

# Penerapan Pengecoran Logam Aluminium Menggunakan Cetakan Alternatif Campuran Silika dan Bentonite

Paschal Nicollas Dominggo Massa<sup>1\*</sup>

Elisabet Priska Arkadewi Kononis<sup>2</sup>

Randy Abednego Nathanael<sup>3</sup>

Agustinus Iwanto<sup>4</sup>

Lasman Parulian Purba<sup>5</sup>

Lilis Nurhayati<sup>6</sup>

<sup>1,2,3,4,5,6</sup>Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Industri, Universitas Katolik Darma Cendika

\* Email: [paschal233201009@student.ukdc.ac.id](mailto:paschal233201009@student.ukdc.ac.id)

## ABSTRAK

Pengecoran logam merupakan salah satu metode manufaktur yang banyak digunakan untuk menghasilkan komponen dengan bentuk kompleks dan presisi tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk memaparkan proses pengecoran logam menggunakan cetakan alternatif berbasis campuran pasir silika dan bentonit pada pengecoran logam aluminium. Variasi komposisi pasir silika dan bentonit diterapkan pada pembuatan cetakan untuk pengecoran logam aluminium demi melihat kualitas permukaan hasil pengecoran dan efisiensi proses produksi. Hasil cetakan yang menunjukkan komposisi optimal yang sesuai dengan pustaka acuan yaitu terdiri dari pasir silika 85%, bentonit 15%, grafit 5% menghasilkan campuran cetakan dengan konsistensi yang baik, tidak mudah retak, dan mampu mereplikasi detail pola dengan presisi tinggi. Selain itu cetakan dengan komposisi ini lebih mudah dibentuk dan mempunyai ketahanan yang baik pada saat proses pengecoran sehingga mengurangi resiko kegagalan cetakan. Dengan demikian, cetakan berbahan dasar pasir silika dan bentonit berpotensi menjadi alternatif teknologi pengecoran logam yang lebih efisien dan ramah lingkungan.

**Kata Kunci:** pengecoran logam, aluminium, cetakan alternatif, silika, bentonit.

## ABSTRACT

*Metal casting is a manufacturing method that is widely used to produce components with complex shapes and high precision. This research aims to describe the metal casting process using an alternative mold based on a mixture of silica sand and bentonite in aluminum metal casting. Variations in the composition of silica sand and bentonite are applied in making molds for casting aluminum metal to see the surface quality of the casting results and the efficiency of the production process. The mold results show an optimal composition consisting of 85% silica sand, 10% bentonite, and 5% graphite, resulting in a mold mixture with good consistency, not easy to crack, and capable of replicating pattern details with high precision. Apart from that, molds with this composition are easier to form and have good resistance during the casting process, thereby reducing the risk of mold failure. Thus, molds made from silica sand and bentonite have the potential to be an alternative metal casting technology that is more efficient and environmentally friendly.*

**Keywords:** metal casting, aluminum, alternative molds, silica, bentonite.

## 1. Pendahuluan

Pengecoran logam telah menjadi proses fundamental dalam industri manufaktur, memungkinkan produksi komponen dengan geometri kompleks secara efisien. Teknik ini banyak digunakan untuk menghasilkan produk dengan berbagai ukuran, mulai dari komponen mesin hingga barang-barang dekoratif seperti souvenir. Seiring perkembangan teknologi, proses pengecoran logam terus ditingkatkan melalui inovasi material cetakan dan penerapan teknologi digital, seperti 3D printing, untuk meningkatkan efisiensi serta presisi produk.

Berbagai material cetakan telah digunakan untuk meningkatkan kepadatan cetakan, memperbaiki sifat termal, serta meminimalkan cacat pengecoran seperti retak atau porositas. Teknologi 3D printing juga semakin mempermudah pembuatan pola

cetakan dengan presisi tinggi, memungkinkan desain produk yang lebih kompleks dan akurat. Di sisi lain, optimalisasi elemen penting seperti *cope and drag* serta *gating system* berperan penting dalam meningkatkan keakuratan cetakan dan meminimalkan cacat pada produk akhir. Untuk peleburan logam, dapur induksi telah menjadi pilihan yang efisien secara termal, terutama untuk material aluminium yang sering digunakan dalam skala produksi kecil maupun besar.

Penelitian sebelumnya telah mengkaji penggunaan pasir cetakan konvensional dengan pengikat resin atau lempung sebagai bahan cetakan dalam pengecoran logam aluminium. Adebisi et al. (2020) menunjukkan bahwa variasi material cetakan memengaruhi kekuatan mekanik serta kualitas permukaan hasil pengecoran. Penelitian lain oleh Yadav et al. (2022) mengungkapkan bahwa pasir silika dengan pengikat tertentu dapat meningkatkan kualitas cetakan dan menurunkan tingkat porositas. Namun, penggunaan campuran silika dan bentonite sebagai material cetakan alternatif masih jarang diteliti, terutama terkait optimalisasi komposisinya untuk mendukung kualitas dan efisiensi proses pengecoran. Meskipun penelitian sebelumnya oleh Yadav et al. (2022) menunjukkan bahwa pasir silika dengan pengikat resin dapat meningkatkan kualitas cetakan, studi tersebut tidak mengeksplorasi potensi bentonite sebagai pengikat alami yang lebih ramah lingkungan. Penelitian ini mengisi kekosongan tersebut dengan mengevaluasi kombinasi silika dan bentonite, serta dampaknya terhadap efisiensi dan kualitas hasil pengecoran aluminium.

Pada penelitian ini diterapkan cetakan alternatif berbasis campuran silika dan bentonite untuk meningkatkan kualitas hasil pengecoran logam aluminium dengan komposisi pasir silika 85%, bentonit 10%, dan grafit 5%. Kualitas hasil cetakan dengan printer 3D sebagai cetakan produk, kualitas *cope and drag* yang disiapkan, kualitas permukaan produk, dan efisiensi proses pengecoran. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi alternatif yang lebih efisien, ekonomis, dan ramah lingkungan dalam teknologi pengecoran logam.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen dengan desain penelitian kuantitatif untuk mengkaji penerapan cetakan alternatif berbasis campuran silika, bentonite, grafit, dan air dalam pengecoran logam aluminium. Langkah-langkah yang diambil dalam penelitian ini meliputi persiapan material, pembuatan tatanan cetakan, pengecoran, dan analisis terhadap hasil pengecoran untuk mengevaluasi kualitas produk yang dihasilkan.

Eksperimen ini dilakukan dengan menggunakan cetakan alternatif yang terbuat dari campuran silika dan bentonite dengan variasi komposisi tertentu. Penelitian ini bertujuan untuk menguji pengaruh komposisi campuran tersebut terhadap kualitas cetakan dan hasil pengecoran logam aluminium. Beberapa variabel yang diuji antara lain adalah komposisi campuran adonan pasir, suhu peleburan aluminium, serta waktu penuangan logam cair ke dalam cetakan.

### 2.1. Persiapan Material Cetakan

Cetakan pasir menggunakan campuran silika, bentonite, grafit, dan air disiapkan dengan berbagai komposisi, yaitu:

- a) Pasir Silika (80%-90%) : 80%
- b) Bentonit (10%-15%) : 10%
- c) Air (4%) : 4%
- d) Bahan Penolong/Graphite (6%) : 6%

Proses pencampuran dilakukan dengan menggunakan alat pengaduk manual yang dilakukan dengan jangka waktu tertentu, yaitu sekitar 3-5 menit untuk memastikan homogenitas bahan.

Penelitian ini menguraikan hasil eksperimen mendekati Tabel 1 khususnya baris kedua, yakni pada baris komposisi Silika 85%. Tabel 1 menunjukkan evaluasi dampak variasi komposisi pasir silika dan bentonit terhadap kekuatan cetakan, cacat permukaan, serta efisiensi pengisian logam cair dalam proses pengecoran aluminium.

**Tabel 1.** Komposisi beserta Efisiensi Campuran Cetakan (Saputra et al., 2020; Astika et al., 2010)

Komposisi Silika (%)	Bentonit (%)	Kekuatan Cetakan (MPa)	Cacat Permukaan (%)	Efisiensi Pengisian (%)
80	15	30	5	90
85	10	35	2	95
90	10	28	8	85

Berdasarkan literatur yang ada, Adebisi et al. (2020) menyatakan bahwa variasi kandungan bahan cetakan mempengaruhi karakteristik mekanik serta kualitas hasil pengecoran, di mana penggunaan pasir silika yang terlalu tinggi tanpa pengikat yang memadai dapat mengurangi kohesi dan ketahanan cetakan. Penelitian Saputra et al. (2020) juga mengungkapkan bahwa kadar air yang berlebih dalam cetakan berbasis bentonit dapat menurunkan kekuatan tekan serta meningkatkan porositas cetakan, yang juga berkontribusi terhadap peningkatan risiko cacat pengecoran.

## 2.2. Pembuatan Tatanan Cetak

Pembuatan tatanan cetakan merupakan langkah awal dalam proses pengecoran logam aluminium menggunakan cetakan alternatif campuran silika dan bentonite. Proses ini dilakukan untuk memastikan bentuk cetakan sesuai dengan kebutuhan produk akhir. Tahapan pembuatan tatanan cetakan adalah sebagai berikut:

### a) Desain Cetakan

Desain cetakan dibuat berdasarkan spesifikasi produk yang akan dihasilkan. Desain ini meliputi dimensi, bentuk, serta detail tambahan seperti saluran masuk dan saluran udara. Desain dibuat dengan cara manual, yang memiliki ukuran sebagai berikut :

- *Cope* : Terdiri dari 4 bidang, yaitu sisi samping sebanyak 4 masing-masing dengan ukuran 36 cm x 19 cm.
- *Drag* : Terdiri dari 5 bidang, yaitu sisi samping sebanyak 4 masing-masing dengan ukuran 36 cm x 19 cm dan sisi bawah sebanyak 1 dengan ukuran 36 cm x 36 cm.

### b) Pemilihan Bahan Kayu Tripleks

Kayu tripleks dipilih sebagai bahan dasar tatanan cetakan karena sifatnya yang mudah dibentuk, ringan, dan cukup kuat untuk menahan beban selama proses pencetakan. Ketebalan kayu tripleks yang digunakan disesuaikan dengan ukuran dan kompleksitas cetakan, dalam hal ini yaitu setebal 18mm dengan panjang 244 cm x lebar 122 cm.

### c) Pemotongan dan Pembentukan Kayu Tripleks

Kayu tripleks dipotong sesuai dengan dimensi yang telah dirancang menggunakan alat potong seperti gerinda potong dengan piringan yang diganti

khusus untuk pemotongan kayu. Setelah itu, kayu tripleks dirakit membentuk kerangka cetakan sesuai desain yang dikehendaki.

d) Perakitan Komponen Cetakan

Potongan-potongan kayu tripleks dirangkai dan disambungkan menggunakan paku untuk memastikan kekuatan struktur. Sambungan diperkuat dengan pengencangan tambahan pada titik-titik strategis untuk menghindari deformasi selama proses pencetakan.

e) *Finishing* dan Pelapisan Permukaan

Permukaan cetakan yang telah dirakit dihaluskan menggunakan amplas untuk menghilangkan ketidakteraturan. Selanjutnya pada setiap sisi diberi klem untuk memperkuat sambungan antara bagian *cope* dan *drag*.

Dengan mengikuti tahapan ini, diharapkan tatanan cetakan dari kayu tripleks dapat memenuhi standar kualitas yang diperlukan untuk proses pengecoran logam aluminium.

Berikut dilakukan pembuatan cetakan produk coran: Cetakan dibuat dengan cara mencetak campuran bahan cetakan ke dalam cetakan permanen sesuai dengan desain produk yang diinginkan (produk coran dicetak dengan printer 3D). Pencetakan dilakukan menggunakan metode pemadatan manual menggunakan alat seperti palu dan kayu dengan ukuran tertentu sebagai perata permukaan cetakan.

### 2.3. Proses Peleburan dan Pengecoran

Logam aluminium yang memiliki berat 25 g hingga 30 g yang berdiameter 3,43 cm hingga 3,76 cm dengan tinggi 1 cm dipanaskan menggunakan tungku *Graphite Melting Crucible Mini Furnace 2Kg* (inventaris Laboratorium Teknik Industri FT UKDC) hingga mencapai suhu sekitar 1000°C. Logam cair kemudian dituangkan ke dalam cetakan yang telah dipersiapkan. Waktu penuangan dan suhu logam cair dicatat untuk setiap percobaan guna mengevaluasi pengaruhnya terhadap kualitas hasil pengecoran.

### 2.4. Analisis Hasil Pengecoran

Setelah proses pengecoran selesai, cetakan dibongkar untuk dapat melihat hasil produk yang telah dicor. Produk di analisis secara fisik untuk mengetahui apa penyebab keberhasilan dan kegagalan dalam proses pengecoran tersebut agar menjadi evaluasi dan referensi bagi peneliti lain.

Untuk mendukung eksperimen, model teoritis yang digunakan adalah rumus hukum termodinamika untuk menghitung laju pendinginan logam cair dalam hal ini aluminium serta estimasi kekuatan cetakan berbasis campuran silika dan bentonite. Model ini digunakan untuk memprediksi sifat mekanik dan perilaku cetakan selama proses pengecoran.

Model matematis untuk laju pendinginan logam cair dapat ditulis sebagai berikut:

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

dengan:

Q adalah jumlah panas yang hilang (J),

m adalah massa logam cair (kg),

$C_p$  adalah kapasitas panas spesifik logam (J/kg°C),

$\Delta T$  adalah perubahan suhu (°C).

Proses ini digunakan untuk mengoptimalkan suhu penuangan dan pendinginan selama pengecoran, serta menganalisis hubungan antara komposisi cetakan dan kualitas hasil pengecoran.

## 2.5. Analisis Termodinamika antara Konduktivitas Thermal Cetakan dan Distribusi Panas selama Pengecoran

Analisis termodinamika untuk menjelaskan hubungan antara konduktivitas termal cetakan dan distribusi panas selama pengecoran logam aluminium dapat dijelaskan sebagai berikut:

### 2.5.1. Konduktivitas Termal Cetakan

Konduktivitas termal adalah kemampuan bahan untuk menghantarkan panas. Dalam konteks pengecoran logam aluminium, cetakan yang digunakan sangat mempengaruhi cara panas dipindahkan dari logam cair ke cetakan dan sebaliknya. Konduktivitas termal cetakan biasanya tergantung pada bahan cetakan yang digunakan (seperti pasir, grafit, baja, atau keramik) dan struktur mikroskopisnya. Cetakan dengan konduktivitas termal tinggi akan lebih cepat menyerap panas dari logam cair, sementara cetakan dengan konduktivitas termal rendah akan memperlambat proses perpindahan panas, yang dapat mempengaruhi proses pendinginan dan pengerasan logam aluminium.

### 2.5.2. Distribusi Panas Selama Pengecoran

Pada saat pengecoran logam aluminium, suhu logam cair sangat tinggi, biasanya lebih dari 600°C. Panas dari logam cair akan mengalir ke cetakan melalui mekanisme konduksi termal. Proses distribusi panas ini sangat dipengaruhi oleh konduktivitas termal cetakan. Berikut adalah beberapa hal yang perlu diperhatikan:

- **Penyeimbangan Suhu:** Logam cair yang dituangkan ke dalam cetakan akan mulai mendingin dan membeku dari permukaan cetakan ke dalam. Dengan konduktivitas termal cetakan yang tinggi, panas akan cepat terdistribusi keluar dari logam cair, mempercepat proses pendinginan dan pembekuan. Sebaliknya, dengan konduktivitas termal cetakan yang rendah, pemindahan panas menjadi lambat, sehingga logam lebih lama dalam keadaan cair dan dapat menyebabkan pembekuan yang tidak merata.
- **Pembentukan Gradasi Suhu:** Konduktivitas termal cetakan juga memengaruhi pembentukan gradien suhu dalam logam cair. Pada cetakan dengan konduktivitas termal rendah, gradasi suhu lebih tajam, sehingga lapisan luar logam lebih cepat membeku dibandingkan bagian dalam. Ini dapat menyebabkan cacat pada produk seperti porositas atau retakan, terutama jika pendinginan tidak terkontrol dengan baik.
- **Efek pada Struktur Mikro dan Kualitas Produk:** Dalam pengecoran logam aluminium, distribusi panas yang merata sangat penting untuk memperoleh struktur mikro yang homogen dan kualitas produk yang tinggi. Pengaruh konduktivitas termal cetakan terhadap kecepatan pendinginan dapat mempengaruhi sifat mekanik, seperti kekuatan dan ketahanan terhadap keausan, karena distribusi panas yang tidak merata dapat menyebabkan ketegangan internal atau deformasi.

### 2.5.3. Model Termodinamika dan Konduksi Panas

Dari perspektif termodinamika, hubungan antara konduktivitas termal cetakan dan distribusi panas dapat dianalisis melalui hukum konduksi panas Fourier. Hukum Fourier menyatakan bahwa laju aliran panas ( $Q$ ) berbanding lurus dengan gradien suhu dan luas area perpindahan panas:

$$Q = -k \cdot A \cdot \Delta T / \Delta x$$

dengan:

$Q$  = laju aliran panas (W),

$k$  = konduktivitas termal bahan cetakan (W/m·K),

$A$  = luas area yang terlibat dalam perpindahan panas ( $m^2$ ),

$\Delta T$  = perbedaan suhu antara logam cair dan cetakan (K),

$\Delta x$  = ketebalan cetakan yang dilalui panas (m).

Berdasarkan hukum ini, semakin tinggi konduktivitas termal cetakan (kkk), semakin cepat panas dapat dipindahkan dari logam cair ke cetakan. Hal ini akan menghasilkan distribusi panas yang lebih merata di seluruh cetakan dan lebih cepat mengatur suhu logam.

#### 2.5.4. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Konduktivitas Termal Cetakan

- Jenis Material Cetakan: Cetakan pasir, misalnya, memiliki konduktivitas termal yang lebih rendah dibandingkan cetakan grafit atau baja, yang dapat mempengaruhi laju perpindahan panas dan distribusi suhu.
- Struktur Mikroskopis: Porositas dan kepadatan bahan cetakan juga berpengaruh terhadap konduktivitas termal. Cetakan dengan porositas tinggi biasanya memiliki konduktivitas termal yang lebih rendah.
- Temperatur: Konduktivitas termal bahan cetakan dapat berubah dengan temperatur. Pada temperatur tinggi yang ditemukan dalam proses pengecoran, konduktivitas termal dapat menurun.

#### 2.5.5. Implikasi dalam Proses Pengecoran

Pemilihan cetakan dengan konduktivitas termal yang sesuai dengan proses pengecoran sangat penting untuk memastikan distribusi panas yang optimal. Jika cetakan terlalu cepat menyerap panas, ini dapat menyebabkan pembekuan logam terlalu cepat dan cacat produk. Di sisi lain, cetakan dengan konduktivitas termal rendah dapat menyebabkan pendinginan yang terlalu lambat, yang dapat mempengaruhi kekuatan dan integritas struktur logam.

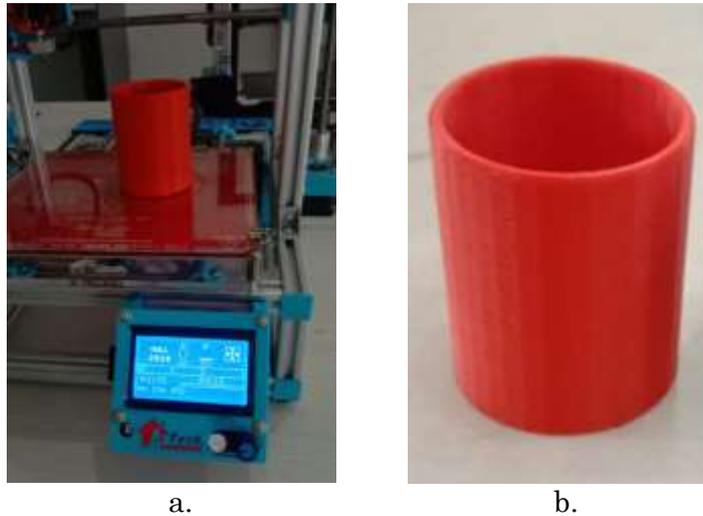
### 3. Hasil dan Pembahasan

Pada setiap proses praktikum, mahasiswa belajar untuk memahami dan menganalisis setiap hasil yang ada. Pada bagian ini dibahas mulai dari awal pembuatan cetakan hingga hasil akhir dari proses pengecoran tersebut sebagaimana telah dideskripsikan pada bagian 2 di atas.

#### 3.1 Desain Produk Coran

Produk yang dirancang berupa souvenir berbentuk gelas dengan geometri sederhana menggunakan perangkat lunak AutoCAD. Pola utama dicetak dengan teknologi 3D printing (Gambar 1.a.) berbahan resin Polylactic Acid (PLA), menghasilkan pola dengan presisi tinggi dan permukaan yang halus (Gambar 1.b.). Hal ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyebutkan bahwa penggunaan pola berbasis teknologi 3D printing dapat meningkatkan akurasi geometri pada hasil pengecoran (Yadav et al., 2022).

Namun, saluran pengecoran (*gating system*) tidak dicetak bersama pola 3D. Sebaliknya, saluran dibentuk manual menggunakan batang besi berdiameter 2 cm dan 3 cm yang masing-masing memiliki ketinggian sama yaitu 10 cm, dilakukan saat campuran silika dan bentonite mengeras. Teknik ini menghasilkan saluran dengan ukuran yang tidak seragam, yang berkontribusi pada aliran logam cair yang tidak terkendali selama proses pengecoran. Turbulensi yang dihasilkan dalam kondisi ini meningkatkan risiko cacat pengecoran, seperti *blowhole* dan *shrinkage*. Desain saluran yang tidak optimal ini menunjukkan bahwa pendekatan manual kurang efektif dibandingkan metode yang lebih presisi, seperti pencetakan pola saluran secara digital.



**Gambar 1.** (a). Mesin cetak yang dipakai, (b). Cetakan produk souvenir (gelas) yang hendak diproses pengecoran

### 3.2 Efisiensi Peleburan dan Penuangan

Volume dari objek cor saat ini adalah  $\pm 150$  g. Peleburan aluminium sebanyak 6 buah dengan total berat antara 150 g hingga 180 g dimasukkan satu per satu ke dalam tungku peleburan. Proses ini menggunakan dapur induksi Shuttle Type 2 (inventaris Laboratorium Teknik Industri FT UKDC) pada suhu  $1000^{\circ}\text{C}$  dengan durasi 45 menit (waktu yang dibutuhkan dari awal temperature ruangan  $32^{\circ}\text{C}$  hingga mencapai temperature  $1000^{\circ}\text{C}$ ). Hal tersebut dilakukan gunaantisipasi kekurangan aluminium cair pada proses pengecoran. Proses ini berjalan sesuai parameter yang ditentukan, dengan aluminium mencair sempurna. Namun, beberapa kendala muncul pada saat penuangan logam cair ke dalam cetakan berbasis campuran silika dan bentonite, antara lain:

- Desain Saluran Tidak Optimal: Saluran pengecoran yang dibentuk manual memiliki dimensi tidak seragam, sehingga aliran logam cair tidak terdistribusi secara merata. Akibatnya, beberapa area cetakan tidak terisi sempurna.
- Turbulensi dalam Aliran Logam: Ketidakteraturan aliran logam cair menciptakan turbulensi yang signifikan, menyebabkan udara terperangkap di dalam cetakan. Hal ini menghasilkan cacat *blowhole*, seperti yang dijelaskan oleh Adebisi et al. (2020), di mana turbulensi aliran menjadi salah satu penyebab utama cacat pengecoran.
- Efisiensi Pengisian Rendah: Area tertentu, terutama pada bagian dasar gelas, tidak terisi logam cair. Hal ini menurunkan kualitas produk dan menandakan bahwa desain saluran perlu dioptimalkan untuk meningkatkan efisiensi pengisian cetakan.

Meskipun cetakan berbasis silika dan bentonit memiliki sifat termal yang lebih baik dibandingkan cetakan pasir konvensional (Yadav et al., 2022; Tantawi, 2017), desain saluran pengecoran yang kurang optimal tetap mempengaruhi kualitas produk akhir.

### 3.3 Analisis Hasil Pengecoran

#### 3.3.1. Pemeriksaan Dimensi

Pengukuran dimensi hasil coran menunjukkan penyimpangan yang cukup signifikan dibandingkan desain awal. Bagian dasar gelas tidak terbentuk sempurna, sedangkan bagian tengah hingga atas mengalami deformasi akibat ketidakseimbangan

aliran logam cair. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun cetakan berbasis silika dan bentonite mampu mempertahankan struktur selama pengecoran, desain saluran tetap berperan krusial dalam memastikan distribusi logam cair yang merata.

### 3.3.2. Struktur Permukaan

Pemeriksaan permukaan hasil coran menunjukkan beberapa cacat utama, antara lain:

- *Blowhole*: Terdapat lubang-lubang kecil hingga besar di permukaan coran akibat udara yang terperangkap selama penuangan. Hal ini disebabkan oleh ketidaksempurnaan saluran pengecoran yang menyebabkan turbulensi.
- *Shrinkage*: Penyusutan yang tidak merata terjadi di beberapa bagian gelas akibat perbedaan kecepatan pendinginan logam cair dalam cetakan.
- Retak Mikro dan Kasar: Cetakan berbasis silika dan bentonite memberikan hasil permukaan yang lebih baik dibandingkan cetakan pasir biasa, tetapi beberapa bagian mengalami retak mikro akibat pendinginan yang tidak seragam.

### 3.3.3. Kesesuaian dengan Desain

Hasil coran tidak sepenuhnya sesuai dengan desain awal. Meskipun cetakan berbasis silika dan bentonite menunjukkan keunggulan dalam ketahanan terhadap panas dan kekuatan mekanik, desain saluran pengecoran yang kurang optimal menyebabkan produk akhir mengalami deformasi dan cacat pada struktur permukaannya.

Beberapa peristiwa ilmiah yang menjelaskan temuan dalam penelitian ini antara lain:

- Pengaruh Permeabilitas Cetakan  
Campuran silika dan bentonit memberikan permeabilitas yang lebih baik dibandingkan cetakan pasir konvensional (Astika et al., 2010; Purwono, 2005). Namun, jika rasio bentonit terlalu tinggi, cetakan cenderung memiliki porositas rendah, yang menghambat pelepasan gas selama pengecoran dan meningkatkan risiko *blowhole* (Sutiyoko & Madani, 2022).
- Distribusi Panas Selama Pendinginan  
Silika memiliki konduktivitas termal lebih tinggi dibandingkan pasir biasa, sehingga mampu mendistribusikan panas lebih baik selama pengecoran. Namun, jika rasio bentonite terlalu tinggi, cetakan dapat menjadi terlalu kedap udara, yang menyebabkan penyusutan tidak merata (*shrinkage*).
- Kekuatan Mekanik Cetakan  
Cetakan berbasis silika dan bentonite memiliki kekuatan tekan lebih tinggi dibandingkan cetakan berbasis pasir, sehingga lebih tahan terhadap tekanan logam cair. Namun, kekuatan ini juga dapat menghambat pelepasan gas jika tidak diimbangi dengan desain ventilasi yang baik.

### 3.4. Analisis Keekonomian

Secara umum analisis keekonomian ditunjukkan pada Tabel 2 berikut ini. Dari tabel 2 dapat dinilai terkait keekonomian bahwa yang baru (penelitian ini) lebih ekonomis secara umum khususnya dalam hal waktu pengerjaan satu kelompok lebih cepat daripada sebelumnya. Tanda '>' diartikan sebagai lebih ekonomis.

### 3.5. Analisis Termodinamika

Hubungan antara konduktivitas termal cetakan dan distribusi panas selama pengecoran logam aluminium sangat penting dalam menentukan kecepatan pendinginan dan kualitas akhir produk.

**Tabel 2.** Analisis singkat keekonomian berfokus pada konversi waktu pengerjaan yang sesuai jadwal

items evaluasi	Lab TI Tahun sebelumnya	keekonomian	Penelitian ini
<i>Cope</i>	tidak memiliki sekrup	Penelitian ini lebih lengkap	memiliki sekrup yang berfungsi, lengkap
<i>Drag</i>	tidak memiliki sekrup	Penelitian ini lebih lengkap	memiliki sekrup yang berfungsi, lengkap
material cetakan	pasir cetak + lempung +	Penelitian ini seperti didasarkan pada penelitian terdahulu khususnya Saputra dan Astika Memakai cetakan gabus lebih ekonomis, hanya asap yang ditimbulkannya akibat pengecoran kurang ramah lingkungan dibandingkan dengan cetakan berbahan PLA+	bentonite+graphit+pasir silika
cetakan	gabus		PLA+
produk	souvenir gelas	<	souvenir gelas polos
desain produk	Desain jadi dari thingiverse.com	<	AutoCAD, desain oleh peneliti
kwalitas produk	kurang baik	<	Baik
total biaya produksi	Relatif sama	<	Relative Sama
waktu pengerjaan	Tambahan 4x diluar jadwal	<	Tambahan 2x
per kelompok	3-4 orang	=	3-4 orang

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian terdahulu antara lain Saputra dkk (Saputra et al., 2020) dan Astika dkk (Astika et al., 2010), cetakan berbasis silika dan bentonite terbukti memiliki keunggulan dalam hal kekuatan mekanik dan ketahanan termal dibandingkan cetakan pasir konvensional. Namun, terdapat beberapa aspek yang masih perlu dioptimalkan atas hasil eksperimen laboratorium yang telah dilakukan untuk meningkatkan efektivitas cetakan yang didesain-pakai, yaitu:

1. Penyempurnaan desain saluran pengecoran, sehingga aliran logam cair lebih terkendali dan mengurangi turbulensi yang dapat menyebabkan cacat *blowhole*.
2. Optimasi rasio silika dan bentonite agar keseimbangan antara permeabilitas, kekuatan mekanik, dan daya tahan panas dapat dicapai secara optimal.
3. Penerapan sistem ventilasi tambahan guna meningkatkan pelepasan gas selama pengecoran dan mengurangi risiko cacat pengecoran.

Dengan perbaikan pada desain cetakan dan optimasi material, metode ini memiliki potensi untuk diterapkan secara lebih luas dalam industri pengecoran logam aluminium. Analisis hipotesis kedepannya perlu dilakukan. Selain meningkatkan efisiensi produksi, metode ini juga menawarkan solusi yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan dibandingkan cetakan pasir konvensional.

Analisis termodinamika lanjutan perlu digunakan untuk lebih memahami mekanisme perpindahan panas, di mana konduktivitas termal cetakan berperan sebagai faktor utama dalam mengatur proses pembekuan dan pendinginan logam, serta mempengaruhi sifat mekanik dan estetika produk akhir.

## 5. Daftar Pustaka

- Adebisi, Y., & Smith, R. (2020). Effects of binder types on sand casting quality. *Journal of Materials Processing*, 45(3), 123-130.
- Astika, I. M., Negara, D. N. K., & Susantika, M. A. (2010). Pengaruh Jenis Pasir Cetak dengan Zat Pengikat Bentonit terhadap Sifat Permeabilitas dan Kekuatan Tekan Basah Cetakan Pasir (Sand Casting). *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cakra*, 4(2), 132–138.
- Budiyono, S. (2013). Perbandingan Kualitas Hasil Pengecoran Pasir Cetak Basah dengan Campuran Bentonit 3% dan 5% pada Besi Cor Kelabu. Skripsi, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Purba, L. P., Patrick, J., (2021). MODUL PRAKTIKUM PROSES MANUFAKTUR. LABORATORIUM SISTEM PRODUKSI PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI UNIVERSITAS KATOLIK DARMA CENDIKA, Surabaya, Jawa Timur, Indonesia.
- Purba, L.P., (2010). Suatu Tinjauan Prosedur Operasi Proses Produksi Produk Coran Besi Kelabu: Case Study pada CV. XYZ di Jawa Timur. *Industrial Engineering Conference on Telecommunication Proceeding “Membangun kekuatan Industri di Indonesia pada Era Pasar Bebas( ACFTA / WTO )” Bandung, 3 June 2010*, [http://repositori.ukdc.ac.id/719/4/4\\_f\\_PROCEEDING%20INDECT%202010.pdf\\_IT%20TELKOM%20BANDUNG\\_Suatu%20Tinjauan%20Prosedur%20Operasi%20Proses%20Produksi%20Produk.pdf](http://repositori.ukdc.ac.id/719/4/4_f_PROCEEDING%20INDECT%202010.pdf_IT%20TELKOM%20BANDUNG_Suatu%20Tinjauan%20Prosedur%20Operasi%20Proses%20Produksi%20Produk.pdf).
- Purwono, A. A. (2005). Pengaruh variasi campuran kadar air pada pasir cetak basah dengan bahan pengikat bentonit terhadap permeabilitas dan kekuatan tekan (Skripsi). Universitas Negeri Semarang.
- Saputra, F. R., Harjanto, B., & Sriwardani, N. (2020). Pengaruh variasi penambahan kadar air dengan bahan pengikat bentonit terhadap karakteristik pasir cetak dan cacat porositas hasil pengecoran logam paduan Al-Si. *Nozel: Jurnal Pendidikan Teknik Mesin*, 2(4), 291-300. <https://jurnal.uns.ac.id/nozel>
- Sutiyoko, & Madani, A. (2022). Perubahan Karakteristik Cetakan Green Sand dan Cacat Inklusi pada Pengecoran Besi Cor Nodular. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material*, 6(2), 50–56.
- Tantawi, M. A. S. (2017). Pengaruh Cetakan Pasir Silika dengan Zat Pengikat Bentonit pada Pengecoran Kuningan terhadap Cacat Coran, Struktur Mikro, dan Kekerasan. Skripsi, Universitas Negeri Semarang.

- Utomo, C., & Partono, S. T. P. (2017). Perencanaan dan Pembuatan Dies Permanent Mold Pengecoran Logam dengan Material Besi Cor Ductile (FCD). Tesis, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Widayat, W., & Budiyo, A. (2014). Pengaruh Kadar Air Pasir Cetak terhadap Kualitas Coran Paduan Aluminium. *Jurnal Kompetensi Teknik*, 6(1).
- Yadav, A., Gupta, P., & Kumar, S. (2022). Optimization of silica sand molds for aluminum casting. *International Journal of Foundry Research*, 12(4), 98-110.