitas yang baik untuk pola yang terdekomposisi menjadi gas dan cairan. Pada pengecoran Al-7%Si, ukuran pasir cetak memiliki faktor dominan dalam menentukan nilai tegangan tarik dan elongasi benda cor (Acimovic, 1991).



Gambar 5. Penggongcang pasir *Ro-Tap* lengkap dengan ayakan tersusun bertingkat (Desiana dkk, 2012).

b. Kadar Air

Kadar air adalah presentase kandungan air suatu bahan yang dapat dinyatakan berdasarkan berat basah (*wet basis*) atau berdasarkan berat kering (*dry basis*) dan dinyatakan dalam presentase (%) (SNI 13-3476-1994). Air berfungsi untuk mengaktifkan daya ikat lempung sehingga dapat digunakan untuk

mengikat pasir cetak. Besar kadar tergantung pada lempung yang akan mengikat pasir cetak yaitu berkisaran 2% - 12% (Agarwal, 1981). Dalam pembuatan cetakan pasir kadar air dalam cetakan harus tepat agar hasil coran tidak mengalami *termal shock*. Kadar air yang ada dalam pasir cetak akan mempengaruhi permeabilitas cetakan dan akan mempengaruhi kekuatan pasir cetak saat kering (Liu *et.al.*, 2002). Sehingga campuran kadar air pada pasir cetak basah tidak boleh kurang ataupun berlebihan karena akan menyebabkan cacat pada proses pengecoran. Penyebab terjadinya cacat pada pengecoran logam yaitu sifat-sifat dari cetakan seperti permeabilitas yang rendah, kekuatan tekan cetakan yang rendah, sintering poin yang rendah, dan distribusi butiran pasir tidak sesuai. Sifat-sifat cetakan ini salah satunya tergantung pada kadar airnya. Sehingga pengaturan campuran kadar air pada kandungan pasir cetak khususnya pasir cetak basah sangat penting. Apabila kadar air bertambah maka kekuatan tekan dan permeabilitasnya akan bertambah pul (Qohar dkk, 2107).

Pemeriksaan kadar air dilakukan dengan menggunakan rumus di bawah ini:

$$\% \text{Kadar air} = \frac{\text{Berat awal} - \text{Berat akhir}}{\text{Berat awal}} \times 100\% \quad (1)$$

Dimana :

%Kadar Air : Presentase kadar air pasir uji

Berat awal : Massa awal pasir uji

Berat akhir : Massa akhir pasir uji

Untuk uji kadar air dibutuhkan peralatan penguji kadar air seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. *Moisture analyzer type MA 30* (Desiana dkk, 2012).

c. Kadar Lempung

Kadar lempung adalah persentase kadar pengikat yang digunakan untuk mengikat butir-butir pada pasir cetak. *Clay* atau bahan pengikat yang paling banyak digunakan adalah bentonit (Herwido dkk, 2016). Selama ini telah banyak penelitian yang membuktikan bahwa bentonit merupakan pengikat ideal bagi cetakan pasir, tetapi harga bentonit di pasaran bernilai cukup mahal apabila dibandingkan jenis pengikat lain. kandungan CaO (lempung) pada bentonit lebih banyak dibandingkan pada limbah abu bekas pembakaran batu bara (*fly ash*) (Tjitro dan Hendri, 2009). Bentonit atau tanah lempung merupakan bahan campuran pengikat butir-butir pasir cetak, ikatan yang diciptakan ditambahkan kedalam komposisi cetakan pasir membentuk butiran penyusun struktur cetakan pasir yang berbeda, sehingga permeabilitas yang diciptakanpun berbeda (Gemilang, 2008). Tanah liat yang terkandung dalam pasir cetak adalah butiran dengan ukuran dibawah 0,02 mm dan dapat mengendap sejauh 25,4 mm dalam setiap menit, terdiri dari mineral-mineral tanah liat dan debu-debu mineral lainnya yang tidak memiliki daya pengikat. Oleh karena itu, kadar tanah liat yang dikandung suatu pasir cetak alam hanya merupakan petunjuk kasar tentang daya ikat atau kekuatan pasir

bersangkutan. Gambaran yang jelas mengenai kekuatan suatu pasir cetak hanya diperoleh dengan memeriksa sifat-sifat mekanisnya dari campuran pasir yang telah ditumbuk (SNI 19-0312-1989).

Persentase zat pengikat bentonit berpengaruh terhadap sifat permeabilitas dan kekuatan tekan cetakan pasir. Semakin tinggi kadar bentonit pada campuran pasir maka pori-pori akan semakin tertutup sehingga sifat permeabilitasnya menurun sedangkan kuat tekan meningkat (Astika, dkk, 2010). Jenis mineral tanah liat yang umum digunakan dalam industri pengecoran adalah bentonit. Tanah liat terdiri dari kaolin, illit, dan monmorilonit, kwarsa, felspar, mika dan kotoran lain. Bila ditambahkan air tanah liat akan menjadi lekat dan bila air ditambahkan lebih banyak lagi maka tanah liat akan berbentuk pasta. Kalau tanah liat kehilangan kadar airnya, maka sifat lekatnya akan menjadi sangat berkurang. Untuk benda-benda cor yang besar dan cetakan yang dibutuhkan adalah pasir kering, biasanya dipakai pasir silika yang telah dicampur dengan tanah liat yang mempunyai derajat tahan api yang tinggi. Terkadang ditambahkan bentonit, yaitu satu jenis dari tanah liat yang penyusun utamanya adalah monmorilonit ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$). Bentonit dapat menyerap air sebesar 13 kali dari volume air yang dapat diserap oleh tanah liat.

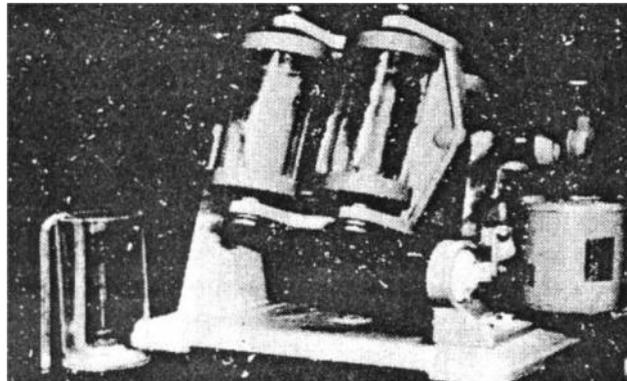
Pengujian kadar lempung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\% \text{Kadar Lempung} = \frac{\text{Berat awal} - \text{Berat akhir}}{\text{Berat awal}} \times 100\% \quad (2)$$

Dimana :

- %Kadar Lempung : Presentase kadar lempung pasir uji
- Berat awal : Massa awal pasir uji
- Berat akhir : Massa akhir pasir uji

Spesifikasi kadar lempung pada kekuatan tekan kering dan basah yang baik untuk pasir kasar dan halus antara 10 – 20%. Untuk menguji kadar lempung dibutuhkan peralatan pencuci pasir seperti terlihat pada gambar 7.



Gambar 7. Pencuci pasir berputar (Desiana dkk, 2012).

d. Pemeriksaan Besar Butiran

Persentase besar butiran ditentukan dengan pengayakan contoh pasir yang telah dikeringkan pada 105-110 °C dan dicuci, bebas tanah liat. Ayakan yang dipakai terdiri dari satu seri ayakan standar dengan ukuran: 1,4; 1,0; 0,71; 0,5; 0,355; 0,25; 0,18; 0,125; 0,009 dan 0,063 mm. Lamanya pengayakan minimum 12 menit. Pengayakan menghasilkan pembagian butiran contoh pasir dalam 11 bagian seperti dalam Tabel 3.

Tabel 3. Pembagian Butiran Pasir (SNI 19-0312-1989).

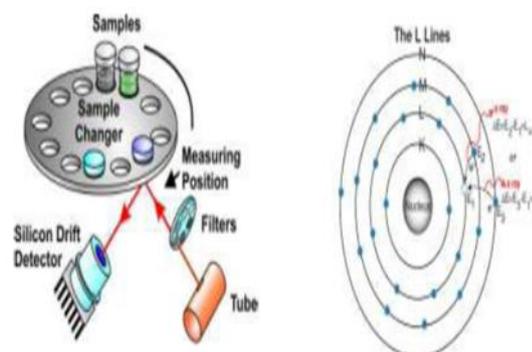
Nomor urut bagian	Ukuran butiran, mm	Nomor urut bagian	Ukuran butiran, mm
1	Di atas 1.4 sampai 0	6	Di atas 0.25 sampai 0.355
2	Di atas 1.0 sampai 1.4	7	Di atas 0.18 sampai 0.25
3	Di atas 0.71 sampai 1.0	8	Di atas 0.125 sampai 0.18
4	Di atas 0.5 sampai 0.71	9	Di atas 0.09 sampai 0.125
5	Di atas 0.355 sampai 0.5	10	Di atas 0.063 sampai 0.09
		11	Di atas 0.02 sampai 0.063

e. Metode XRF (*X-Ray Fluorescence*)

X-Ray Fluoresensi (XRF) merupakan salah satu metode analisis tidak merusak digunakan untuk analisis unsur dalam bahan secara kualitatif dan kuantitatif. Prinsip kerja metode analisis XRF berdasarkan terjadinya tumbukan atom-atom pada permukaan sampel (bahan) oleh sinar-X dari sumber sinar-X. Hasil analisis kualitatif ditunjukkan oleh puncak spektrum yang mewakili jenis unsur sesuai dengan energi sinar-X karakteristiknya, sedang analisis kuantitatif diperoleh dengan cara membandingkan intensitas sampel dengan standar (Kriswarini dkk, 2010).

Analisis menggunakan XRF dilakukan berdasarkan identifikasi dan pencacahan karakteristik sinar-X yang terjadi dari peristiwa efek fotolistrik. Efek fotolistrik terjadi karena elektron dalam atom target (sampel) terkena berkas berenergi tinggi (radiasi gamma, sinar-X). Bila energi sinar tersebut lebih tinggi dari pada energi ikat elektron dalam orbit K, L, atau M atom target, maka elektron atom target akan keluar dari orbitnya. Dengan demikian atom target akan mengalami kekosongan elektron. Kekosongan elektron ini akan diisi oleh elektron dari orbital yang lebih luar diikuti pelepasan energi yang berupa sinar-X. Skematik proses identifikasi dengan XRF tampak pada Gambar 8. Sinar-X yang dihasilkan merupakan gabungan spektrum sinambung dan spektrum berenergi tertentu (*discreet*) yang berasal bahan sasaran yang tertumbuk elektron. Jenis spektrum *discreet* yang terjadi tergantung pada perpindahan elektron yang terjadi dalam atom bahan. Spectrum ini dikenal dengan spektrum sinar-X karakteristik. Spektrometri XRF memanfaatkan sinar-X yang dipancarkan oleh bahan yang selanjutnya ditangkap detektor

untuk dianalisis kandungan unsur dalam bahan. Bahan yang dianalisis dapat berupa padat massif, pelet, maupun serbuk. Analisis unsur dilakukan secara kualitatif maupun kuantitatif. Analisis kualitatif menganalisis jenis unsur yang terkandung dalam bahan dan analisis kuantitatif dilakukan untuk menentukan konsentrasi unsur dalam bahan. Sinar-X yang dihasilkan dari peristiwa seperti peristiwa tersebut diatas ditangkap oleh oleh detektor semi konduktor Silikon Litium (SiLi).



Gambar 8. (a) Prinsip X-Ray *Flourescence*, (b) kekosongan elektron pada kulit L (Fansuri, 2010)

f. Porositas

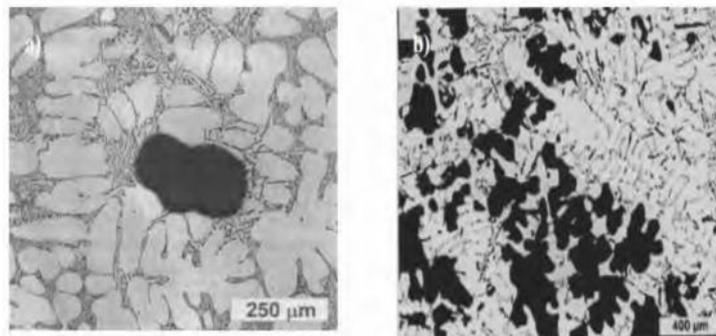
Porositas dapat terjadi karena terjebaknya gelembung-gelembung gas pada logam cair ketika dituangkan ke dalam cetakan. Porositas pada produk cor dapat menurunkan kualitas benda tuang. Salah satu penyebab terjadinya porositas pada penuangan logam adalah gas hidrogen. Porositas oleh gas hidrogen dalam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

Cacat porositas adalah cacat yang disebabkan gas yang terlarut dalam logam cair dan terjebak pada saat proses solidifikasi logam. Ukuran porositas dikelompokkan atas 3 bagian yaitu:

1. Presipitas pori yang memiliki ukuran 0,05-0,5 mm.
2. Gelembung udara berukuran 0,5-5 mm.
3. Rongga gas (*blow hole*) berukuran 10-100 mm.

Porositas coran logam yang terdapat diatas permukaan (*surface*) disebut porositas terbuka. Dibawah permukaan disebut porositas tertutup (*sub surface*) (Campbell, 1991).

Porositas ada dua jenis porositas yaitu porositas gas dan porositas *shrinkage*. Secara fisik porositas gas dan *shrinkage* dapat dibedakan, porositas gas disebabkan oleh terperangkapnya gas dan tampak sebagai lubang-lubang bulat dari pengujian metalografi seperti pada Gambar 9b. Sedangkan porositas *shrinkage* terjadi karena pengisian yang tidak mencukupi selama solidifikasi dan bentuknya lebih tidak beraturan dan lebih panjang dibanding porositas gas. Porositas dalam paduan aluminium merupakan gabungan adanya gas hidrogen yang terlarut dalam aluminium cair dan terperangkap selama proses solidifikasi (Nugroho, 2012).



Gambar 9. a) porositas gas

b) porositas *shrinkage* (Beeley, 2001).

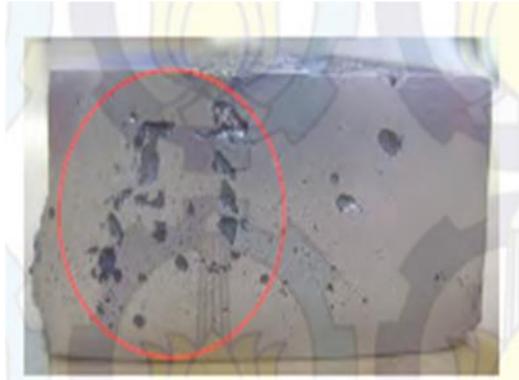
Secara prinsip hidrogen berasal dari kelembaban atmosfer (H_2O gas) yang bereaksi dengan aluminium cair membentuk gas hidrogen diatomik (H_2) selanjutnya H_2 tersebut terurai menjadi mono atom H larut ke dalam aluminium cair. Dalam proses solidifikasi, mono atomik H yang terlarut akan saling bereaksi menjadi atom H_2 selanjutnya atom tersebut saling bergabung menjadi pori (lubang) atau bersenyawa dengan unsur lain membentuk senyawa hidrida dengan aluminium (Suprpto, 2011).

Pada proses pengecoran banyak sekali adanya cacat pada benda hasil pengecoran. Salah satu cacat yang sering terjadi adalah cacat rongga udara (porositas). Cacat porositas dapat muncul sebagai lubang pada permukaan atau di dalam coran, terutama sedikit di bawah permukaan berupa rongga-rongga bulat seperti pada gambar 10. Porositas ini berasal dari gas hidrogen yang larut dan terperangkap selama proses pencairan dan penuangan. Bagian aluminium cair akan mereduksi uap air yang terdapat di dalam atmosfer.

Sumber-sumber gas berasal dari:

1. Gas yang berada di dalam tungku pembakaran atau *ladle* serta sisa dari bahan bakar seperti udara dan minyak.
2. Reaksi antara logam cair dan cetakan selama proses penuangan logam cair
3. Reaksi dengan dinding cetakan dan inti setelah proses penuangan logam cair. Reaksi yang terjadi antara aluminium dengan uap air adalah sebagai berikut:





Gambar 10. Cacat porositas (Beelay, 2001).

Selama proses pembekuan, dengan menurunnya temperatur maka kelarutan hidrogen dalam aluminium semakin menurun. Hal ini menyebabkan hidrogen keluar dari sel satuan dan membentuk gelembung-gelembung H_2 . Sebagian gelembung-gelembung ini tidak sempat keluar dan tetap berada di dalam logam yang kemudian membentuk cacat porositas. Salah satu cara untuk mengurangi kelarutan hidrogen dalam logam cair adalah dengan cara *degassing*. Proses ini dilakukan dengan cara memasukkan gas *inert* seperti nitrogen atau argon ke dalam logam cair melalui *nozzle*. Gas hidrogen akan berdifusi menjadi gelembung-gelembung (Beelay, 2001). Selain itu, pasir yang tidak diikat akan memicu terjadinya cacat pada benda cor karena pasir yang jatuh ke logam cair (Barone, 2005). Suhu penuangan paduan Al-7%Si yang lebih tinggi akan meningkatkan kekasaran permukaan benda cor. *Superheat* (suhu di atas temperatur cair) yang lebih tinggi akan menurunkan tegangan permukaan cairan logam. Hal ini akan menjadikan cairan logam mudah terserap ke celah-celah diantara pasir yang menyebabkan kekasaran benda cor meningkat (Kumar dkk, 2007). Temperatur tuang memiliki faktor dominan dalam menentukan nilai tegangan tarik dan elongasi benda cor (Kumar dkk, 2008). Kecepatan penuangan logam cair memiliki pengaruh besar terhadap kualitas

benda cor. Kecepatan penuangan aluminium cair berkisar 0,015-0,02 m/s untuk mendapatkan jumlah dan jenis cacat pada benda cor yang minimal (Bates dkk, 2001). Cetakan pasir harus mampu menahan erosi akibat cairan logam yang lewat di permukaannya. Jika tidak mampu menahan erosi aliran cairan logam maka hal ini akan mengakibatkan pasir masuk ke dalam cairan dan dapat menyebabkan cacat pada produk cor. Butiran pasir akan tetap berada di tempat akibat kombinasi dua mekanisme yakni jepitan antar butir pasir dan adanya pengikat diantara pasir. Kombinasi dua mekanisme ini akan menentukan kekuatan cetakan (Jain, 2003).

Inspeksi cacat porositas dilakukan secara kualitatif dan kuantitatif. Pengamatan cacat secara kualitatif dilakukan dengan cara melakukan pengamatan fisik di permukaan (*surface*) dan permukaan dalam (*subsurface*) oleh karena itu perlu dilakukan grinding untuk mendapatkan permukaan yang halus. Sedangkan pengamatan cacat porositas secara kuantitatif akan dilakukan dengan metode perbandingan volume (Pratama dan Soeharto, 2012). Perhitungan presentase porositas yang terjadi pada spesimen dengan rumus:

$$\% \text{Porositas} = \frac{W_w - W_d}{W_w - W_s} \times 100\% \quad (4)$$

Dimana : W_w : Berat sampel direndam dalam air/masa jenuh (gr)

W_d : Berat Kering (gr)

W_s : Berta Gantung (gr)

(SNI 13-3604-1994).

g. Cacat Permukaan

Cacat-cacat pengecoran yang umum terjadi adalah kekesaran permukaan, cacat porositas didalam coran dan cacat-cacat yang disebabkan oleh runtuhnya cetakan. Penyebab utama terjadinya cacat pada proses pengecoran yaitu karena sifat-sifat cetakan sangat tergantung pada distribusi besar butir pasir cetak, persentase zat pengikat dan persentase kadar air, sehingga perlu adanya penelitian untuk mendapatkan jenis pasir cetak yang cocok sebagai cetakan pasir pada pengecoran logam maupun aluminium. Timbulnya cacat-cacat tersebut dipengaruhi oleh kemampuan alir gas (Permeabilitas) dan kekuatan cetakan yang kurang baik, hal itu bisa disebabkan karena campuran kadar air pada pasir cetak basah dengan bahan pengikat yang kurang ataupun kadarnya yang berlebihan. Bahan pengikat dalam hal ini adalah bentonit. Campuran kadar air mempengaruhi pasir cetak. Apabila kadar air bertambah, kekuatan tekan dan permeabilitasnya akan bertambah atau naik sampai pada titik maksimal dan selanjutnya apabila kadar airnya bertambah terus maka kekuatan tekan dan permeabilitasnya akan menurun, hal ini dikarenakan ruangan antara butir-butir pasir ditempati oleh bentonit yang kelebihan air sehingga kemampuan alir gasnya sulit untuk keluar (Astika dkk, 2010).

Cacat permukaan terjadi akibat adanya komposisi yang kurang tepat, misalnya kadar lempung dan kadar air yang tidak sesuai, menyebabkan cacat permukaan seperti lubang jarum, cacat sirip, penyusutan, pergeseran, rongga udara penetrasi logam. Kejadian ini biasanya merupakan gejala ketidaktepatan sistem saluran dan teknik pengumpanan. Cacat juga disebabkan temperatur tuang terlalu tinggi. Cacat ini dapat dikurangi dengan mendesain sistem saluran sedemikian hingga

pembekuan terarah (*directional solidification*) dapat tercapai. Cacat permukaan biasanya sering terjadi pada bagian dalam cetakan pasir sehingga pada waktu logam cair dimasukkan maka akan terjadi cacat cacat tersebut (Gantara, 2011).

Kekasaran permukaan menurut istilah keteknikan, permukaan adalah suatu batas yang memisahkan benda padat dengan sekitarnya. Profil atau bentuk yang dikaitkan dengan istilah permukaan mempunyai arti tersendiri yaitu garis hasil pemotongan secara normal atau serong dari suatu penampang permukaan. Kekasaran terdiri dari ketidakraturan tekstur permukaan benda, yang pada umumnya mencakup ketidakraturan yang diakibatkan oleh perlakuan selama proses produksi (Rohman dkk, 2014).

h. Pengujian Struktur Makro

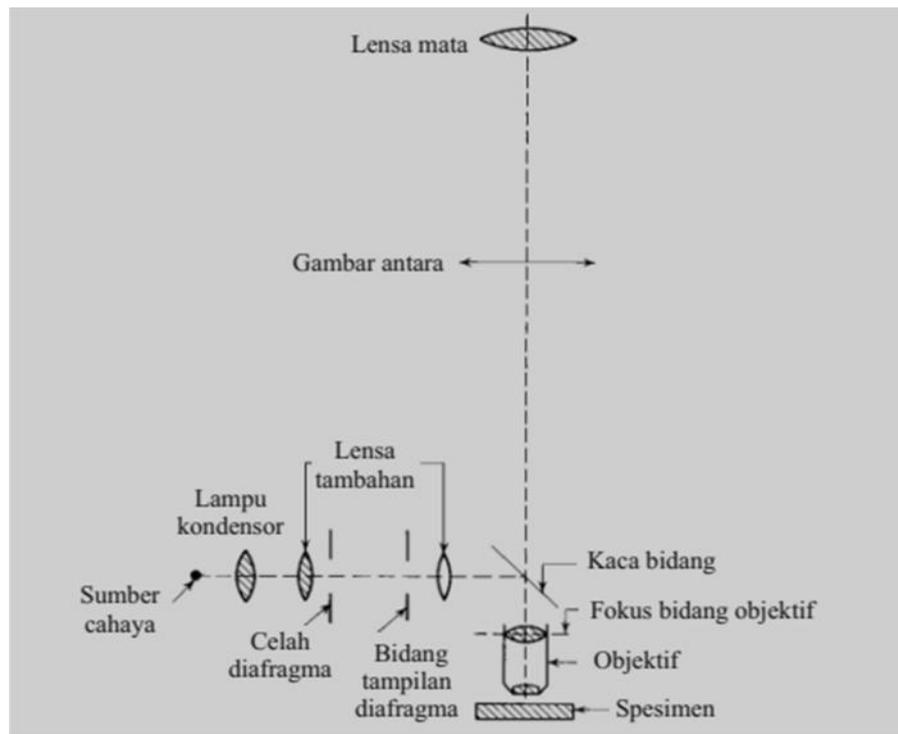
Analisis *metalografi* dibedakan menjadi dua bagian yaitu analisis makroskopi dan analisis mikroskopi (Yogantara, 2010). Pengujian struktur makro ini dilakukan untuk mengetahui bentuk butir dari pasir cetak. Pengujian struktur makro dapat menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran tertentu (< 200) .

Metalografi merupakan studi mengenai struktur logam dan paduan logam melalui pengujian spesimen menggunakan mikroskop metalurgi. Mikroskop metalurgi merupakan instrumentasi yang digunakan untuk mengamati struktur mikro suatu material secara fotografis. Hasil pengujian berupa gambar yang berasal dari ketidakraturan butir, ukuran butir, distribusi fasa, dan lain-lain (Smallman and Bishop, 1999). Instrumentasi ini dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Mikroskop metalurgi (Laboratorium Analisis Kimia dan Metalurgi BPTM – LIPI Lampung)

Komponen mikroskop metalurgi terdiri dari sumber cahaya, sistem kondensor, filter cahaya, lensa objektif, lensa okuler (lensa mata), tempat spesimen, variabel kontrol, bidang resolusi, dan lensa tambahan. Skema dasar pengujian mikroskop metalurgi dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Skema dasar pengujian mikroskop metalurgi (Modin and Modin, 1973)

Sumber cahaya yang digunakan terdiri dari beberapa jenis yaitu lampu filamen tungsten tegangan rendah, pancaran karbon, pancaran xenon, lampu

kuarsaiodin, lampu zirkonium dan lampu uapmerkuri (Voort, 1999). Sumber cahaya yang dipancarkan dikumpulkan oleh lampu kondensor. Sebuah celah diafragma digunakan untuk mengatur intensitas cahaya yang masuk. Kemudian bidang diafragma akan mengontrol ukuran spesimen yang disinari. Sejumlah lensa tambahan dapat memberikan sinar yang diinginkan untuk menyinari spesimen tersebut. Sinar yang masuk akan melewati kaca reflektor yang membentuk sudut 45° dan dipantulkan menuju objektif. Objektif berfungsi sebagai kondensor untuk menerangi objek yang sedang diamati. Selanjutnya, sinar yang mengenai objek dipantulkan kembali melewati objektif dan kaca bidang kemudian mikroskop akan menghasilkan gambar yang sebenarnya. Gambar tersebut kemudian direproduksi oleh lensa mata. Lensa mata berfungsi sebagai kaca pembesar, sehingga gambar yang dihasilkan jauh lebih jelas dan nyata (Modin and Modin, 1973).

III. METODELOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari sampai Oktober 2017 di UPT. Balai Penelitian Teknologi Mineral-LIPI yang bertempat di Jl. Ir Sutami KM. 15 Tanjung Bintang, Lampung Selatan dan Laboratorium MIPA TERPADU Universitas Sebelas Maret.

B. Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari: alat penggoncang pasir (*Sieve Shakers*) dengan merk *W.S Tyler model Rx=812-3 dengan serial 19-1170* yang digunakan sebagai alat penggoncang pasir untuk mengetahui sebaran besarnya butiran pasir. Ayakan pasir dengan merk *Retsch* (Jerman) ASTM dengan mesh atau ukuran lobang bertingkat masing-masing 20, 40, 60, 80, dan 100 yang digunakan untuk memisahkan gumpalan-gumpalan pasir serta kotoran-kotoran yang ada pada pasir. Alat timbangan digital *OHAUS* tipe *Golo Series* digunakan untuk menimbang pasir. Tungku pengering (*Hot Plate Torrey Pines Scientific*) digunakan untuk mengeringkan pasir yang akan diuji kadar air dan kadar lempung. Alat pencuci berputar (keran air yang mengalir) digunakan untuk pengujian kadar lempung agar lempung terpisah sendiri. Alat pembersih ayakan

digunakan agar tidak ada pasir yang tertinggal. Wadah sample untuk meletakkan sample uji. Alat pengukur waktu digunakan untuk menghitung lamanya proses pengeringan. Gelas ukur dengan merk *Pyrex*. Batang pengaduk kaca (*spatula*) yang digunakan untuk proses pencampuran pasir dengan larutan soda koustik/larutan NaOH konsentrasi 0,1% untuk uji kadar lempung. Neraca digital digunakan untuk menghitung berat bahan yang digunakan dalam penelitian. *Mixer* untuk mencampur bahan cetakan. Alat pemadat cetakan pasir. *Flask* cetakan atas dan bawah untuk membentuk pasir cetak. Contoh benda cor I dan II yang akan di cor. Pipa besi sebagai rongga udara pada cetakan pasir. *Ladle* sebagai penuang alumunium cair ke cetakan pasir. Plastik untuk meletakkan sample cetakan pasir. Alat pengatur suhu (*Termokopel*) *furnace* saat melebur alumunium. *Furnace* untuk melebur bahan alumunium. XRF (*X-ray flourocencies*). Mikroskop metalurgi untuk melihat bentuk butir pasir yang digunakan. Pipa besi sebagai rongga udara pada cetakan pasir.

Sedangkan bahan-bahan yang digunakan adalah pasir Maringgai, pasir Ceper dan pasir Tanjung Bintang, Aquades, *sodium hydroxide* sebagai larutan soda koustik/larutan NaOH 0,1%, bentonit, *scrap* alumunium, bahan bakar *furnace*, amplas dan air (Gambar alat dan bahan yang digunakan dapat dilihat di Lampiran).

C. Prosedur Percobaan

Tahapan penelitian meliputi analisa bahan baku (*Raw-material Pasir*) dan analisa pasir cetak penelitian, yaitu sebagai berikut:

a. Analisa bahan baku (*Raw-Material Pasir*)

Pengujian pasir dilakukan untuk mengetahui kualitas pasir yang akan digunakan. Berikut analisa pasir yang digunakan dalam penelitian:

1. Preparasi Sampel

Persiapan sampel uji yaitu:

1. Menyiapkan sampel uji yaitu pasir yang akan digunakan untuk pasir cetak yaitu pasir Maringgai, pasir Tanjung Bintang dan pasir dari Ceper sebagai pembanding.
2. Sampel yang telah disiapkan ditandai dengan nama sampel A, B dan C. Selanjutnya setiap sampel masing-masing dibersihkan dari kotoran maupun pasir yang menggumpal menggunakan ayakan mesh <20. Keterangan untuk masing-masing sampel ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Keterangan kode sampel uji

No	Kode sampel	Keterangan
1.	A	Pasir Maringgai
2.	B	Pasir Tanjung Bintang
3.	C	Pasir Ceper

2. Uji XRF

Data kualitatif unsur dan persen berat yang terkandung di dalam sampel diidentifikasi menggunakan *X-ray flourocencies* (XRF). Sebelum analisis, dilakukan preparasi sampel. Bahan yang akan dianalisis harus rata, halus dan bersih. Bahan yang akan dianalisis dibersihkan dari kotoran dan gumpalan-gumpalan pasir dengan cara melakukan proses pengayakan bahan. Kemudian sampel ditempatkan pada *sample holder* alat XRF.

3. Uji Kadar Air

Pengujian kadar air ini bertujuan untuk mengetahui nilai kadar air dari masing-masing sampel uji, yaitu sampel A (pasir Maringgai) dan sampel B (pasir Tanjung Bintang). Pengujian ini menggunakan tungku pengering (*Hot Plate Torrey Pines Scientific*) dengan alat bantu timbangan digital *OHAUS* tipe Golo Series. Langkah-langkah pengujian kadar air sebagai berikut:

1. Masing-masing sampel diayak terlebih dahulu agar terpisah dari kotoran dan gumpalan-gumpalan pasir.
2. Menimbang pasir A (pasir Maringgai) awal 50 gram.
3. Mengeringkan pasir dalam tungku pengering pada suhu 110 °C selama 1 jam.
4. Mendinginkan sampel dengan suhu ruangan.
5. Menimbang kembali berat pasir setelah proses pengeringan dan pendinginan.
6. Menghitung perbedaan berat awal dan akhir dalam satuan presentase sebagai kadar air bebas dalam pasir. Proses ini dilakukan sebanyak 2 kali pengulangan pengujian. Penentuan kadar air menggunakan persamaan dibawah ini:

$$\% \text{Kadar air} = \frac{\text{Berat awal} - \text{Berat akhir}}{\text{Berat awal}} \times 100\% \quad (1)$$

Dimana : %Kadar Air : Presentase kadar air pasir uji

Berat awal : Massa awal pasir uji

Berat akhir : Massa akhir pasir uji

7. Melakukan hal yang sama pada uji sampel B (pasir Tanjung Bintang).

4. Uji Kadar Lempung

Pengujian kadar lempung ini bertujuan untuk mengetahui nilai kadar lempung dari masing-masing sampel uji, yaitu sampel A (pasir Maringgai), sampel B (pasir Tanjung Bintang). Pengujian ini membutuhkan peralatan pencuci pasir berupa seperti terlihat pada gambar 1. Langkah-langkah pengujian kadar lempung sebagai berikut:

1. Menggunakan sampel yang telah di uji pada kadar air karena terlebih dahulu dalam uji ini sampel harus dikeringkan dan didinginkan terlebih dahulu.
2. Memasukkan sampel A ke dalam larutan soda koustik konsentrasi 0,1% diputar selama 15 menit.
3. Memutar dan mengocok larutan tersebut dengan alat pencuci berputar, sampai lempung terpisah dengan sendiri nya.
4. Mengeringkan kembali pasir yang tertinggal.
5. Mendinginkan sampai temperatur kamar.
6. Menimbang pasir cetak yang telah dikeringkan dan didinginkan.
7. Menghitung perbedaan berat awal dan akhir sampel dalam satuan presentase sebagai kadar lempung dalam pasir cetak. Penentuan kadar lempung menggunakan persamaan dibawah ini:

$$\% \text{Kadar Lempung} = \frac{\text{Berat awal} - \text{Berat akhir}}{\text{Berat awal}} \times 100\% \quad (2)$$

Dimana : %Kadar Lempung : Presentase kadar lempung pasir uji

Berat awal : Massa awal pasir uji

Berat akhir : Massa akhir pasir uji

8. Melakukan hal yang sama pada sampel B untuk mengetahui nilai kadar lempungnya.

5. Uji Distribusi Butiran Pasir

Penentuan distribusi besar butir dimaksudkan untuk menentukan nomer kehalusan butiran/sebaran besarnya butiran pasir. Uji sebaran/distribusi butiran bahan pasir diperlukan alat penggancang pasir (*Sieve Shakers*) dengan merk *W.S Tyler model Rx=812-3 dengan serial 19-1170* dan ayakan dengan merk *Retsch* (Jerman) ASTM dengan mesh/ ukuran lobang bertingkat, yaitu mesh 20, 40, 60, 80, 100. Langkah-langkah pengujian distribusi butir pasir sebagai berikut:

1. Menyiapkan terlebih dahulu peralatan ayak dengan ukuran lubang (mesh) bertingkat yang dibutuhkan, penggancang pasir (*Sieve Shakers*), timbangan digital *OHAUS* tipe Golo Series, dan alat pengukur waktu.
2. Mengambil dan menimbang sampel pasir kering dari pengujian kadar lempung yang dilakukan sebelumnya. Kemudian menuang sampel pasir pada bagian teratas dari alat ayakan yang tersusun menurut ukuran mesh, menutup dan menggoyangkan selama 15 menit dengan alat penggancang.
3. Menimbang pasir terayak pada tiap-tiap ukuran ayak menurut besar butir pasir.
4. Menghitung presentase dari beratnya tiap ayakan dengan persamaan berikut:

$$\text{Persentase \%} = \frac{\text{Berat Pasir pada Tiap Ayakan}(gr)}{\text{Jumlah Berat dari Spesimen}(gr)} \times 100 \quad (5)$$

Dimana :

%Persentase : Persentase berat pasir tiap ayakan

Berat pasir pada tiap ayakan : Massa pasir pada tiap ayakan(gram)

Jumlah berat pasir dari spesimen: Massa pasir seluruh (gram)

Untuk menghitung nomor kehalusan butir pasir dihitung dengan rumus dibawah ini:

$$F.N = \frac{\sum(Wn \cdot Sn)}{\sum Wn} \quad (6)$$

Dimana: FN = Nomor kehalusan butir pasir

Wn = Berat pasir diperoleh dari tiap ayakan (gram)

Sn = Angka pelipat

5. Lakukan hal yang sama pada masing-masing sampel pasir.

b. Analisa Pasir Cetak

Untuk pengujian bentuk butir pasir, porositas serta cacat permukaan benda hasil pengecoran, penyajian sampel masing masing diberi kode berdasarkan komposisi campuran pasir, berikut penjelasan analisa pasir cetak penelitian:

1. Proses Pencampuran Pasir Maringgai dan Pasir Tanjung Bintang

Pencampuran jenis pasir yang berbeda dengan komposisi yang berbeda pula ini dilakukan untuk mengetahui kualitas produk cor yang dihasilkan. Untuk mengetahui berapa besar pengaruh variasi campuran bentonit dan air terhadap kualitas hasil pengecoran dan berapa presentase campuran bentonit dan air yang paling ideal, serta untuk mengetahui presentase campuran pasir wilayah Lampung yang paling baik sebagai pasir cetak yang mendekati kriteria pasir cetak yang baik. Perlu dilakukan beberapa pengujian, diantaranya uji porositas dan pengamatan cacat hasil pengecoran. Proses pencampuran pasir Maringgai dan pasir Tanjung Bintang dapat dilihat dalam tabel 5 dibawah ini.

Tabel 5. Persentase Campuran Sampel A dan Sampel B

No.	Berat Pasir	Kadar Air	Kadar Lempung	Penambahan Komposisi Sampel Pasir		
	A+Pasir B= C ₁ (%)	A+B=C ₂ (%)	A+B=C ₃ (%)	Jenis Campuran Pasir	Kadar Air(%)	Kadar Lempung(%)
1.	75%+25%	0,24%	6,85%	C ₁	4,76%	8,75%
2.	50%+50%	0,2%	5,57%	C ₂	4,80%	9,43%
3.	25%+75%	0,16%	4,3%	C ₃	4,84%	10,7%

Langkah-langkah pencampuran pasir Maringgai dan pasir Tanjung Bintang sebagai berikut:

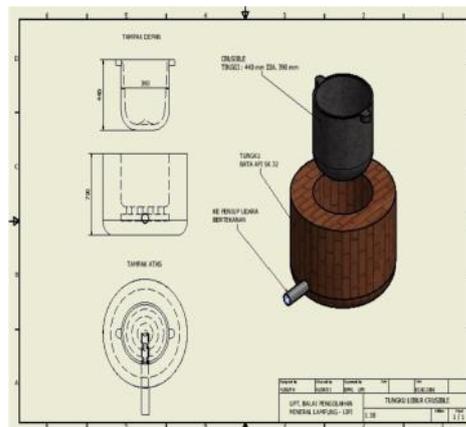
1. Mencampur semua bahan cetakan sesuai persentase yang telah ditentukan dengan menggunakan *mixer* disertai dengan menambahkan air dan lempung sesuai Tabel 5 agar sesuai dengan standar kriteria pasir cetak yang baik.
2. Mempersiapkan kerangka cetak (*Flask*), pola produk cor, dan pola saluran.
3. Kerangka cetak atas (*Cope*) diletakkan di atas kerangka cetak bawah (*Drag*) dan dikaitkan sehingga pasangan kerangka tidak mudah bergeser atau bergerak. Kemudian meengoleskan serbuk grafit pada permukaan pola cetakan pasir dan memasang pola cawan tuang (*Basin*), saluran turun (*Sprue*) serta saluran penambah (*Riser*) pada pola. Pasir cetak dituangkan ke dalam kerangka cetak atas sambil menumbuk pasir cetak hingga padat. Kerangka cetak atas diangkat dari kerangka cetak bawah setelah kerangka cetak atas terisi penuh dengan pasir cetak. Setelah itu mengeluarkan pola, cawan tuang (*Basin*), saluran turun (*Sprue*), dan saluran penambah (*Riser*) dari cetakan pasir. Dengan terangkatnya pola dari cetakan pasir akan meninggalkan rongga cetak (*Cavity*). Kerangka cetak atas dipasang

kembali di atas kerangka cetak bawah. Pada tahap ini, cetakan pasir sudah siap untuk dituangkan logam cair dan membuat produk cor.

4. Membuat cetakan dengan pola sesuai bentuk produk cor yang akan dibuat. Cetakan pasir basah telah siap untuk dilakukan pengecoran.
5. Setelah proses pencampuran dengan komposisi pertama selesai, selanjutnya membuat campuran dengan komposisi kedua dan ketiga dengan langkah-langkah yang sama.

2. Peleburan

Proses peleburan *scrap* aluminium pada proses pengecoran menggunakan menggunakan *furnace* kapasitas 50 kg. Peleburan *scrap* aluminium dilakukan di dapur yang dipanaskan hingga temperatur ± 700 °C.



Gambar 13. Tungku Peleburan *Scrap* Aluminium

3. Penuangan

Penuangan *scrap* aluminium cair ini menggunakan panci tuang (*ladle*). Penuangan *scrap* aluminium cair harus dilakukan secara cepat agar menghindari penurunan temperatur yang terlalu cepat, hal ini bisa mengakibatkan logam cair tidak mengisi pada rongga cetakan secara

sempurna karena alumunim cair terlebih dahulu membeku pada sistem saluran. Rata-rata waktu penuangan alumunium cair untuk mengisi penuh rongga cetakan kurang lebih selama 12 sekon. Lakukan hal yang sama pada pengecoran cetakan II, cetakan III serta cetakan IV.

4. Pembekuan

Setelah proses penuangan logam cair pada cetakan, maka cetakan didiamkan selama 24 jam pada temperatur kamar hingga logam cair mengalami proses pembekuan secara sempurna.

5. Pembongkaran

Setelah logam cair membeku, dilakukan pembongkaran dan pembersihan bekas pasir cetakan yang masih melekat pada logam coran secara hati-hati proses pembongkaran dilakukan untuk mendapatkan atau memisahkan benda coran dari cetakannya.

6. Pembentukan Spesimen

Pembentukan spesimen dengan menggunakan grinda.

7. Inspeksi Porositas dan Cacat Permukaan pada Benda Cor

Inspeksi cacat permukaan dilakukan secara visual pada setiap sisi bagian luar dari benda coran. Pengamatan porositas akan dilakukan secara kualitatif dan kuantitatif. Pengamatan cacat porositas secara kualitatif dilakukan dengan cara melakukan pengamatan fisik di permukaan (*Surface*) benda cor. Oleh karena itu perlu dilakukan *grinding* untuk mendapatkan permukaan yang halus. Setelah didapatkan spesimen dilakukan uji porositas pada kedua bentuk

benda cor dengan masing-masing komposisi yang berbeda secara kuantitatif dengan metode penimbangan berat sebelum direndam air dan penimbangan berat setelah direndam air, maka nilai berat yang didapat dari perhitungan merupakan porositas yang terjadi pada bahan hasil cor. Penentuan porositas menggunakan persamaan:

$$\% \text{Porositas} = \frac{W_w - W_d}{W_w - W_s} \times 100\% \quad (4)$$

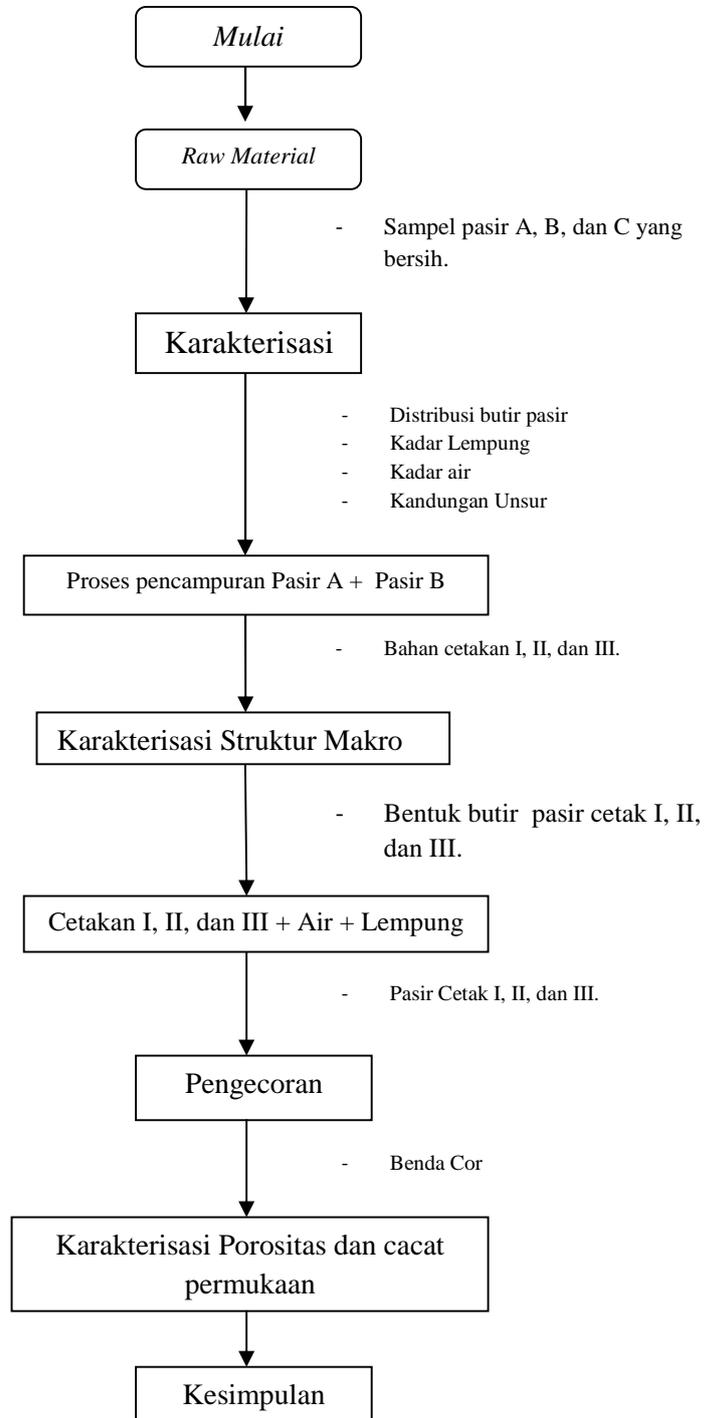
Dimana : W_w : Berat sampel direndam dalam air/masa jenuh (gr)

W_d : Berat Kering (gr)

W_s : Berta Gantung (gr)

D. Diagram Alir

Adapun diagram alir dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 14. Diagram alir penelitian.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Semakin besar persentase pasir pantai Maringgai pada cetakan pasir, maka semakin berkurang tingkat porositas dan kekasaran permukaan benda coran yang dihasilkan.
2. Hasil benda coran terkasar terdapat pada benda coran cetakan III.
3. Hasil karakterisasi XRF (*X-Ray Fluorescence*) memperlihatkan bahwa kandungan oksida SiO_2 adalah terbesar, yaitu 78,08 % (pasir Tanjung Bintang).
4. Hasil karakterisasi struktur makro menunjukkan bahwa dari ketiga jenis komposisi pasir yang digunakan, yang baik sebagai cetakan pasir yaitu cetakan I, karena bahwa sebagian besar butir pasir cetakan I berbentuk pasir bulat.
5. Hasil secara keseluruhan produk coran dengan variasi jenis cetakan pasir yang digunakan dapat dikatakan pada cetakan I cukup memuaskan, karena saat dibandingkan dengan hasil benda cor cetakan IV. Hal ini karena sedikitnya porositas dan kekarasan permukaan pada benda cor hasil cetakan I.

6. Dari delapan hasil karakterisasi dan perhitungan porositas benda cor didapatkan bahwa cetakan pasir modifikasi pasir Lampung, efektif dalam meminimalisir pemakaian pasir dari luar Lampung (Daerah ceper), sehingga meningkatkan kualitas pasir laut dan sungai lampung agar layak digunakan sebagai pasir cetak pada pengecoran logam maupun alumunium.

B. SARAN

Pada penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan uji porositas dengan cara yang berbeda pada benda coran yang dihasilkan serta menetapkan ukuran butir pasir yang dipakai.

DAFTAR PUSTAKA

- Andika, P. A. 2005. Variasi Campuran Kadar Air dengan Bahan Pengikat bentonit terhadap Permeabilitas dan Kekuatan Tekan. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*. Vol. 3. No. 1. P. 32-34.
- Acimovic, Z. 1991. Influence of the relevant technological parameters on the quality of the castings obtained by the Lost foam process. *PhD thesis*. Faculty of Technology and Metallurgy. Belgrade.
- Agarwal, R., Banga, T., and Nanghnani, T. 1981. *Foundry Engineering*. Khana Publisher. Delhi.
- Anwar, K. 2013. Cacat Coran dan Pencegahannya. Universitas Negeri Yogyakarta. Yogyakarta.
- ASM Handbook Committee. 1998. *ASM Metals Handbook Casting*. 9th edition. ASM International. Vol. 15.
- Astika, M. I., Negara, P. D., dan Susantika, A. M. 2010. Pengaruh Jenis Pasir Cetak Dengan Zat Pengikat Bentonit Terhadap Sifat Permeabilitas dan Kekuatan Tekan Basah Cetakan Pasir (*Sand Casting*). *Jurnal Ilmiah teknik Mesin*. Vol. 4. No.2. P. 132-138.
- Barone, M. R. 2005. A Foam Ablation Model For Lost Foam Casting of Aluminum. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. Vol. 48. Pp. 4132–4149.
- Bates, C., Littleton, H., McMellon, B. And Stroom, P. 2001. Process of Lost Foam Casting. *American Foundry Society*. Vol. 105.
- Beeley. 2001. *Foundry Technology*. Department of Metallurgy, University of Leeds Butterworths. London. UK.
- Budinski, G. K. 1996. *Engineering Material Properties and Selection*. New Jersey. Prentice Hall. Inc. Englewood Cliffs.
- Budiyono, S., Harjanto, B., dan Estriyanto, Y. 2013. Perbandingan Kualitas hasil Pengecoran Pasir Cetak Basah dengan Campuran Bentonit 3% dan 5% pada Besi Cor Kelabu. *Skripsi*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.

- Butler, R. D. 1964. The Full Mold Casting Process. *British Foundrymen*. Pp. 265–273.
- Campbell, J. 1991. *Castings*. Butterworth-Heinemann Ltd. Oxford.
- Clegg, A. J. 1985. Expanded Polystyrene Molding. *Foundry Trade Journal*. Pp. 177–196.
- Desiana, S., Danar, S. W., dan Budi, H. 2012. Pengaruh Variasi Waterglass Terhadap Kadar Air dan Kadar Lempung pada Pasir Cetak. *NOSEL*. Vol. 1. No. 1. P. 24-30.
- Dody, A., Wahyu P. R., dan Saiful, A. 2006. Hubungan variasi jenis pasir cetak terhadap sifat mekanik besi cor kelabu. *Jurnal Mekanika*. Vol. 4. No. 2. P. 55-58.
- Fansuri, H. 2010. *Modul Pelatihan Operasional XRF*. Laboratorium Energi dan Rekayasa. LPPM ITS.
- Fasa, K. T. A. 2012. Pengaruh Campuran Abu Sekam dan Bentonit pada Pasir Cetak terhadap Permeabilitas dan Kekuatan Tekan Pasir. *Skripsi*. Universitas Lampung. Lampung.
- Gantara, A. 2011. Pengaruh Diameter Bawah Sprue pada Pengecoran Produk Pulley Terhadap Distribusi Kekerasan dan Porositas Hasil Coran. *Skripsi*. Jurusan Mesin FT Unibraw. Malang.
- Gemilang, T. 2008. Studi Penambahan Bentonit pada Pasir Cetak terhadap Permeabilitas dan Kekuatan Tekan. *Skripsi*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Hartono, B. S., dan Gunawan, S. 2015. Variasi Ukuran Pasir Cetak Terhadap Kekerasan dan Kekuatan Tarik Coran *Scrap* Piston Sepeda Motor. *Jurnal Ilmiah Teknik Desain Mekanika*. Vol. 15. No. 1.
- Hendronursito, Y. dan Prayanda, Y. 2016. Potensi Pasir Lokal Tanjung Bintang Pada Alumunium Sand Casting Terhadap Porositas Produk Hasil Cor Alumunium. *Dinamika Teknik Mesin*. Vol. 6. No. 1. P. 70-73.
- Herwido, T. N., Murdanto, P., dan Puspitasari, P. R. 2016. Analisis Variasi Komposisi *Fly Ash* dan Bentonit pada Pengikat Cetakan Pasir terhadap Permeabilitas, Kekuatan Tekan, dan Fluiditas *Green Sand Mold*. *Jurnal teknik Mesin*. Vol. 1. P. 2-3.
- Hoyt, D. F., Dziekonski, P., and Gibre. 1991. Sand Properties and Their Relationship to Compaction for the Expandable Pattern Casting Process. *Foundryman Society Transaction*. Vol. 99. pp. 221–230.

- Jain, P. L. 2003. *Principles of foundry technology*. 4th edition. Tata Mc Graw-Hill. New Dehli.
- Kriswarini, R., Dian, A., dan Agus, D. 2010. Validasi Metoda XRF (X-Ray Fluorescence secara Tunggal dan Simultan untuk Analisis Unsur Mg, Mn dan Fe dalam Paduan Alumunium. *Seminar Nasional VI*. ISSN 1978-0176. Banten.
- Kumar, P., and Shan, H. S. 2008. Optimization of Tensile Properties of Evaporative Casting Process Through Taguchi's Method. *Journal of Materials Processing Technology*. Vol. 204. P. 59-69.
- Lal, S., and Khan, R. H. 1998. Current Status of Vacuum Sealed Molding Process. *Indian Foundry Journal*. Vol. 27. pp. 12–18.
- Liu, Y., Bakhtiyarov, S. I., and Overfelt, R. A. 2002. Numerical Modeling and Experimental Verification of Mold Filling and Evolved Gas Pressure in Lost Foam Casting. *Journal Materials Science*. Vol. 37. Pp. 2997–3003.
- Mangga, S. A. 1993. Peta Geologi Lembar Tanjung karang, Sumatera. *Pusat Penelitian dan Pengem- bangan Geologi*. Bandung.
- Modin, H and Modin, S. 1973. *Metallurgical Microscopy*. London Butterworths. London. Page 47 – 50.
- Mulyo, A. 2007. Potensi bahan galian pasir kuarsa di Kecamatan Labuhan Maringgai, Kabupaten Lampung Timur, Provinsi Lampung. *Bulletin of Scientific Contribution*. Vol. 5. No.2.
- Naro, R. I. 1998. Porosity Defects in Iron Casting From Mol-Metal Interface Reactions. *Silver Anniversary Paper*. Vol. 5.
- Nugroho, B. 2012. Studi Eksperimen Pengaruh Pasir Cetak Pada Aluminium *Sand Casting* terhadap Porositas Produk Toroidal Piston. *Skripsi*. Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Nurhadi. 2004. Hubungan Variasi Kadar Waterglass dalam Cetakan Pasir Silika terhadap Sikap Mekanik pada Proses Pengecoran Besi Cor Kelabu. *Skripsi*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Nurwidyanto, M. I., Meida, Y., dan Sugeng, W. 2006. Pengaruh Ukuran Butir terhadap Porositas dan Permeabilitas pada Batu Pasir. *Berkala Fisika*. Vol. 9. No.4. Hal. 191-195.
- Pratama, M. R., dan Soeharto. 2012. Studi Eksperimen Pengaruh Jenis Saluran pada Alumunium Sand Casting terhadap Porositas Produk Toroidal Piston. *Jurnal Teknik ITS*. Vol. 1. No. 1.

- Qohar, A., Sugita, G. K. I., dan Lokantara, P. I. 2017. Pengaruh Permeabilitas dan Temperatur Tuang Terhadap Cacat dan Densitas Hasil Pengecoran Aluminium Silikon (Al-Si) menggunakan *Sand Casting*. *Jurnal Ilmiah Teknik Desain Mekanika*. Vol. 6 No. 1. P. 2-4.
- Rochim, T., 2014. *Spesifikasi Metrologi dan Kontrol Kualitas Geometrik*. Industrial Metrology Laboratory. Mechanical & Production Engineering (MPE) Mesin. FTI – ITB. Bandung
- Rohman, M. F., Sidharta, I. dan Soeharto. 2014. Pengaruh Variasi Komposisi Serbuk Kayu dengan Pengikat Semen pada Pasir Cetak terhadap Cacat Porositas dan Kekasaran Permukaan Hasil Pengecoran Aluminium Alloy 6061. *Jurnal Teknik*. Vol. 3. No. 2. P. 266-271.
- Sand, S., and Shivkumar, S. 2003. Influence of coating thickness and sand permeability on mold filling in the lost foam casting process. *Journal of Materials Science*. Vol. 38. P. 667– 673.
- Sewandono, D., Harnowo., dan Tarkono. 2013. Pengaruh Variasi Abu Sekam dan Bentonit pada Cetakan Pasir terhadap Kekerasan dan Struktur Makro Hasil Coran Aluminium AA 1100. *Jurnal FEMA*. Vol. 29. P. 455-456.
- Sikora, E. J. 1978. Evaporative Casting Using Expendable Polystyrene Patterns and Unbonded Sand Casting Techniques. *Journal of Materials Science*. Vol 86. P. 65.
- Smallman, R. E and Bishop, R. J. 1999. *Modern Physical Metallurgy and Materials Engineering: Science, Process, Applications*. Sixth Edition. Butterworth – Heinemann. Oxford. Page 126 – 128, 151, 197 – 200.
- Standar Nasional Indonesia (SNI) 13-3476-1994. *Analisis Kadar Air Total*. Badan Standarisasi Nasional BSN. ICS 73. 076.
- Standar Nasional Indonesia (SNI) 19-0312-12-1989. 1989. *Pasir Cetak dan Cara Uji*. Badan Standarisasi Nasional. ICS91. 100. 15.
- Standar Nasional Indonesia (SNI) 13-4702-1998. 1998. *Penetapan Ukuran Butir Pasir dengan Ayakan, Prinsip*. Badan Standarisasi Nasional BSN. ICS 73. 040.
- Standar Nasional Indonesia (SNI) 13-3604-1994. 1994. *Penentuan Porositas Benda Cor*. Badan Standarisasi Nasional BSN. ICS 10. 010.
- Suprpto, W. 2011. *Porositas Gas Pada Material Duralumin Dalam Pengecoran Sistem Vakum*. Disertasi UI.
- Surdia, T. dan Chijiwa, K. 1984. *Teknik Pengecoran Logam*. Pradnya Pramita. Jakarta. P. 63-87.

- Surdia, T. dan Chijiwa, K. 1991. *Teknik Pengecoran Logam*. Jilid VI. Pradnya Pramita. Jakarta. P. 98-121.
- Tjitro, S. Dan Hendri. 2009. Pengaruh *Fly Ash* Terhadap Kekuatan Tekan dan Kekerasan Cetakan Pasir. *Jurnal Rotasi*. Vol. 9. P. 34-37.
- Tiwan. 2010. Program PPG Teknik Mesin. Teknik Mesin. Universitas Negeri Yogyakarta. Yogyakarta.
- Uswatun, S. 2012. Analisis Variasi Pasir Cetak Lokal Jawa Timur terhadap Kekuatan Cetakan Pasir, Fluiditas, dan Kualitas Hasil Coran Logam Al-Si dengan Metode Gravitasi Casting. *Skripsi*. Fakultas Teknik Um.
- Voort, George F. V. 1999. *Metallography Principles and Practice*. ASM International. United States of America. Page 270 – 282.
- Yogantara, A. 2010. Penelitian Pengaruh Variasi Temperatur Pemanasan Low Tempering, Medium Tempering dan High Tempering pada Medium Carbon Steef Produksi Pengecoran Batu Klaten terhadap Struktur Mikro, Kekerasan dan Ketangguhan. *Skripsi*. Universitas Muhammadiyah. Surakarta. Hal 49-50.