

**PENGARUH VARIASI BENTUK PENAMPANG SALURAN TURUN PADA
PENGECORAN LOGAM ALUMINIUM TERHADAP PENYUSUTAN,
DENSITY, KEKERASAN, DAN STRUKTUR MIKRO DENGAN METODE
INVESTMENT CASTING**

Bagus Sugondo, Patna Partono
Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah
Surakarta

Abstrak

Saluran turun adalah saluran pertama yang berfungsi mengalirkan logam dari cawan tuang ke saluran masuk pada saat proses pengecoran. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi bentuk penampang saluran turun terhadap komposisi kimia, penyusutan, *density*, kekerasan, dan struktur mikro. Bahan baku yang digunakan pada saat proses pengecoran adalah Aluminium. *Investment casting* adalah metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini, dengan variasi bentuk penampang saluran turun yang digunakan yaitu persegi, segitiga, dan lingkaran. Kemudian dilakukan pengujian penyusutan, penyimpangan, *density*, kekerasan, dan struktur mikro. Hasil analisis komposisi kimia, sampel yang diteliti didominasi oleh unsur Aluminium (Al) 97,18%. Adanya unsur-unsur paduan seperti seperti Silikon (Si) 0,735%, Besi (Fe) 0,755%, Tembaga (Cu) 0,287%, dan Magnesium (Mg) 0,777% dalam jumlah kecil mengindikasikan bahwa sampel ini merupakan paduan Aluminium. Hasil rata-rata penyusutan tertinggi terdapat pada saluran turun segitiga sebesar 3,76% diikuti saluran turun lingkaran sebesar 2,49%, dan terendah pada saluran turun persegi sebesar 1,80%. Hasil rata-rata penyimpangan tertinggi terdapat pada saluran turun segitiga sebesar 14,42% diikuti saluran turun lingkaran sebesar 13,87%, dan terendah pada saluran turun persegi sebesar 11,93%. Semakin tinggi nilai densitas material, semakin rendah porositasnya. Hal ini dibuktikan dengan densitas saluran turun persegi yang paling tinggi ($4,18\text{gr/cm}^3$) dan diikuti oleh saluran turun lingkaran ($3,23\text{ gr/cm}^3$) dan saluran turun segitiga ($3,10\text{ gr/cm}^3$). Kekerasan *vickers* juga menunjukkan hasil yang serupa, dengan saluran turun persegi memiliki nilai kekerasan tertinggi (66,80VHN). Bentuk saluran turun yang tepat akan menghasilkan produk coran dengan kualitas yang lebih baik. Laju aliran yang optimal akan meminimalkan cacat dan meningkatkan kekerasan material.

Kata Kunci: Aluminium, Pengecoran, *Investment Casting*, Saluran Turun, Penyusutan, *Density*, Struktur Mikro, Komposisi Kimia

Abstract

The down channel is the first channel that functions to flow metal from the pouring cup to the inlet channel during the casting process. This study aims to determine the effect of variations in the shape of the down channel cross-section on the chemical composition, shrinkage, density, hardness, and microstructure. The raw material used during the casting process is Aluminum. Investment casting is a research method used in this study, with variations in the shape of the down channel cross-section used, namely square, triangle, and circle. Then shrinkage, deviation, density, hardness, and microstructure tests were carried out. The results of the chemical composition analysis, the sample studied was dominated by the element Aluminum (Al) 97.18%. The presence of alloying elements such as Silicon (Si) 0.735%, Iron (Fe) 0.755%, Copper (Cu) 0.287%, and Magnesium (Mg) 0.777% in small amounts indicate that this sample is an Aluminum alloy. The

highest average shrinkage results were found in the triangular descending channel at 3.76% followed by the circular descending channel at 2.49%, and the lowest in the square descending channel at 1.80%. The highest average deviation results were found in the triangular descending channel at 14.42% followed by the circular descending channel at 13.87%, and the lowest in the square descending channel at 11.93%. The higher the density value of the material, the lower the porosity. This is evidenced by the highest density of the square descending channel (4.18gr/cm³) and followed by the circular descending channel (3.23 gr/cm³) and the triangular descending channel (3.10 gr/cm³). *Vickers* hardness also showed similar results, with the square descending channel having the highest hardness value (66.80VHN). The right descending channel shape will produce better quality casting products. The optimal flow rate will minimize defects and increase material hardness.

Keywords: Aluminum, Foundry, Investment Casting, Down Channel, Depreciation, Density, Microstructure, Chemical Composition

1. PENDAHULUAN

Seiring dengan pertumbuhan populasi manusia dan kemajuan teknologi, produksi bahan logam meningkat pesat. Namun, peningkatan produksi ini juga diiringi dengan peningkatan limbah logam, yang jika tidak dikelola dengan baik dapat menyebabkan kerusakan lingkungan yang serius. Daur ulang bahan bekas logam muncul sebagai solusi yang penting untuk mengatasi masalah limbah logam. Logam aluminium adalah logam yang dikenal karena keberatannya yang ringan, keuletannya, dan ketahanan korosinya yang tinggi. Sifat-sifat ini menjadikan aluminium sangat dibutuhkan dalam berbagai aplikasi dimana keuletan dan keberatannya yang ringan diperlukan, seperti dalam industri otomotif, konstruksi pesawat terbang, dan banyak lagi.

Penggunaan aluminium bekas dapat menjadi alternatif bahan baku produksi pada industri pengecoran logam, hal ini dapat mendorong perkembangan usaha-usaha penampungan logam bekas dan pertumbuhan komoditas perdagangan (khoerul ummah, 2022). Proses pengecoran dilakukan dengan cara dicairkan, lalu dituangkan kedalam cetakan dan dibiarkan sampai membeku. Cacat pada proses pengecoran logam merupakan masalah yang sering dihadapi dalam proses pengecoran. Meskipun proses pengecoran memiliki banyak keunggulan, seperti kemampuan untuk membuat produk yang kompleks dan tingkat presisi tinggi, namun cacat-cacat tersebut dapat terjadi akibat berbagai faktor yang kompleks. Cacat hasil pengecoran logam terjadi karena adanya kesalahan dalam tahap pengerjaan, dan variabel proses yang tidak sesuai, oleh karena itu diperlukan suatu standarisasi ataupun automasi yang dapat mengukur semua parameter proses dengan tepat.

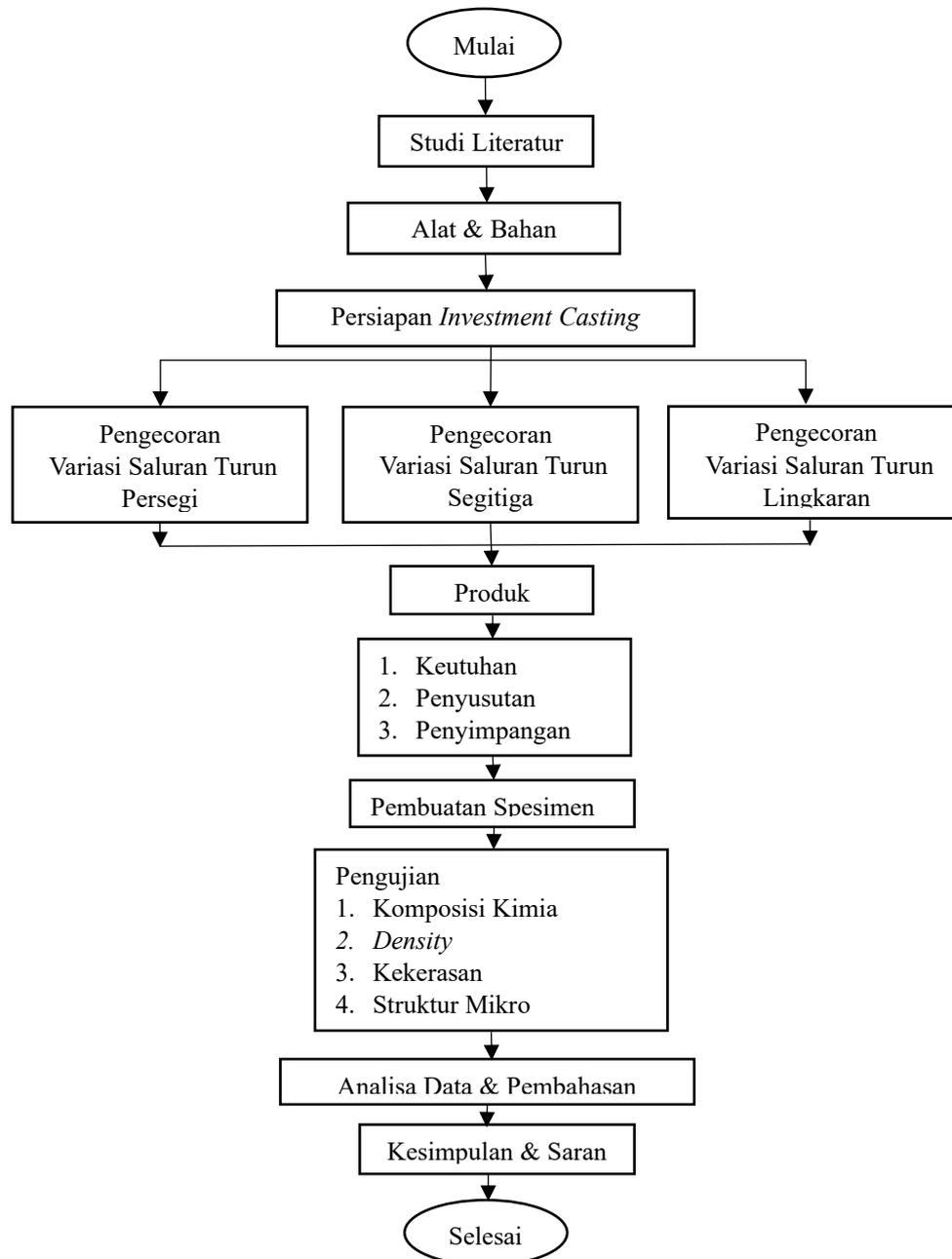
Salah satu proses pengecoran yang mampu menghasilkan produk cor yang presisi yaitu dengan menggunakan cetakan pola lilin atau *investment casting*. Cetakan pola lilin adalah teknik pengecoran logam dengan pola yang terbuat dari bahan lilin dan dilapisi dengan bahan tahan panas (Slamet, Setiawan and Winarso, 2023). Prinsip dari *investment casting* ini adalah membentuk lilin sebagai inti cetakan dengan *injection molding*. Hasil lilin yang telah dibentuk dilapisi cairan keramik dan didinginkan proses ini sudah terbentuk cetakan *investment casting*. Setelah didinginkan cetakan dipanaskan hingga lilin meleleh dan hanya tersisa cetakan keramik. Cetakan dipanaskan dengan temperatur yang telah ditentukan lalu logam cair dituangkan ke dalam cetakan. Ketika logam cair sudah dingin cetakan akan dihancurkan dan didapatkanlah produk akhir dari *investment casting* (Masy'ari, Prasetyo and Karyadi, 2021).

Saluran merupakan komponen kunci yang memainkan peran penting dalam memastikan distribusi logam cair yang merata ke dalam cetakan. Saluran digunakan untuk menuangkan logam cair ke dalam cetakan dan memungkinkan aliran yang terkontrol serta pengisian cetakan dengan baik. Namun, kadang-kadang saluran juga dapat menjadi sumber cacat dalam pengecoran logam jika tidak dirancang atau diatur dengan baik. Secara umum sistem saluran terdiri dari empat bagian yakni: cawan tuang, saluran turun, saluran terak dan saluran masuk (Simanjuntak *et al.*, 2011). Sistem saluran turun (*Sprue*) merupakan bagian penting dari proses pengecoran yang bertanggung jawab untuk mengarahkan aliran logam cair dari tempat pencairan ke dalam cetakan yang telah dipersiapkan. Berdasarkan latar belakang diatas maka dilakukan penelitian dengan judul “Pengaruh Variasi Bentuk Penampang Saluran Turun Pada Pengecoran Logam Alumunium Terhadap Penyusutan, *Density*, Kekerasan, Dan Struktur Mikro Dengan Metode *Investment Casting*”. Perbandingan antara beberapa bentuk geometri yang berbeda dari saluran turun (*sprue*) diharapkan dapat memperbaiki kualitas produk cor pada pengecoran Alumunium dengan metode *investment casting*.

2. METODE

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Suarakarta untuk proses pengecoran, pengujian penyusutan, penyimpangan, *density* dan struktur mikro; Laboratorium Teknik Mesin Universitas Sebelas Maret (UNS) untuk pengujian kekerasan dengan metode *vickers* dan Politeknik Manufaktur Ceper untuk pengujian komposisi kimia. Penelitian dimulai dengan melakukan studi literatur baik

jurnal maupun buku dan diakhiri dengan melakukan penarikan kesimpulan dan saran dari penelitian yang dilakukan. Berikut merupakan diagram alir penelitian yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.1 Prosedur Penelitian

2.1.1 Proses *Investment Casting* dengan Variasi Penampang Saluran Turun

1. Menyiapkan lilin yang akan digunakan untuk membuat pola lilin.

2. Menyiapkan tungku kowi, gas yang telah dipasang regulator untuk melelehkan lilin dan alumunium.
3. Menuangkan lilin cair ke dalam *mold* (cetakan) dari kayu.
4. Membuat 3 bentuk saluran turun (persegi, segitiga dan lingkaran) dari lilin.
5. Mendinginkan lilin yang sudah terbentuk.
6. Merangkai cetakan sehingga membentuk cetakan pohon lilin.
7. Melapisi cetakan pohon lilin dengan lapisan ceramic slurry berupa campuran gypsum dan serbuk alumina yang sudah dicampur dengan air.
8. Menghilangkan lilin yang sudah dilapisi *ceramic slurry* dengan cara dipanaskan di dalam mesin *furnance*.
9. Melelehkan Alumunium dengan tungku kowi hingga alumunium menjadi cair.
10. Menuangkan Alumunium panas ke dalam cetakan gypsum dengan variasi saluran turun persegi, segitiga, dan lingkaran.
11. Menghancurkan cetakan gypsum.
12. Memotong produk dengan gergaji.
13. Produk jadi dan siap dilakukan penelitian.

2.1.2 Pengujian Komposisi Kimia

1. Pastikan sumber cahaya berfungsi dengan baik. Lampu natrium dapat digunakan sebagai sumber cahaya.
2. Arahkan spektrometer tepat di hadapan sumber cahaya. Hal ini bertujuan agar cahaya dapat langsung menuju lensa kolimator.
3. Lakukan kalibrasi spektrometer. Catat sudut mula-mula saat bagian teleskop dan lensa kolimator berada di sumbu yang sama.
4. Letakkan cemin prisma yang akan diukur indeks biasanya.
5. Atur teleskop hingga tampak garis-garis spektrum pada setiap panjang gelombang.
6. Geser teleskop hingga benang silang saling berhimpitan dengan garis-garis spectrum.
7. Catat sudut dispersi yang muncul saat spektrum cahaya telah terlihat jelas.
8. Hitung indeks bias cermin prisma dan panjang gelombangnya.

2.1.3 Pengujian Penyusutan

1. Siapkan produk yang akan diuji. Pastikan produk dalam kondisi baik dan siap untuk diuji.
2. Lakukan identifikasi dan dokumentasi produk, termasuk nama produk, model, dan spesifikasi.
3. Gunakan alat ukur seperti gelas ukur, pipet untuk mengukur volume pola secara langsung.
4. Rumus berikut digunakan untuk menghitung persentase penyusutan:

$$S = \frac{(V_{\text{pola}} - V_{\text{Produk}})}{V_{\text{pola}}} \times 100\% \quad (1)$$

Dimana:

S = Presentase Penyusutan

V pola = Volume pola (cm³)

V Produk = Volume benda produk (cm³)

5. Catat hasil perhitungan persentase penyusutan dengan rapi dan teliti.

2.1.4 Pengujian Penyimpangan

1. Siapkan produk yang akan diuji. Pastikan produk dalam kondisi baik dan siap untuk diuji.
2. Lakukan identifikasi dan dokumentasi produk, termasuk nama produk, model, dan spesifikasi.
3. Gunakan alat ukur seperti gelas ukur, pipet untuk mengukur volume benda secara langsung.
4. Rumus berikut digunakan untuk menghitung persentase penyimpangan:

$$S = \frac{(V_{\text{asli}} - V_{\text{Produk}})}{V_{\text{asli}}} \times 100\% \quad (2)$$

Dimana:

S = Presentase Penyusutan

V asli = Volume benda asli (cm³)

V Produk = Volume benda produk (cm³)

5. Catat hasil perhitungan persentase penyusutan dengan rapi dan teliti.

2.1.5 Pengujian *Density*

1. Pastikan produk cor dalam keadaan bersih dan kering
2. Mengukur massa produk cor.
3. Mengukur volume produk cor.

4. Mengukur nilai *density*.

Persamaan Densitas:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (3)$$

Dimana:

ρ = Densitas ($\frac{kg}{m^3}$)

m = Massa (Kg)

v = Volume (m^3)

5. Catat hasil perhitungan *density* dengan rapi dan teliti.

2.1.6 Pengujian Struktur Mikro

1. Melakukan persiapan alat dan bahan yang diperlukan untuk pengujian.
2. Membuka *software* pengujian mikroskop optik.
3. Menyalakan mesin uji mikroskop optik.
4. Menempatkan spesimen yang akan diuji pada meja observasi.
5. Mengatur posisi meja kerja.
6. Memilih lensa mikroskop dengan tingkat perbesaran yang sesuai dengan kebutuhan pengamatan.
7. Menyesuaikan fokus lensa mikroskop dengan memutar tombol fokus.
8. Apabila gambar sudah berada pada titik fokus, klik *snap* pada layar monitor untuk pengambilan gambar struktur mikro.
9. Menyimpan gambar sesuai *file* yang diinginkan.

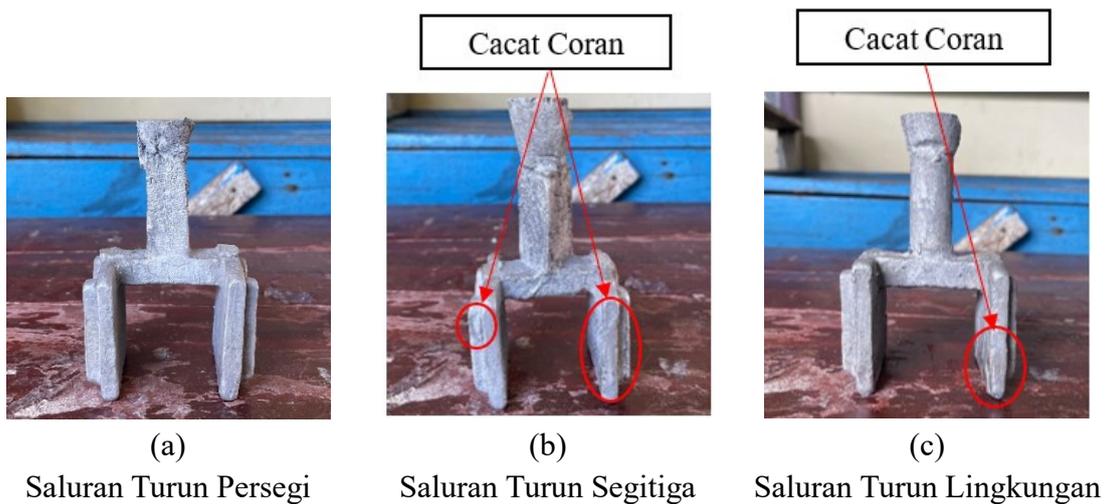
2.1.7 Pengujian Kekerasan

1. Menyiapkan benda kerja yang sudah rata kedua permukaannya dan sudah dipoles dengan autosol.
2. Menghidupkan alat uji kekerasan metode *vickers* dan monitor.
3. Menerangkan lampu pada pengaturan di kontrol panel.
4. Mengatur skala beban sesuai yang diinginkan.
5. Memasang benda kerja pada landasan.
6. Spesimen di naik turun dengan memutar handle hingga terlihat struktur mikronya.
7. Menekan tombol start dan tunggu hingga 30 detik.
8. Mengukur diameter 1 dan diameter 2 lalu catat nilai HV nya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengamatan Keutuhan Produk Cor

Pada tahap ini, pengamatan dilakukan untuk mengevaluasi apakah bentuk produk coran sudah sesuai dengan cetakan pohon lilin yang dibuat. Kualitas cetakan lapisan *ceramic slurry* berupa campuran gypsum dan serbuk alumina yang sudah dicampur dengan air dan proses pembekuan aluminium mempengaruhi hasil akhir produk. Jika cetakan dibuat dengan baik dan proses pembekuan berjalan dengan lancar, maka produk coran yang dihasilkan akan memenuhi spesifikasi yang diinginkan. Sebaliknya, produk yang tidak sesuai akan dikembalikan ke tungku untuk dilebur ulang.



Gambar 2. Pengamatan Keutuhan Produk Cor

Berdasarkan pengamatan pada Gambar 2, dapat disimpulkan bahwa penampang saluran turun persegi menghasilkan produk coran dengan kualitas yang lebih baik dan jumlah cacat yang paling sedikit. Sebaliknya, penampang segitiga menunjukkan adanya cacat coran yang signifikan, terutama pada area sudut-sudut akibat penyempitan dinding yang menyebabkan turbulensi aliran logam.

Bentuk penampang saluran turun memberikan pengaruh signifikan terhadap kualitas produk cor. Perbedaan bentuk, seperti persegi, lingkaran, dan segitiga, mengakibatkan karakteristik aliran logam yang berbeda. Penampang persegi, dengan dinding yang relatif lurus, memungkinkan aliran logam mengalir lebih lancar dan stabil, sehingga meminimalkan terjadinya turbulensi dan cacat coran. Sebaliknya, penampang segitiga, dengan sudut-sudut yang tajam dan penyempitan dinding yang lebih signifikan, cenderung menyebabkan aliran logam menjadi turbulen, sehingga meningkatkan risiko

terjadinya cacat coran. Penampang lingkaran, meskipun tidak memiliki sudut tajam, juga dapat menyebabkan aliran berputar yang dapat mengganggu proses pembekuan logam.

3.2 Hasil Pengujian Komposisi Kimia

Analisis komposisi kimia dilakukan untuk mengetahui kandungan unsur-unsur yang terkandung dalam hasil produk coran. Pengujian dilakukan menggunakan spektrometer sesuai standart ASTM E 415-08 di Laboratorium Politeknik Manufaktur Ceper. Hasil pengujian komposisi kimia pada bahan alumunium 180 gram disajikan pada tabel 1. Berikut perhitungan pemuaian panjang terhadap penyusutan:

Tabel 1. Data Hasil Uji Komposisi Kimia Rata-Rata Alumunium

No	Kandungan Unsur	Komposisi Kimia (% berat)
1	Si	0,735
2	Fe	0,755
3	Cu	0,287
4	Mn	0,0028
5	Mg	0,777
6	Cr	0,079
7	Ni	0.0068
8	Zn	0,063
9	Ti	0,039
10	Pb	<0,0050
11	Sn	<0,0050
12	V	0,0047
13	Sr	0,0024
14	Zr	<0,0020
15	Cd	<0,0050
16	Co	<0,0030
17	B	0,0028
18	Ag	<0,0010
19	Bi	<0,0060
20	Ca	0,0060
21	Li	<0,300
22	Al	97,18

Dari hasil analisis komposisi kimia menunjukkan bahwa terdapat 22 unsur, unsur dominan terdiri dari alumunium (Al) 97,18%. Adanya unsur-unsur seperti magnesium (Mg) 0,777%, besi (Fe) 0,755%, silikon (Si) 0,735%, dan tembaga (Cu) 0,287% dalam

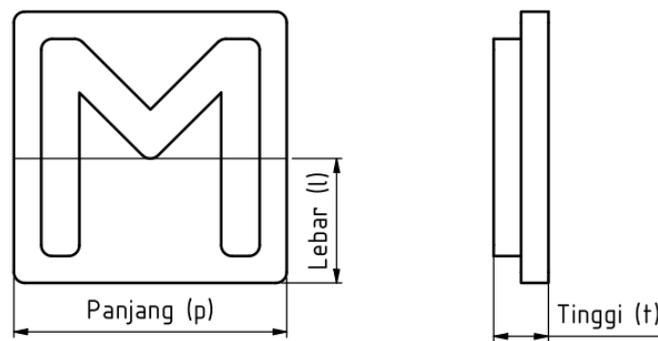
jumlah yang lebih kecil mengindikasikan bahwa sampel ini merupakan paduan aluminium.

Unsur-unsur paduan ini umumnya ditambahkan untuk meningkatkan sifat mekanik, seperti kekuatan dan keuletan. Adanya Unsur-unsur selain tersebut diatas jumlahnya sangat kecil dan tidak mempengaruhi secara signifikan terhadap sifat aluminium.

Kandungan magnesium yang relatif tinggi dapat berkontribusi pada peningkatan keuletan dan ketahanan korosi paduan aluminium. Silikon sering ditambahkan sebagai paduan untuk memperbaiki sifat pengecoran dan meningkatkan kekuatan. Sementara itu, tembaga dapat meningkatkan kekuatan tarik dan ketahanan terhadap korosi.

3.3 Hasil dan Analisa Pengujian Penyusutan

Sub bab ini menyajikan hasil pengujian penyusutan yang telah dilakukan pada spesimen coran. Untuk menentukan presentase penyusutan pada sampel cetakan dan mengidentifikasi variabel yang menyebabkan terjadinya penyusutan, metode pengukuran langsung diterapkan pada produk coran yang telah dicetak dan didinginkan sesuai gambar yang tertera dibawah ini.

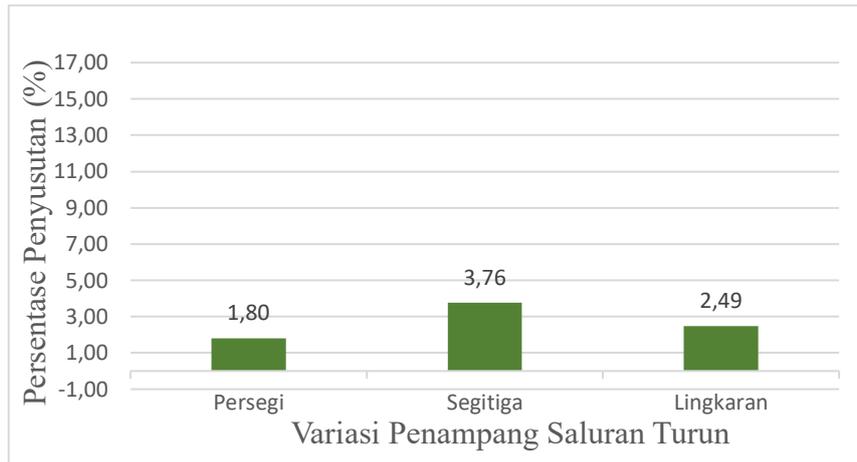


Gambar 3. Spesimen Pengujian Penyusutan

Hasil dari pengujian penyusutan ditunjukkan pada tabel 2 dan gambar 4.

Tabel 2. Presentase penyusutan dalam persen (%)

Variasi Bentuk Penampang Saluran Turun	Dimensi Pola			Dimensi Produk			Volume Pola (Lilin) (mm ³)	Volume Benda Produk (mm ³)	Presentase Penyusutan (%)
	<i>p</i> (mm)	<i>l</i> (mm)	<i>t</i> (mm)	<i>p</i> (mm)	<i>l</i> (mm)	<i>t</i> (mm)			
Persegi	49,87	22,80	9,86	49,69	22,70	9,76	11211,17	11008,91888	1,80
Segitiga	49,88	22,95	9,71	49,77	22,72	9,46	11115,48	10697,13	3,76
Lingkaran	49,85	23,00	9,63	49,72	22,58	9,59	11041,28	10766,48	2,49



Gambar 4. Histogram Presentase Penyusutan

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa bentuk saluran turun yang berbeda menghasilkan tingkat penyusutan yang berbeda pula. Saluran turun segitiga dengan penyempitan dinding yang signifikan menyebabkan turbulensi aliran logam cair dan terperangkapnya gas hidrogen, sehingga menghasilkan presentase penyusutan tertinggi yaitu (3,76%). Sebaliknya, bentuk persegi dengan dindingnya yang lebih sederhana dan tidak terlalu menyempit menghasilkan aliran yang lebih stabil sehingga menghasilkan presentase penyusutan yang paling rendah yaitu (1,80%). Sementara itu, saluran turun lingkaran memiliki presentase penyusutan diantara saluran turun segitiga dan persegi yaitu (2,49%). Hal ini dikarenakan bentuk penampang saluran turun lingkaran cenderung membuat aliran berputar-putar dan bentuk lingkaran yang melengkung tidak memberikan aliran untuk bergerak bebas.

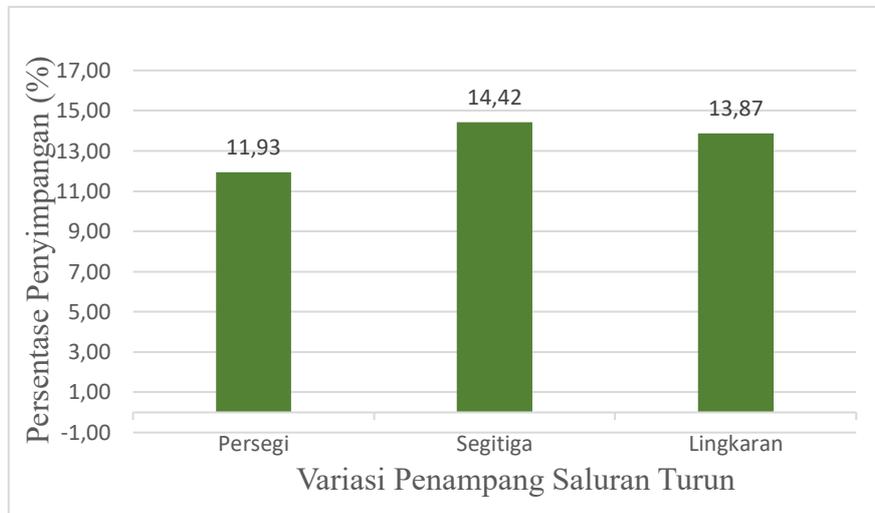
3.4 Hasil dan Analisa Pengujian Penyimpangan

Subbab ini membahas hasil pengujian penyimpangan pada produk hasil coran. Metode pengukuran langsung diterapkan untuk memperoleh data penyimpangan. Untuk mengukur tingkat penyimpangan dan mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhinya, spesimen yang digunakan untuk mengukur tingkat penyimpangan yaitu sama seperti gambar spesimen pengujian penyusutan.

Tabel 3. Presentase Penyimpangan dalam Persen (%)

Variasi Bentuk Penampang Saluran Turun	Dimensi Pola			Dimensi Produk			Volume Asli (mm ³)	Volume Benda Produk (mm ³)	Presentase Penyimpangan (%)
	<i>p</i> (mm)	<i>l</i> (mm)	<i>t</i> (mm)	<i>p</i> (mm)	<i>l</i> (mm)	<i>t</i> (mm)			
Persegi	50,00	25,00	10,00	49,69	22,70	9,76	12500,00	11008,91888	11,93

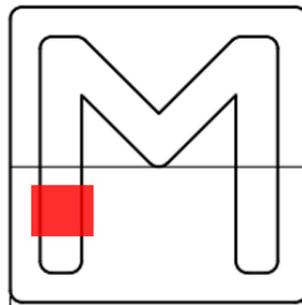
Variasi Bentuk Penampang Saluran Turun	Dimensi Pola			Dimensi Produk			Volume Asli (mm ³)	Volume Benda Produk (mm ³)	Presentase Penyimpangan (%)
	<i>p</i> (mm)	<i>l</i> (mm)	<i>t</i> (mm)	<i>p</i> (mm)	<i>l</i> (mm)	<i>t</i> (mm)			
Segitiga	50,00	25,00	10,00	49,77	22,72	9,46	12500,00	10697,13	14,42
Lingkaran	50,00	25,00	10,00	49,72	22,58	9,59	12500,00	10766,48	13,87



Gambar 5. Histogram Presentase Penyimpangan

Hasil pengujian menunjukkan adanya perbedaan pada tingkat penyimpangan yang dihasilkan oleh berbagai bentuk saluran turun. Saluran turun segitiga dengan penyempitan dinding yang tajam menghasilkan tingkat penyimpangan yang paling tinggi, mencapai 14,42%. Sementara itu, saluran turun berbentuk lingkaran dan persegi menghasilkan penyimpangan yang lebih rendah, sebesar 13,87% dan 11,93%.

3.5 Hasil dan Analisa Pengujian *Density*



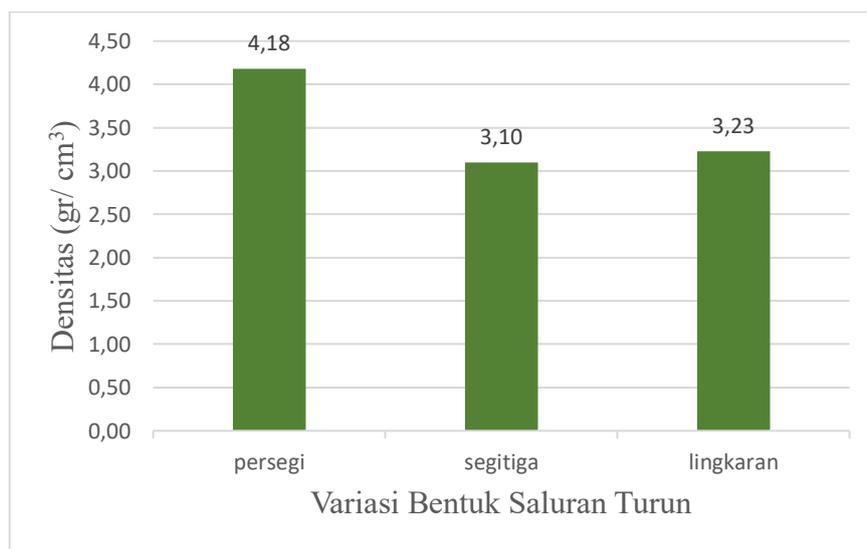
Gambar 6. Spesimen Pengujian Densitas

Pengujian *density* dilakukan untuk menentukan kerapatan massa jenis material dan mengidentifikasi faktor faktor yang mempengaruhi nilai densitas. Pengujian ini dilakukan

dengan cara memasukkan spesimen kedalam gelas ukur berisi air untuk mengetahui volume. Selanjutnya, massa spesimen diukur dengan menggunakan timbangan digital. Data yang diperoleh ditunjukkan pada tabel 4. dan gambar 7.

Tabel 4, Hasil Pengujian *Density*

Variasi Bentuk Penampang Saluran Turun	Massa (g)	Volume (cm ³)	<i>Density</i> (gr/cm ³)
Persegi	2,09	0,5	4,18
Segitiga	2,48	0,8	3,10
Lingkaran	2,58	0,8	3,23



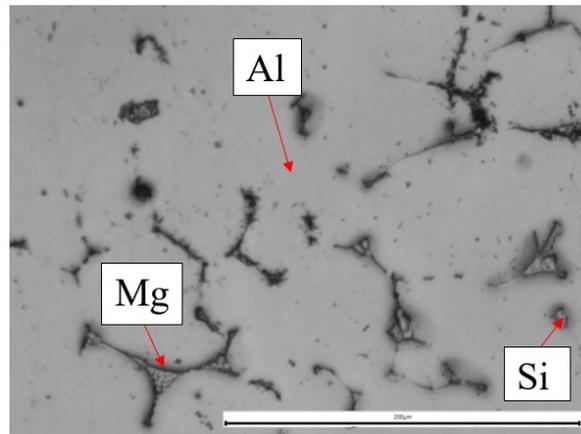
Gambar 7. Histogram Pengujian Densitas

Hasil pengujian menunjukkan bahwa densitas tertinggi diperoleh pada spesimen dengan variasi saluran turun persegi 4,18 g/cm³. Sementara itu saluran turun lingkaran memiliki densitas 3,23 g/cm³ dan saluran turun segitiga memiliki densitas terendah yaitu 3,10 g/cm³. Semakin tinggi nilai densitas, semakin rapat pula partikel dalam material tersebut. Hal ini mengindikasikan bahwa perbedaan bentuk penampang saluran turun mempengaruhi hasil *density* di tiap saluran turunnya, sehingga didapatkan kesimpulan bahwa bentuk penampang saluran turun persegi memiliki kepadatan paling tinggi dibandingkan dengan saluran turun yang lainnya.

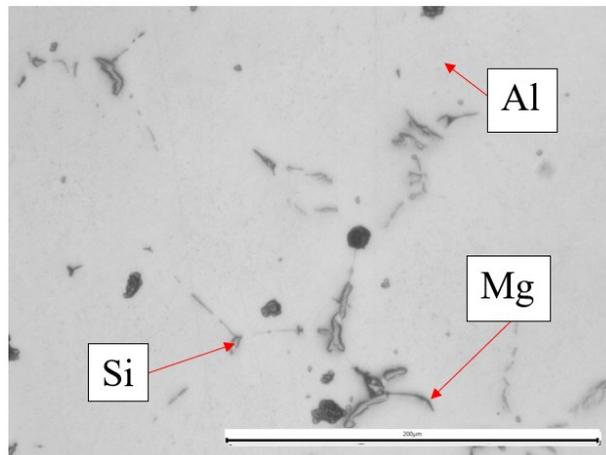
3.6 Hasil dan Analisa Pengujian Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro sampel aluminium dilakukan menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 200 kali, mengikuti prosedur standart pengujian metalografi

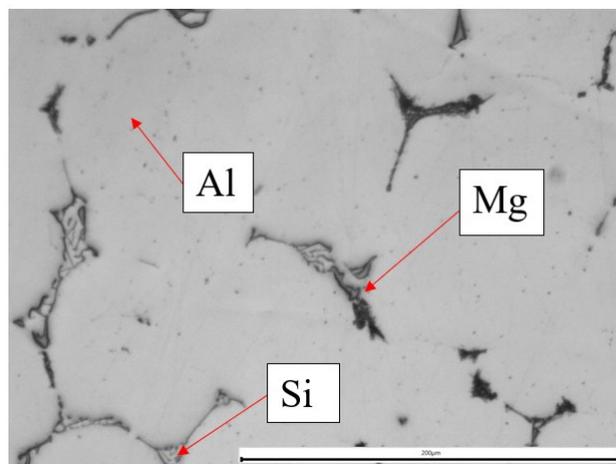
untuk bahan aluminium. Spesimen uji merupakan hasil pengecoran *investment casting* dengan variasi saluran turun persegi, segitiga, dan lingkaran.



Gambar 8. Struktur Mikro Variasi Saluran Turun Persegi



Gambar 9. Struktur Mikro Variasi Saluran Turun Segitiga



Gambar 10. Struktur Mikro Variasi Saluran Turun Lingkaran

Struktur mikro alumunium yang diamati menunjukkan adanya fasa silikon (Si) berwarna abu-abu, dan magnesium berwarna lebih gelap daripada silikon tetapi biasanya warnanya memudar menjadi hitam, sedangkan alumunium memiliki butir-butir berwarna cerah yang menyebar secara merata (ASM *Handbook*, Vol 9, Tahun 2004, *Metallography and Microstructure*, ASM Internasional). Hasil analisis mikrostruktur menunjukkan bahwa ukuran butir rata-rata pada sampel dengan saluran turun persegi distribusi butir lebih seragam dibandingkan dengan sampel saluran turun segitiga dan lingkaran. Hal ini berkorelasi dengan nilai kekerasan yang lebih tinggi pada sampel dengan saluran turun persegi.

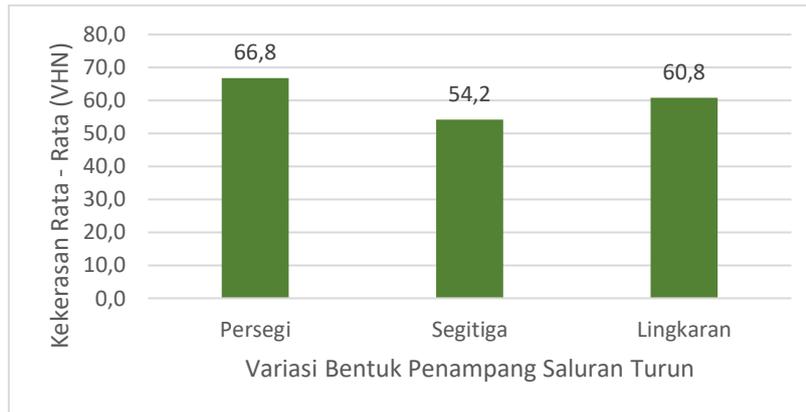
Pengamatan juga menunjukkan bahwa hasil struktur mikro dari saluran turun persegi lebih baik dibandingkan saluran turun segitiga dan persegi. Penyempitan dinding pada saluran turun dengan bentuk tersebut menyebabkan turbulensi aliran logam cair dan terperangkapnya gas, sehingga distribusi butir kurang maksimal. Sebaliknya, saluran turun berbentuk persegi memungkinkan aliran logam yang lebih laminar, mengurangi risiko terbentuknya rongga dan menghasilkan produk cor dengan kualitas yang lebih baik.

3.7 Hasil dan Analisa Pengujian Kekerasan

Untuk mengetahui nilai kekerasan pada spesimen alumunium yang telah dicetak dengan variasi bentuk penampang saluran turun (persegi, segitiga, dan lingkaran), dilakukan pengujian kekerasan *Vickers Hardness Number* (VHN) sesuai dengan standar ASTM E384. Pada setiap spesimen, dilakukan tiga kali pengujian dengan menggunakan indentor berlian berbentuk piramida yang ditekan dengan beban 100 kg selama 10 detik. Nilai kekerasan rata rata untuk setiap variasi bentuk penampang saluran turun diperoleh dari rata-rata hasil pengujian pada ketiga titik tersebut. Hasil pengujian kekerasan disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengujian Kekerasan

Variasi Spesimen	Titik Uji	d1 (µm)	d2 (µm)	Kekerasan (VHN)	Kekerasan Rata-Rata (VHN)
Persegi	Titik Uji 1	52,75	53,91	65,20	66,8
	Titik Uji 2	52,79	51,60	68,00	
	Titik Uji 3	52,97	52,04	67,20	
Segitiga	Titik Uji 1	58,87	60,36	52,10	54,20
	Titik Uji 2	55,76	56,82	58,50	
	Titik Uji 3	59,40	60,05	51,90	
Lingkaran	Titik Uji 1	54,33	56,85	60,00	60,80
	Titik Uji 2	55,26	55,05	60,90	
	Titik Uji 3	52,81	56,87	61,60	



Gambar 11. Histogram Kekerasan Variasi Saluran Turun

Hasil analisis kekerasan *Vickers* menunjukkan bahwa bentuk penampang saluran turun secara signifikan mempengaruhi kekerasan hasil coran alumunium. Berdasarkan Gambar 11, saluran turun berbentuk persegi menghasilkan nilai kekerasan tertinggi (66,80 VHN), diikuti oleh saluran turun berbentuk lingkaran (60,80 VHN), dan terendah pada saluran turun berbentuk segitiga (54,20 VHN).

Perbedaan nilai kekerasan ini dapat dijelaskan oleh pengaruh kecepatan penuangan dan waktu pembekuan. Bentuk penampang saluran turun yang berbeda akan menghasilkan kecepatan aliran logam cair yang berbeda pula. Saluran turun berbentuk persegi, dengan sedikit penyempitan dinding memungkinkan aliran logam cair yang lebih lancar dan cepat. Hal ini mengakibatkan waktu pembekuan yang lebih singkat dan struktur mikro yang lebih merata, sehingga menghasilkan nilai kekerasan yang lebih tinggi.

Sebaliknya, saluran turun berbentuk segitiga, dengan dinding yang menyempit, menyebabkan hambatan aliran logam cair. Pada saluran turun lingkaran tidak adanya lekukan pada bentuknya memungkinkan aliran logam bergerak memutar dan menyebabkan hambatan pada aliran logam cair. Hal ini memperlambat proses penuangan dan pembekuan, serta meningkatkan turbulensi aliran. Turbulensi yang tinggi dapat menyebabkan pembentukan struktur mikro yang lebih kasar dan cacat pada hasil coran, sehingga menurunkan nilai kekerasan.

4 PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian penelitian dan analisa yang telah dilakukan, terdapat kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil analisis komposisi kimia, sampel yang diteliti didominasi oleh unsur alumunium (Al) sebesar 97,18%. Adanya unsur-unsur paduan seperti silikon (Si) 0,735%, besi (Fe) 0,755%, tembaga (Cu) 0,287%, dan magnesium (Mg) 0,777% dalam jumlah yang lebih kecil mengindikasikan bahwa sampel ini merupakan paduan alumunium. Unsur-unsur paduan ini umumnya ditambahkan pada alumunium murni untuk meningkatkan sifat mekanik, seperti kekuatan, keuletan, dan ketahanan korosi.
2. Hasil pengujian penyusutan, bentuk penampang saluran turun memberikan pengaruh yang signifikan terhadap tingkat penyusutan pada hasil coran alumunium. Saluran turun segitiga menghasilkan persentase penyusutan tertinggi sebesar 3,76%, diikuti oleh saluran turun lingkaran sebesar 2,49%, dan terendah pada saluran turun persegi sebesar 1,80%. Hal ini menunjukkan bahwa saluran turun dengan bentuk yang lebih kompleks dan memiliki penyempitan dinding seperti segitiga, cenderung menyebabkan turbulensi aliran logam cair yang lebih tinggi dan terperangkapnya gas hidrogen, sehingga meningkatkan tingkat penyusutan.
3. Hasil pengujian penyimpangan, dapat disimpulkan bahwa bentuk saluran turun memiliki pengaruh yang signifikan terhadap tingkat penyimpangan pada hasil coran alumunium. Saluran turun segitiga dengan penyempitan dinding yang tajam menghasilkan tingkat penyimpangan yang paling tinggi, mencapai 14,42%. Hal ini mengindikasikan bahwa bentuk saluran turun yang kompleks dan tidak teratur dapat menyebabkan aliran logam cair menjadi turbulen dan tidak stabil, sehingga meningkatkan kemungkinan terjadinya penyimpangan. Sebaliknya, saluran turun berbentuk lingkaran dan persegi menghasilkan penyimpangan yang lebih rendah, sebesar 13,87% dan 11,93%, menunjukkan bahwa bentuk yang lebih sederhana dapat menghasilkan aliran yang lebih stabil dan mengurangi risiko terjadinya penyimpangan.
4. Berdasarkan hasil pengujian *density* yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa bentuk saluran turun memiliki pengaruh signifikan terhadap densitas material hasil pengecoran. Dari ketiga bentuk saluran turun yang diuji (persegi, segitiga, dan lingkaran), saluran turun persegi menghasilkan densitas tertinggi sebesar 4,18 g/cm³. Hal ini mengindikasikan bahwa partikel-partikel dalam material yang dicetak menggunakan saluran turun persegi tersusun lebih rapat dibandingkan

dengan material yang dicetak menggunakan saluran turun segitiga ($3,10 \text{ g/cm}^3$) maupun lingkaran ($3,23 \text{ g/cm}^3$).

5. Hasil analisis struktur mikro menunjukkan bahwa bentuk saluran turun memiliki pengaruh yang signifikan terhadap struktur mikro dan sifat mekanik hasil coran alumunium. Sampel dengan saluran turun persegi memiliki distribusi butir yang lebih seragam dibandingkan dengan sampel saluran turun segitiga dan lingkaran. Struktur mikro yang lebih baik ini berkorelasi dengan nilai kekerasan yang lebih tinggi. Perbedaan struktur mikro ini dapat dijelaskan oleh perbedaan laju pendinginan dan tingkat turbulensi aliran logam cair akibat bentuk saluran turun yang berbeda. Turbulensi aliran pada saluran turun segitiga dan lingkaran menyebabkan terperangkapnya gas pada saat proses pengecoran, sedangkan aliran yang lebih laminar pada saluran turun persegi meminimalkan pembentukan cacat. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pemilihan bentuk saluran turun yang tepat dapat secara signifikan meningkatkan kualitas hasil coran alumunium.
6. Hasil analisis kekerasan *vickers* menunjukkan bahwa bentuk penampang saluran turun secara signifikan mempengaruhi kekerasan hasil coran alumunium. Saluran turun berbentuk persegi menghasilkan nilai kekerasan tertinggi sebesar 66,80 VHN, diikuti oleh saluran turun berbentuk lingkaran (60,80 VHN), dan terendah pada saluran turun berbentuk segitiga (54,20 VHN). Perbedaan nilai kekerasan ini dapat dikaitkan dengan struktur mikro yang lebih seragam pada sampel dengan saluran turun persegi, yang dihasilkan oleh aliran logam yang lebih lancar dan waktu pembekuan yang lebih singkat. Oleh karena itu, untuk mendapatkan hasil coran alumunium dengan kekerasan yang tinggi dan sifat mekanik yang lebih baik, disarankan untuk menggunakan saluran turun berbentuk persegi

4.2 Saran

Setelah melakukan penelitian ini, beberapa saran diberikan, diantaranya sebagai berikut:

1. Melakukan eksperimen dengan berbagai komposisi *ceramic slurry* untuk mendapatkan viskositas, kekuatan, dan daya rekat yang optimal.
2. Melakukan penelitian *investment casting* terhadap pengaruh suhu ruangan.
3. Mempelajari pengaruh waktu pencelupan pola dalam *ceramic slurry* terhadap ketebalan lapisan dan kualitas permukaan produk akhir.

DAFTAR PUSTAKA

- Adri and Masnur, D. (2016) 'Studi kekasaran permukaan produk investment casting alumunium minuman kaleng bekas dengan parameter temperatur tuang dan ukuran butir lempung', *Journal Online Mahasiswa*, 3(1), pp. 1–6.
- Anggoro, K. and Angga Negoro, D. (2023) 'Kanban Digital dan Real-Time Repoting Untuk Production Planing Control', *Cakrawala Repositori IMWI*, 6(1), pp. 75–84. Available at: <https://doi.org/10.52851/cakrawala.v6i1.183>.
- ASTM E18-02 (2005) 'Standard test methods for rockwell hardness and rockwell superficial hardness of metallic materials', *Annual Book of ASTM Standards*, 01, pp. 1–15.
- Astra (2022) 'Politeknik astra', 13(2), pp. 81–87.
- Avner Sidney., H. (1974) *Introduction to Physical Metallurgy*, McGraw Hill Book Company, Tokyo.
- Bañez-Coronel, M. *et al.* (2018) 'No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における健康関連指標に関する共分散構造分析Title', *Current Neurology and Neuroscience Reports*, 1(1), pp. iii–vii. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jns.2018.09.022><http://dx.doi.org/10.1016/j.ejphar.2009.04.058><http://dx.doi.org/10.1016/j.brainres.2015.10.001><http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=2854659&tool=pmcentrez&rendertype=abstract><http://w>.
- Bashoruddin, M. and Nasution, A.H. (2022) 'Pengaruh Kuat Arus Pada Kekuatan Tarik Alumunium 6061 Dengan Pengelasan Tungsten Inert Gas (Tig)', *Piston*, 7(1), pp. 20–28.
- Bemblage, O. and Karunakar, D.B. (2011) 'A study on the blended wax patterns in investment casting process', *Proceedings of the World Congress on Engineering 2011, WCE 2011*, 1(December), pp. 721–727.
- Bhirawa, W.T. *et al.* (2013) 'Proses Pengecoran Logam Dengan Menggunakan Sand Casting', *Jurnal Teknik Industri*, 4(1), pp. 31–41. Available at: <https://doi.org/10.35968/jtin.v4i1.826>.
- Callister Jr, W.D. and Rethwisch, D.G. (2003) *Characteristics, Application, and Processing of Polymers, Materials Science and Engineering - An Introduction*.
- Djiwo, S. and Purkuncoro, A.E. (2014) 'PADUAN Cu PADA PROSES PENGECORAN

- DENGAN', 9(1), pp. 38–47. Available at: http://www.academia.edu/download/35530458/JURNAL_FLY_WHEEL_Analisis_2014.pdf.
- Erico, N. (2019) 'Pengaruh Penambahan SiC untuk Peningkatan Kekerasan Material Alumunium', *Teknik*, 15(4), pp. 31–39.
- Al Hakim, R.A.N. and Purwanto, D. (2021) 'Pengukuran Dimensi Komponen Artificial Hip Joint Hasil Investment Casting Menggunakan Material Aisi 316L', *Media Mesin: Majalah Teknik Mesin*, 22(1), pp. 22–30. Available at: <https://doi.org/10.23917/mesin.v22i1.12560>.
- Haq, G.S. Al and Partono, S.T.P. (2017) 'Pengaruh Variasi Bentuk Geometri Saluran Turun (Sprue) Terhadap Hasil Coran Alumunium (AL) Dengan Cetakan RCS (Resin Coated Sand)'. Available at: https://eprints.ums.ac.id/id/eprint/56433%0Ahttps://eprints.ums.ac.id/56433/13/NA_SKAH_PUBLIKASI2.pdf.
- Hardi Sudjana (2007) *TEKNIK PENGEKORAN*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Departemen Pendidikan Nasional.
- Joska, L. *et al.* (2010) 'Corrosion behaviour of TiN and ZrN in the environment containing fluoride ions', *Biomedical Materials*, 5(5). Available at: <https://doi.org/10.1088/1748-6041/5/5/054108>.
- khoerul ummah (2022) 'No Title', *הארץ*, 'הכי קשה לראות את מה שבאמת לנגד העיניים', (8.5.2017), pp. 2003–2005.
- Khristyson, S.F., Sulaiman, S. and Prahasti, R. (2020) 'Analisa Investment Casting Perannya untuk Reparasi Towing Beam Kapal Tunda dengan Metode Elemen Hingga', *Jurnal Rekayasa Mesin*, 15(2), p. 154. Available at: <https://doi.org/10.32497/jrm.v15i2.1764>.
- Majanasastra, R.B.S. (no date) 'ANALISIS SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO HASIL PROSES HYDROFORMING PADA MATERIAL TEMBAGA (Cu) C84800 DAN ALUMUNIUM Al 6063', 4(2), pp. 15–30.
- Malisy, S. (2018) 'Pengaruh Kecepatan Putaran Roll terhadap Nilai Kekuatan Uji Tarik dari Penggabungan 2 Pelat A1100 dan A6061 pada Proses Hot Roll Bonding'.
- Masy'ari, M., Prasetyo, A.D. and Karyadi, E. (2021) 'Pembuatan prototipe Alumunium cylinder head engine dengan metode rapid prototyping dan investment casting',

- Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 10(1), pp. 142–151. Available at: <https://doi.org/10.24127/trb.v10i1.1519>.
- Maulana, D.H. (2023) ‘Pengaruh Penambahan Fly Ash Terhadap Densitas Bata Ringan’, *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952., pp. 2013–2015.
- Muslim, M.J. *et al.* (2015) ‘Studi eksperimental pengaruh tembaga terhadap kuat tarik baja’, *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 4(Nomor 4, Tahun 2015), pp. 371–379.
- O’on kurniawan, umar wiwi (2014) ‘DENGAN METODE SIX SIGMA O ’ on Kurniawan Umar Wiwi Abstrak’, pp. 73–82.
- Ramadhika Dwi Poetra (2019) ‘BAB II Tinjauan Pustaka BAB II TINJAUAN PUSTAKA 2.1. 1–64’, *Gastronomía ecuatoriana y turismo local.*, 1(69), pp. 5–24.
- Respati, S.M.B. (2008) ‘MACAM-MACAM MIKROSKOP DAN CARA PENGGUNAAN’, *MOMENTUM*, 4(2), pp. 42–44.
- Rochman, R., Hariyati, P. and Purbo, C. (2010) ‘Karakterisasi Sifat Mekanik Dan Pembentukan Fasa Presipitat Pada Alumunium Alloy 2024-T 81 Akibat Perlakuan Penuaan’, *Mekanika*, 8(2), pp. 165–171.
- Rochmat, M.F. *et al.* (2022) ‘Pengaruh Penambahan Unsur Magnesium Terhadap Sifat Mekanis’, *Jurnal Teknik Mesin S-1*, 10(1), pp. 31–36.
- Roziqin (2017) ‘Pengaruh Model Sistem Saluran Pada Proses Pengecoran Alumunium Daur Ulang Terhadap Struktur Mikro Dan Kekerasan’, *Teknik Mesin Universitas Wahid Hasyim*, 8(1), pp. 33–39.
- Rundman, K.B. (2000) ‘Metal Casting (Reference Book for MY4130)’, pp. 1–154.
- Simanjuntak, J.G. *et al.* (2011) ‘Cacat Produk Coran Komponen Peralatan Pabrik Design of Gating System and Feeder for Minimization Factory Equipment Components’, pp. 10–17.
- Slamet, S., Setiawan, I.A. and Winarso, R. (2023) ‘KARAKTERISASI SIFAT MEKANIS PADUAN ALUMUNIMUM DARI DAUR ULANG VELG UNTUK PRODUK TRUCK SKATEBOARD’, 6(2), pp. 37–44.
- Sriwahyudi, E., Kusharjanta, B. and Purwo, W. (2014) ‘Pengaruh Bentuk Saluran Turun (Sprue) Terhadap Cacat Porositas Dan Nilai Kekerasan Pada Pengecoran Alumunium Menggunakan Metode Lost Foam Casting’, *Mekanika*, 13(1), pp. 43–50.
- Study, C. and Hardness, O. (2017) ‘6Wxgl 8Ml .Hnhudvdq 5Rfnzhoo 6Xshuilfldo 96 0Lfur 9Lfnhuv’, 2(2).

- Sugeng, U.M. and Fato, A. (2020) 'Analisa Mekanis Baja Pada Bahan Spcc-Hd Dengan Proses Deep Drawing Dalam Pembuatan Drum', *Presisi*, 22(2), pp. 75–81.
- Sugiyono (2016) 'Metode Penelitian Yang Harus Di Pelajari Oleh Peneliti', *Sugiono*, pp. 100–104.
- Surdia, T. and Saito, S. (1985) 'Pengetahuan Bahan Teknik'.
- Susanto, J. *et al.* (2016) 'Analisa Pengaruh Variasi Media Pendingin Dan Waktu Aging Pada Perlakuan Panas T6 Terhadap Struktur Mikro', *Jurnal Hasil Penelitian LPPM Untag Surabaya*, 01(02), pp. 227–238.
- Susilowati, S.E. and Permana, S. (2020) 'Pengaruh Bentuk Sprue Well Pada Gating System Terhadap Aliran Fluida Logam Dan Nilai Kekerasan Pada Pengecoran Alumunium Daur Ulang Menggunakan Sand Casting', *Jurnal Kajian Teknik Mesin*, 5(2), pp. 104–115. Available at: <https://doi.org/10.52447/jktm.v5i2.4186>.
- Syarif, A. and Asiri, M.H. (2018) 'Analisis Kekuatan Mekanis Hasil Pengecoran Evaporativ terhadap Variasi Densitas Lost Foam', *Teknologi*, 19(1), pp. 39–43.
- Tjitro, S. (2013) 'Pengaruh Bentuk Riser Terhadap Cacat Penyusutan Produk Cor Alumunium Cetakan Pasir (Soejono Tjitro)', *Dosen Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Mesin*, pp. 41–46. Available at: <http://puslit.petra.ac.id/journals/mechanical/41>.
- Tupan, J.M. (2012) 'Perbaikan Toleransi Ukuran Diameter Inti Produk Shoulder Clamp Dengan Mempertimbangkan Kapabilitas Proses Pengecoran', *Arika*, 6(1), pp. 57–66.
- Zulkifli, Jamaluddin, M.S. and Putri, B.N.A.A. (2019) 'Pembuatan Alat Hot Mounting Untuk Spesimen Metalografi'.