

PENGARUH VARIASI LUAS PENAMPANG *IN-GATE* PADA PENGECORAN LOGAM ALUMINIUM TERHADAP PENYUSUTAN, *DENSITY*, KEKERASAN, DAN STRUKTUR MIKRO DENGAN METODE *INVESTMENT CASTING*

Muhamad Nur Ihsanudin, Patna Partono
Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta

Abstrak

Pengecoran merupakan proses manufaktur yang digunakan untuk membuat benda atau komponen dengan menuangkan bahan cair (biasanya logam) ke dalam cetakan yang telah dibentuk maka logam yang akan digunakan yaitu aluminium. Aluminium merupakan logam ringan yang mempunyai ketahanan korosi yang baik dan hantaran listrik yang baik dan sifat-sifat yang baik lainnya sebagai sifat logam. Investment casting memiliki keunggulan seperti kepresisian yang cukup tinggi dan dapat membuat produk dengan tingkat ketelitian yang cukup tinggi namun, cacat coran bisa saja terjadi salah satunya disebabkan karena saluran masuk. Saluran masuk (*In gate*) adalah saluran yang menghubungkan saluran turun dengan rongga cetakan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi luas penampang terhadap komposisi kimia, penyusutan, penyimpangan, density, struktur mikro dan kekerasan. Metode penelitian yang akan digunakan adalah pengecoran investment casting dengan variasi luas penampang 100 mm², 150 mm², 200 mm² serta melakukan pengujian komposisi kimia, penyusutan, penyimpangan, density, struktur mikro, dan kekerasan. Hasil analisis komposisi kimia, sampel yang diteliti didominasi oleh unsur Aluminium (Al) 97,18. Adanya unsur-unsur paduan seperti silicon (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 luas penampang *in gate* 100 mm² sebesar 3,61 %, diikuti luas penampang *in gate* 150 mm² sebesar 2,81%, dan terendah pada luas penampang *in gate* 200 mm² sebesar 1,82%. Pengujian density menghasilkan data density tertinggi yaitu 3,53 g/m³ dengan luas penampang *in gate* 150 mm² dan pada pengujian struktur mikro luas penampang *in gate* 150 mm² memiliki butiran yang merata dibanding luas penampang *in gate* 100 mm² dan 200 mm² sehingga luas penampang *in gate* 150 mm² menghasilkan nilai kekerasan yang paling tinggi dengan 84,4 VHN diikuti dengan luas penampang *in gate* 100 mm² dan 200 mm² dengan 76,1 VHN dan 76,5 VHN..

Kata Kunci: *Investment Casting*, Aluminium, Saluran masuk (*In gate*), Penyusutan, *Density*, Struktur Mikro, Kekerasan

Abstract

Casting is a manufacturing process used to make objects or components by pouring liquid material (usually metal) into a mold that has been formed, then the metal that will be used is aluminum. Aluminum is a lightweight metal that has good corrosion resistance and good electrical conductivity and other good properties as metal properties. Investment casting has advantages such as high precision and can make products with a high level of accuracy, however, casting defects can occur, one of which is due to the inlet channel. The inlet channel (*In gate*) is a channel that connects the down channel with the mold cavity. The purpose of this study was to determine the effect of variations in cross-

sectional area on chemical composition, shrinkage, deviation, density, microstructure and hardness. The research method that will be used is investment casting with variations in cross-sectional area of 100 mm², 150 mm², 200 mm² and conducting tests on chemical composition, shrinkage, deviation, density, microstructure, and hardness. The results of the chemical composition analysis, the samples studied were 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 indicates that this sample is an aluminum alloy. The highest average shrinkage results were found in the in gate cross-sectional area of 100 mm² of 3.61%, followed by the in gate cross-sectional area of 150 mm² of 2.81%, and the lowest in the in gate cross-sectional area of 200 mm² of 1.82%. Density testing produced the highest density data, namely 3.53 g / m³ with an in gate cross-sectional area of 150 mm² and in the microstructure test, the in gate cross-sectional area of 150 mm² had even grains compared to the in gate cross-sectional areas of 100 mm² and 200 mm² so that the in gate cross-sectional area of 150 mm² produced the highest hardness value with 84.4 VHN followed by the in gate cross-sectional area of 100 mm² and 200 mm² with 76,1 VHN and 76.5 VHN.

Keywords: Investment Casting, Aluminum, Inlet (In gate), Shrinkage, Density, Microstructure, Hardness

1. PENDAHULUAN

Dalam industri manufaktur pengecoran adalah teknik yang esensial karena memungkinkan pembuatan komponen dengan bentuk yang kompleks dan ukuran yang bervariasi, serta material yang memiliki sifat mekanis yang diinginkan. Pengecoran adalah proses manufaktur yang digunakan untuk membuat benda atau komponen dengan menuangkan bahan cair (biasanya logam) ke dalam cetakan yang telah dibentuk sesuai dengan desain produk yang diinginkan. Proses ini digunakan secara luas dalam berbagai industri, seperti otomotif, kedirgantaraan, konstruksi, dan manufaktur alat berat.

Salah satu metode untuk pembuatan produk dengan bahan cor atau casting adalah dengan investment casting. Pengertian dari metode investment casting sendiri merupakan suatu teknologi pengecoran dengan kualitas produk yang baik seperti kepresisian yang cukup tinggi dan dapat membuat produk dengan tingkat ketelitian yang cukup tinggi. Seperti contoh produk yang mampu diterapkan dengan metode investment casting ini cakupannya cukup banyak diantaranya mulai dari industri bidang kesehatan, pertanian, tekstil, senjata, elektronik, otomotif, perkapalan, penerbangan, militer dan komponen listrik yang sangat dibutuhkan Indonesia (Khristyson. dkk 2020).

Proses Investment Casting memiliki kelebihan yaitu cocok untuk memproduksi parts dengan desain yang kompleks, sedangkan proses lain terlalu lama dan / atau mahal

atau tidak ada flash atau garis perpisahan. Jika tidak, teknologi casting investasi dan akurasi dimensi yang lebih sederhana lebih baik dari proses lainnya. Namun, casting investasi memiliki kelemahan dalam hal ini proses membutuhkan waktu siklus produksi yang lebih lama daripada proses lainnya (Diamond, 1965).

Alumunium merupakan logam ringan mempunyai ketahanan korosi yang baik dan hantaran listrik yang baik dan sifat-sifat yang baik lainnya sebagai sifat logam sebagai tambahan terhadap, kekuatan mekaniknya yang sangat meningkat dengan penambahan Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni, dsb, secara satu persatu atau bersama-sama, memberikan juga sifat-sifat baik lainnya seperti ketahanan korosi, ketahanan aus, koefisien pemuaian rendah dsb. Material ini dipergunakan di dalam bidang yang luas bukan saja untuk peralatan rumah tangga tapi juga dipakai untuk keperluan material pesawat terbang, mobil, kapal laut, kontruksi dsb (Surdia, 2013).

Cacat coran tersebut dipengaruhi oleh banyak hal salah satunya adalah desain sistem saluran yang kurang baik. Sistem saluran pada cetakan meliputi cawang tuan, saluran turun (*sprue*), dan atau waduk, saluran pengalir (*runner*), saluran penambah (*riser*), dan saluran masuk (*In-gate*) (Tjitro, 2003).

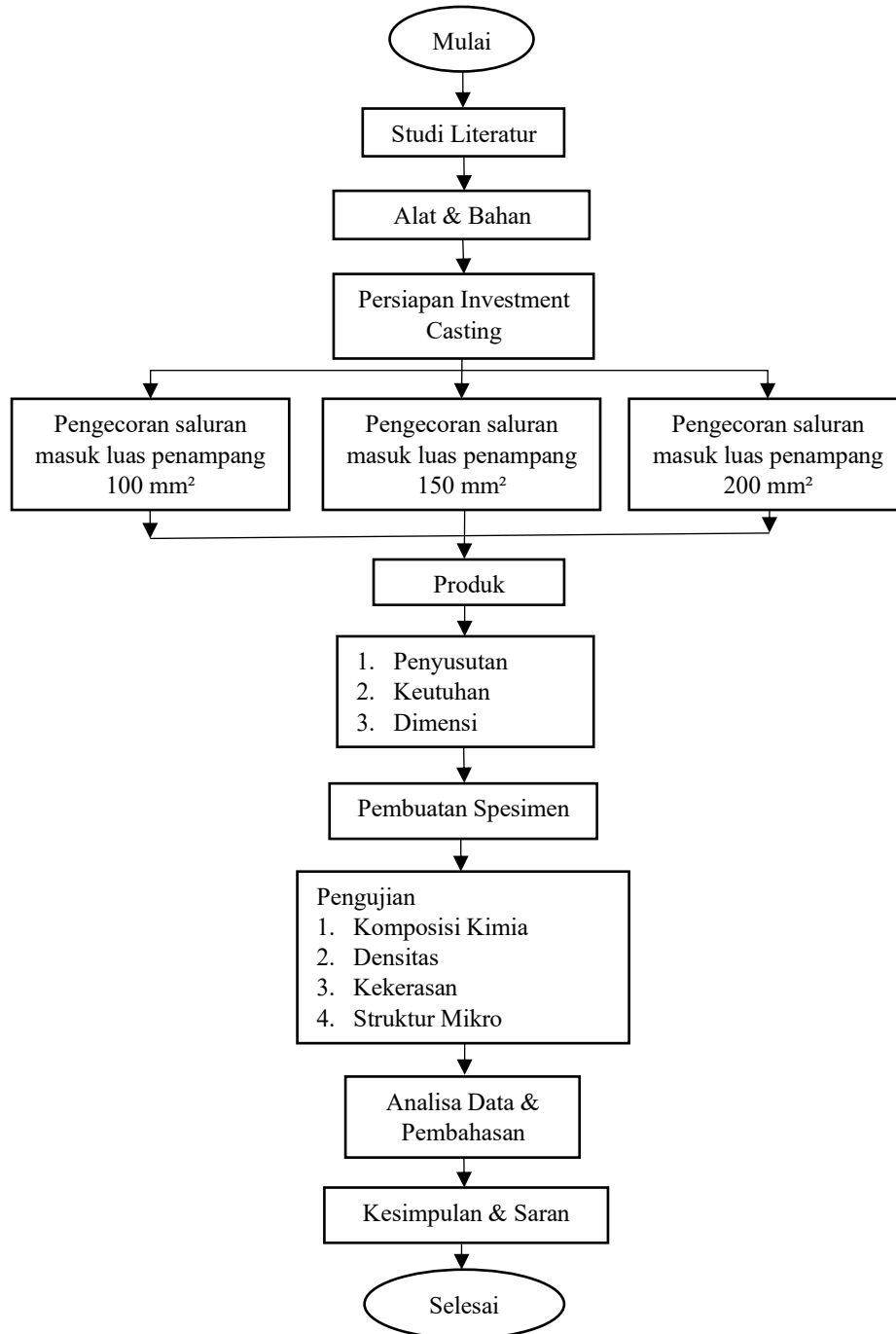
Saluran masuk adalah saluran yang menghubungkan saluran turun dengan rongga cetakan, saluran masuk dibuat berukuran kecil agar dapat mencegah kotoran masuk kedalam rongga cetakan. Bentuk irisan biasanya berbentuk bujur sangkar, trapezium, segitiga atau setengah lingkaran, yang membesar kearah rongga cetaka untuk mencegah terkikisnya cetakan. Kadang-kadang irisanya diperkecil di tengah dan diperbesar lagi kearah rongga. Pada pembongkaran saluran turun, irisan terkecil ini mudah diputuskan sehingga mencegah kerusakan pada coran (Surdia, T & Chijwa. K 1996).

Berdasarkan latar belakang di atas maka penulis akan melakukan pengujian dengan judul “Pengaruh Variasi Luas Penampang *In-Gate* Pada Pengecoran Logam Alumunium Terhadap Penyusutan, Density, Kekerasan dan Struktur Mikro Dengan Metode Investment Casting”. Untuk mengetahui secara lengkap Pengaruh Variasi Luas Penampang *In-Gate* terhadap penyusutan, density, kekerasan dan struktur mikro.

2. METODE

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Suarakarta untuk proses pengecoran, pengujian spesimen berupa pengujian penyusutan, densitas dan struktur mikro; Laboratorium Teknik Mesin Universitas Sebelas Maret

(UNS) untuk pengujian spesimen berupa pengujian kekerasan dengan metode *vickers* dan Politeknik Manufaktur Ceper untuk pengujian spesimen berupa 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 Perencanaan Desain

Spesimen dibagi menjadi 3 variasi yaitu (*Ingate*) mm, (*Ingate*) mm, (*Ingate*) mm.

2.1.2 Proses *Investment Casting*

1. Menyiapkan tungku, gas yang telah dipasang regulator untuk peleburan lilin dan alumunium.
2. Menyiapkan lilin yang akan digunakan untuk membuat pola lilin.
3. Memasukkan lilin ke tungku untuk proses peleburan lilin
4. Membuat cetakan yang terbuat dari pasir dengan 3 variasi yang telah ditentukan
5. Menuangkan lilin yang telah dileburkan ke dalam cetakan pasir yang telah dibuat serta ditaburi serbuk batu kapur
6. Menunggu beberapa menit hingga lilin yang sudah terbentuk menjadi kering atau keras dan menjadi dingin.
7. Melapisi lilin dengan gypsum yang sudah dicampur air
8. Melelehkan lilin yang sudah dilapisi gypsum dengan cara dipanaskan ditungku
9. Menyiapkan alumunium yang akan digunakan
10. Memasukkan alumunium ke dalam tungku untuk proses peleburan alumunium
11. Menuangkan alumunium yang telah dileburkan ke dalam cetakan gypsum
12. Menunggu alumunium cair menjadi kering atau keras dan menjadi dingin
13. Menghancurkan cetakan gypsum
14. Produk sudah jadi dan siap untuk penelitian

2.1.3 Pengujian Komposisi Kimia

1. Menyiapkan sampel hingga bersih dan permukaan kering
2. Memastikan sampel tidak tersentuh setelah persiapan sampel
3. Memastikan sampel tidak saling tumpang tindih
4. Membuka katup utama tabung kemudian buka katup regulator
5. Mengatur tekanan argon untuk 3 bar lalu pastikan tekanan tabung harus lebih dari 5 bar apabila kurang dari 5 bar ganti tabung tersebut.
6. Membuka cover stand lalu lepaskan penutup selang warna merah
7. Menghidupkan *UPS/stabilizer*
8. Menghidupkan *main switch*

9. Menyalakan komputer tunggu sampai tampilan windows 10 muncul, lalu klik dua kali pada ikon *Elementas Suite ES Analisis*.
10. Melakukan purging yaitu membiarkan alat tersebut hidup dengan gas argon mengalir selama kurang lebih 1 jam.
11. Mengklik ikon *activated method*, lalu pilih *base* dan *methods* yang akan digunakan.
12. Menempatkan sampel pada *table* tempat spark dan pastikan lubang *spark* sepenuhnya tertutup.
13. Memutar clamp sample lalu turunkan diatas sample yang akan dianalisa.
14. Memeriksa tampilan posisi *sample* di *monitor waiting for start* yang berarti terhubung dan siap untuk dilakukan analisa.
15. Mengklik *workflow* menu lalu klik *maintenance*.
16. Menempatkan sample RE 12 yang telah digerinda pada table analisa, lalu klik start atau keyboard F2 atau tombol on didepan alat.
17. Mengecek indicator sampai menunjukkan warna hijau lalu klik *complete* jika berwarna bisa lakukan *measure again* atau dilakukan *purging* lagi, jika masih merah sample harus digerinda lagi.
18. Melakukan verifikasi data dengan tes *control sample spark* minimal 2 kali dengan menempatkan sample dengan posisi berubah-ubah.
19. Mengklik ikon *report analysis* untuk mencetak ke printer langsung dan simpan hasil dengan format pdf.
20. Mengklik *complete analysis* atau *reject analysis* untuk menghapus tampilan hasil analisa tersebut

2.1.4 Pengujian Penyusutan

1. Menyiapkan produk yang akan diuji
2. Mengukur volume benda pola
3. Mengukur benda produk
4. Berikut perhitungan persamaan 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 (mm³)

V Produk = Volume benda produk (mm³)

2.1.5 Pengujian Penyimpangan

1. Menyiapkan produk yang akan diuji.
2. Mengukur volume benda pola.
3. Mengukur benda produk.
4. Berikut perhitungan persamaan persentase penyusutan

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

Dimana:

S = Presentase Penyusutan

V asli = Volume benda asli (cm³)

V Produk = Volume benda produk (cm³)

2.1.6 Pengujian *Density*

1. Menyiapkan produk yang akan diuji
2. Mengukur massa produk cor.
3. Mengukur volume produk cor.
4. Mengukur nilai *density*.

Berikut perhitungan persamaan *density*:

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

Dimana:

ρ = Densitas ($\frac{kg}{m^3}$)

m = Massa (Kg)

v = Volume (m³)

2.1.7 Pengujian Metalografi (Mikroskop Optik)

1. Menyiapkan perlengkapan pengujian.
2. Meletakkan spesimen uji di meja area pengamatan.
3. Mengatur lensa perbesaran sesuai yang akan digunakan.
4. Mengatur fokus lensa dan kamera dengan memutar tombol pada panel kontrol.

2.1.8 Pengujian Kekerasan

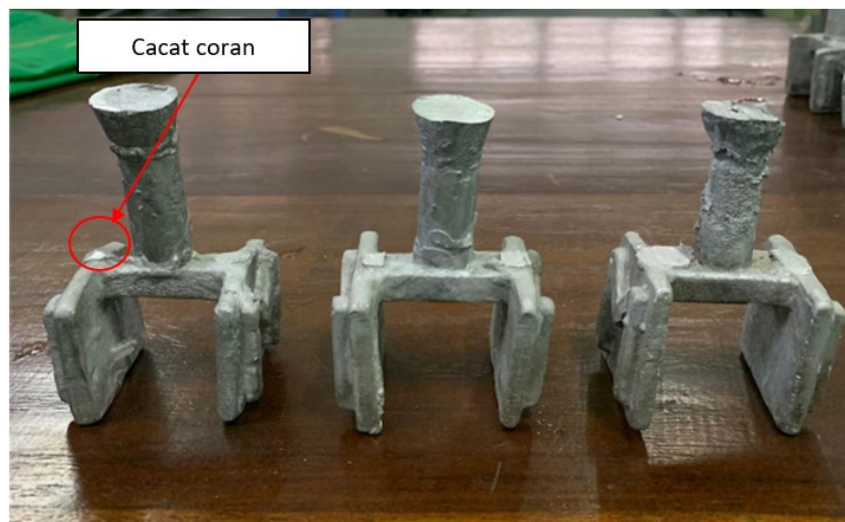
1. Menyiapkan benda kerja yang sudah rata kedua permukaannya dan sudah dipoles dengan autosol.
2. Menghidupkan alat uji *Vickers* dan monitor.

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 terlibat 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 Hasil dan Analisa Pengamatan Produk Cor

Pengamatan ini dilakukan untuk menilai bentuk produk coran sesuai dengan cetakan desain pola yang telah dibuat. Pohon pola diberikan lapisan dari *ceramic slurry*, yang terbuat dari campuran *gypsum* dan serbuk alumina yang dicampur dengan air, serta proses pembekuan aluminium, sangat mempengaruhi hasil akhir produk. Jika cetakan dibuat dengan baik dan proses pembekuan bisa dilakukan secara maksimal, produk coran yang dihasilkan akan memenuhi spesifikasi yang diinginkan. Sebaliknya, produk yang tidak sesuai spesifikasi akan dikembalikan ke tungku untuk dilebur ulang. Berikut gambar 2. hasil produk pengecoran.



Gambar 2. Pengamatan Keutuhan Produk Cor

Dari gambar 2. dapat diketahui keutuhan produk yang maksimal pada luas penampang *in-gate* 150 mm² dan luas penampang *in-gate* 200 mm². Sedangkan luas penampang *in-gate* 100 mm² terdapat cacat coran yang diakibatkan turbulensi yang tinggi sehingga logam cair tidak dapat memenuhi secara menyeluruh ke cetakan coran.

Luas penampang *in-gate* sangat berpengaruh terhadap keutuhan produk. Selain mengakibatkan tingginya turbulensi yang terjadi, luas penampang *in-gate* berpengaruh pada laju aliran logam. Semakin luas *in-gate* yang dibuat maka semakin lama pembekuan logam cair sehingga logam cair dapat menyebar merata keseluruh cetakan gypsum. Pada luas penampang *in-gate* 100 mm² memiliki cacat coran yang paling tinggi, dikarenakan turbulensi yang terjadi ketika logam cair melaju dari cawang tuang menuju rongga cetakan produk menimbulkan aliran yang tak beraturan dan juga kurang besarnya luas penampang *in-gate* sehingga terjadi pembekuan logam cair yg lebih cepat. Pada luas penampang *in-gate* 150 mm² dan 200 mm² memiliki cacat coran yang paling sedikit dikarenakan luas penampang *in-gate* yang lumayan luas sehingga logam cair dapat menyebar merata keseluruh cetakan gypsum.

3.2 Hasil dan Analisa Pengujian Komposisi Kimia

Pengujian komposisi kimia ini bertujuan untuk mengetahui komposisi unsur-unsur kimia yang terkandung dalam produk cor. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Politeknik Manufaktur Ceper menggunakan alat Uji Spektrometer dengan standar ASTM E 415-08. Komposisi kimia diuji pada bahan alumunium sebesar 180 gram.

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

No	Kandungan Unsur	Komposisi Kimia (% berat)
20	Ca	0,0060
21	Li	<0,300
22	<u>Al</u>	<u>97,18</u>

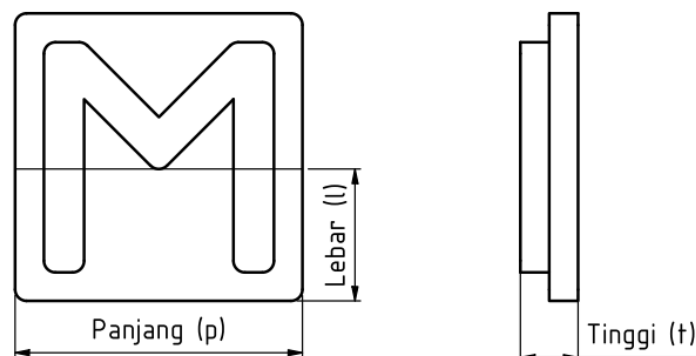
Dari hasil analisis komposisi kimia menunjukkan bahwa terdapat 22 unsur, unsur dominan terdiri dari aluminium (Al) 97,18%. Adanya unsur-unsur seperti silikon (Si) 0,735%, besi (Fe) 0,755%, tembaga (Cu) 0,287%, dan magnesium (Mg) 0,777% dalam jumlah yang lebih kecil mengindikasikan bahwa sampel ini merupakan paduan aluminium. Unsur-unsur paduan ini umumnya ditambahkan untuk meningkatkan sifat mekanik, seperti kekuatan dan keuletan.

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.

Adanya unsur-unsur dalam jumlah kecil, seperti mangan (Mn), krom (Cr), dan nikel (Ni), mungkin berasal dari proses produksi atau kontaminasi dari bahan baku. Unsur-unsur ini dapat memberikan pengaruh kecil terhadap sifat material.

3.3 Hasil dan Analisa Pengujian Penyusutan

Pengujian penyusutan untuk mengetahui tingkat penyusutan yang terjadi pada material coran serta faktor-faktor yang mempengaruhinya. Pengujian penyusutan dilakukan dengan menggunakan metode pengukuran langsung pada spesimen coran. Spesimen yang telah dicetak kemudian didinginkan dan diukur dimensinya untuk mengetahui perubahan ukuran yang telah terjadi.

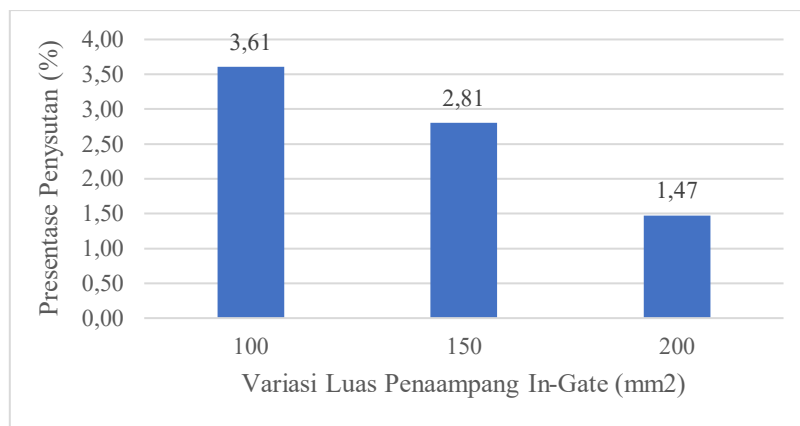


Gambar 3. Spesimen Pengujian Penyusutan

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

Tabel 2. Hasil Pengujian Penyusutan

Variasi Luas Penampang <i>In-Gate</i> (mm ²)	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)			
100	49,44	22,42	9,86	48,72	22,20	9,74	10929,27	10534,63	3,61
150	49,86	22,92	9,88	48,97	22,89	9,79	11290,78	10973,84	2,81
200	50,00	22,88	9,95	49,80	22,76	9,86	11382,80	11175,80	1,82



Gambar 4. Histogram Penyusutan

Pada hasil pengujian penyusutan terdapat hasil nilai pada spesimen 1 dengan variasi luas penampang *in gate* 100 mm² menghasilkan presentase penyusutan sebesar 3,61 %, pada spesimen 2 variasi luas penampang *in gate* 150 mm² menghasilkan presentase penyusutan 2,81 %, pada spesimen 3 variasi luas penampang *in gate* 200 mm² menghasilkan presentase penyusutan sebesar 1,82 %. Berdasarkan data diatas, semakin kecil luas penampang *in gate* pada proses pengecoran logam dengan metode investment casting presentase penyusutan yang dihasilkan maka semakin rendah dari spesimen dengan luas 200 mm², 150 mm², dan 100 mm². Dengan data yang dihasilkan diatas dapat disimpulkan bahwa *in gate* yang luasnya paling rendah dengan luas penampang 100 mm² menyebabkan pendinginan lebih cepat karena logam cair kehilangan lebih banyak panas sebelum mencapai cetakan. Ketika logam mulai mendingin lebih awal penyusutan akan terjadi lebih cepat, yang bisa menyebabkan penyusutan tak terkontrol di sepanjang bagian pengecoran. Selain itu pengaruh luas penampang *in gate* membuat aliran alumunium yang lebih terhambat menyebabkan distribusi dalam cetakan mungkin tidak optimal dengan

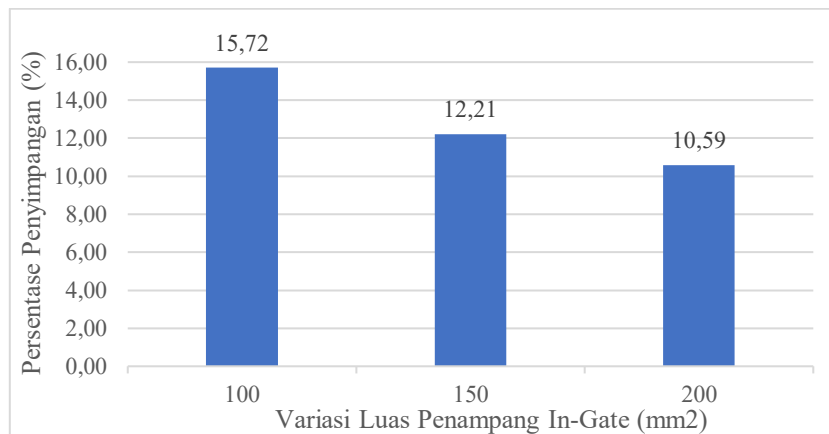
bagian tertentu dari cetakan mungkin menerima lebih sedikit aluminium cair atau sudah memadat, yang menyebabkan penyusutan tidak seragam, mengakibatkan cacat coran seperti retakan atau porositas.

3.4 Hasil dan Analisa Pengujian Penyimpangan

Pengujian penyimpangan untuk mengetahui tingkat penyimpangan yang terjadi pada material coran serta faktor-faktor yang mempengaruhinya. Pengujian penyimpangan dilakukan dengan menggunakan metode pengukuran langsung pada spesimen coran. Spesimen yang telah dicetak kemudian didinginkan dan diukur dimensinya untuk mengetahui perubahan ukuran yang telah terjadi.

Tabel 3. Presentase Penyimpangan dalam Persen (%)

Variasi Luas Penampang <i>In-Gate</i> (mm ²)	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)			
100	50,00	25,00	10,00	48,72	22,20	9,74	12500,00	10534,62	15,72
150	50,00	25,00	10,00	48,97	22,89	9,79	12500,00	10973,84	12,21
200	50,00	25,00	10,00	49,80	22,76	9,86	12500,00	11175,80	10,59

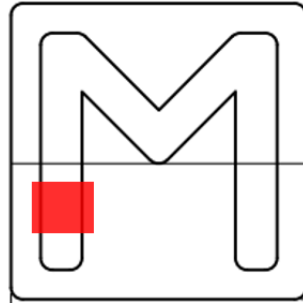


Gambar 5. Histogram Pengujian Penyimpangan

Pada hasil pengujian penyimpangan terdapat hasil nilai pada spesimen 1 dengan variasi luas penampang *in gate* 100 mm² menghasilkan presentase penyimpangan sebesar 15,72 %, pada spesimen 2 variasi luas penampang *in gate* 150 mm² menghasilkan presentase penyimpangan 12,21 %, pada spesimen 3 variasi luas penampang *in gate* 200 mm² menghasilkan presentase penyimpangan sebesar 10,59 %.

3.5 Hasil dan Analisa Pengujian *Density*

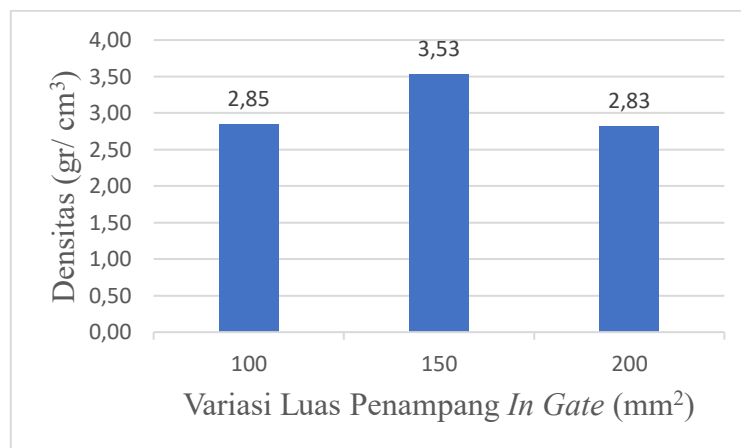
Dalam perhitungan *density* dilakukan dengan cara mengukur volume spesimen menggunakan gelas ukur dan menimbang berat spesimen menggunakan timbangan digital untuk mengetahui massa dari spesimen. Lalu dihitung dengan menggunakan rumus



Gambar 6. Spesimen Pengujian Densitas

Tabel 4, Hasil Pengujian *Density*

Variasi	Massa (g)	Volume (cm ³)	<i>Density</i> (gr/cm ³)
Variasi Luas Penampang 100 mm ²	2,85	1	2,85
Variasi Luas Penampang 150 mm ²	2,12	0,6	3,53
Variasi Luas Penampang 200 mm ²	2,26	0,8	2,83



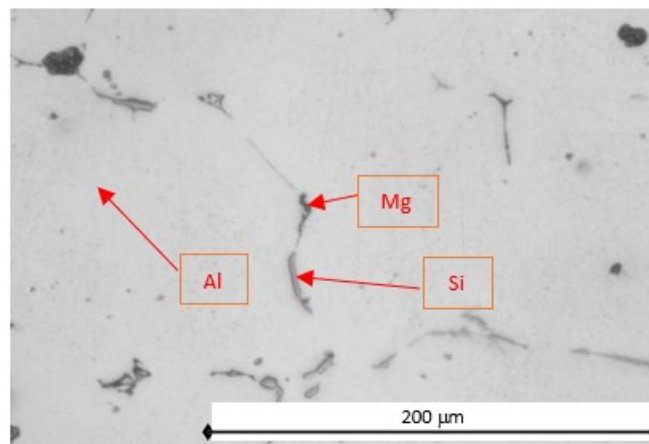
Gambar 7. Histogram Pengujian *Density*

Pada hasil pengujian *density* terdapat hasil nilai pada spesimen 1 variasi luas penampang *in-gate* 100 mm² sebesar 2,85 g/cm³ , pada spesimen 2 variasi luas

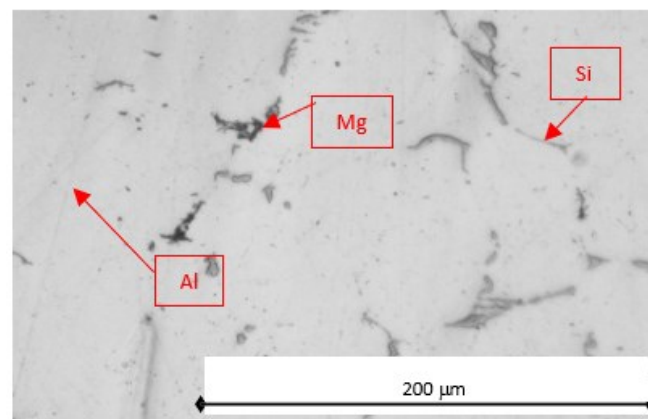
penampang *in-gate* 150 mm² sebesar 3,53 g/cm³, spesimen 3 variasi luas penampang *in-gate* 200 mm² sebesar 2,83 g/cm³. Berdasarkan data diatas, bahwa densitas tertinggi diperoleh pada spesimen dengan variasi luas penampang *in-gate* 150 mm² 3,53 g/cm³. Sementara itu luas penampang *in-gate* 100 mm² memiliki densitas 2,85 g/cm³ dan luas penampang *in-gate* 200 mm² memiliki densitas terendah yaitu 2,83 g/cm³. Semakin tinggi nilai *density* maka semakin tinggi kepadatan spesimen. Sebaliknya, semakin rendah nilai *density* maka semakin tinggi kepadatan spesimen

3.6 Hasil dan Analisa Pengujian Struktur Mikro

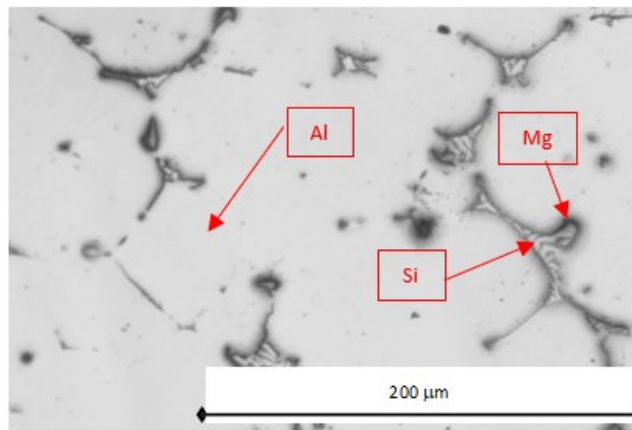
Analisis struktur mikro sangat penting untuk memahami sifat mekanik dan kinerja material. Tanpa proses etsa pengamatan struktur mikro dapat dilakukan dengan mikroskop optik. Mikroskop ini memungkinkan pengamatan permukaan material secara langsung. Hal yang biasa dianalisis dengan tanpa etsa yaitu evaluasi cacat permukaan, pengukuran ukuran butir, dan analisis fasa.



Gambar 8. Struktur Mikro Luas Penampang In Gate 100 mm²



Gambar 9. Struktur Mikro Luas Penampang In Gate 150 mm²



Gambar 10. Struktur Mikro Luas Penampang In Gate 200 mm²

Struktur mikro aluminium yang diamati menunjukkan adanya fasa silikon (Si) berbentuk jarum halus berwarna abu-abu, sedangkan aluminium (Al) memiliki butir-butir berwarna putih berukuran besar, dan magnesium (Mg) berwarna hitam pekat (Sumber : ASM Handbook, Vol 9, Tahun 2004, Metallography And Microstructure, ASM Internasional.). Hasil analisis mikrostruktur menunjukkan bahwa ukuran butir rata-rata pada sampel dengan luas penampang *in gate* 150 mm² distribusi butir lebih merata dibandingkan dengan sampel luas penampang *in gate* 100 mm² dan 200 mm². Hal ini berkorelasi dengan nilai kekerasan yang lebih tinggi pada sampel dengan luas penampang *in gate* 150 mm².

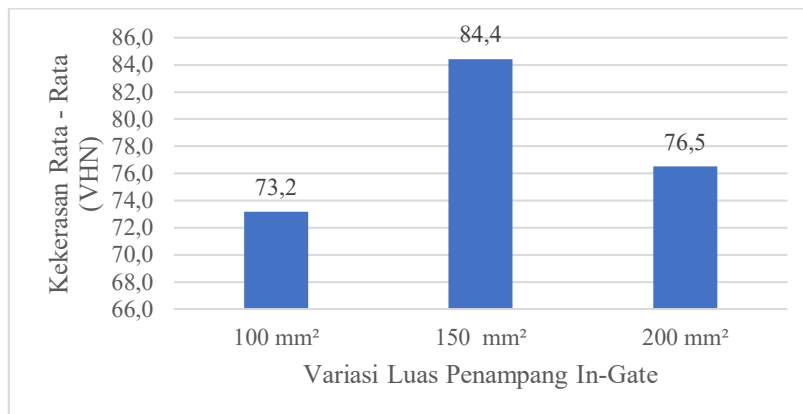
3.7 Hasil dan Analisa Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan ini menggunakan metode *Vickers* dengan tujuan untuk mengetahui nilai kekerasan pada setiap titik yang diuji pada spesimen aluminium yang telah dilakukan pengecoran dengan variasi luas penampang *in-gate* yaitu 100 mm², 150 mm², dan 200 mm². Berdasarkan standar ASTM E18. Pengujian kekerasan dilakukan dengan menguji spesimen dari ke tiga ketinggian saluran turun menggunakan indentor berbentuk piramida intan dengan pembebanan sebesar 100 kg selama 10 detik. Nilai kekerasan diperoleh dari nilai rata-rata tiga spesimen untuk masing-masing ketinggian saluran turun. Setiap spesimen akan diuji tiga titik penekanan, sehingga menghasilkan data kekerasan seperti pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengujian Kekerasan

Variasi Spesimen	Titik Uji	d1 (μm)	d2 (μm)	Kekerasan (VHN)	Kekerasan Rata-Rata (VHN)
100 mm ²	Titik Uji 1	50,1	50,23	73,6	76,1
	Titik Uji 2	49	48,81	77,5	

Variasi Spesimen	Titik Uji	d1 (µm)	d2 (µm)	Kekerasan (VHN)	Kekerasan Rata-Rata (VHN)
150 mm ²	Titik Uji 3	48,87	49,06	77,3	84,4
	Titik Uji 1	46,19	47,92	83,7	
	Titik Uji 2	46,43	47,66	83,7	
200 mm ²	Titik Uji 3	47,13	45,78	85,9	76,5
	Titik Uji 1	50,55	50,99	71,9	
	Titik Uji 2	48,54	48,26	79,1	
	Titik Uji 3	48,71	48,5	78,5	



Gambar 11. Histogram Pengujian Kekerasan

Pada hasil pengujian kekerasan terdapat hasil nilai kekerasan rata-rata pada spesimen 1 variasi luas penampang *in-gate* 100 mm² sebesar 76,1 VHN, pada spesimen 2 variasi luas penampang *in-gate* 150 mm² sebesar 84,4 VHN, spesimen 3 variasi luas penampang *in-gate* 200 mm² sebesar 76,5 VHN. Berdasarkan data diatas, menunjukkan bahwa variasi luas penampang *in gate* 150 mm² mengalami kenaikan dari kekerasan dengan luas penampang *in gate* 100 mm² sedangkan variasi 200 mm² mengalami penurunan dari luas penampang *in gate* 150 mm². Hal ini disebabkan karena luas penampang *in gate* 100 mm² dan 200 mm² dengan luas yang paling kecil dan paling besar memungkinkan struktur mikro yang tidak merata sehingga menghasilkan nilai kekerasan yang rendah. Sebaliknya, luas penampang *in gate* 150 mm² memungkinkan aliran logam cair yang lancar mengakibatkan struktur mikro yang lebih merata, sehingga menghasilkan nilai kekerasan yang lebih tinggi.

4 PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, analisis data dan pembahasan tentang pengaruh variasi ketinggian saluran turun pada pengecoran alumuniumi terhadap penyusutan,

densitas, kekerasan dan struktur mikro dengan metode *investment casting* maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Dari hasil pengujian komposisi kimia terdapat 22 unsur, terdapat 5 unsur yang berpengaruh terhadap aluminium yaitu unsur seperti Silikon (Si) 0,735%, Besi (Fe) 0,755%, Tembaga (Cu) 0,287%, dan Magnesium (Mg) 0,777%. Sehingga unsur yang ada pada material ini termasuk paduan aluminium-magnesium-silikon (Al-Mg-Si) sebagai unsur yang terbesar dan mendekati Aluminium Seri 6063.
2. Hasil pengujian penyusutan, luas penampang *in gate* memberikan pengaruh yang signifikan terhadap tingkat penyusutan pada hasil coran aluminium. Luas penampang *in gate* 100 mm² menghasilkan persentase penyusutan tertinggi sebesar 3,61%, diikuti oleh luas penampang *in gate* 150 mm² sebesar 2,81%, dan terendah pada luas penampang *in gate* 200 mm² sebesar 1,82%. Hal ini menunjukkan bahwa *in gate* yang luasnya paling rendah dengan luas penampang 100 mm² menyebabkan pendinginan lebih cepat karena logam cair kehilangan lebih banyak panas sebelum mencapai cetakan sehingga meningkatkan tingkat penyusutan.
3. Hasil pengujian penyimpangan terdapat hasil nilai pada spesimen 1 dengan variasi luas penampang *in gate* 100 mm² menghasilkan presentase penyimpangan sebesar 15,72 %, pada spesimen 2 variasi luas penampang *in gate* 150 mm² menghasilkan presentase penyimpangan 12,21 %, pada spesimen 3 variasi luas penampang *in gate* 200 mm² menghasilkan presentase penyimpangan sebesar 10,59 %.
4. Hasil pengujian *density* bahwa densitas tertinggi diperoleh pada spesimen dengan variasi luas penampang *in-gate* 150 mm² 3,53 g/cm³. Sementara itu luas penampang *in-gate* 100 mm² memiliki densitas 2,85 g/cm³ dan luas penampang *in-gate* 200 mm² memiliki densitas terendah yaitu 2,83 g/cm³. Hal ini mengindikasikan semakin tinggi nilai *density* maka semakin tinggi kepadatan spesimen. Sebaliknya, semakin rendah nilai *density* maka semakin rendah kepadatan spesimen.
5. Hasil analisa struktur mikro terdapat unsur Al-Mg-Si pada masing-masing variasi luas penampang *in gate* yang berperan dalam meningkatkan kekuatan material. Sampel dengan luas penampang *in gate* 150 mm² distribusi butir lebih merata dibandingkan dengan sampel luas penampang *in gate* 100 mm² dan 200 mm². Hal ini berkorelasi dengan nilai kekerasan yang lebih tinggi pada sampel dengan luas penampang *in gate* 150 mm².

6. Hasil pengujian kekerasan *vickers* kekerasan terdapat hasil nilai kekerasan rata-rata pada spesimen 1 variasi luas penampang *in-gate* 100 mm² sebesar 76,1 VHN, pada spesimen 2 variasi luas penampang *in-gate* 150 mm² sebesar 84,4 VHN, spesimen 3 variasi luas penampang *in-gate* 200 mm² sebesar 76,5 VHN. Luas penampang *in gate* 100 mm² dan 200 mm² dengan luas yang paling kecil dan paling besar memungkinkan struktur mikro yang tidak merata sehingga menghasilkan nilai kekerasan yang rendah. Sebaliknya, luas penampang *in gate* 150 mm² memungkinkan aliran logam cair yang lancar mengakibatkan struktur mikro yang lebih merata, sehingga menghasilkan nilai kekerasan yang lebih tinggi.

4.2 Saran

Setelah melakukan penelitian adapun saran yang diberikan dapat digunakan untuk mengembangkan penelitian sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian terhadap komposisi pada *ceramic slurry* atau cetakan gypsum untuk menghasilkan produk pengecoran yang maksimal.
2. Mempelajari pengaruh waktu pencelupan pola dalam *ceramic slurry* terhadap ketebalan lapisan.
3. Perlu dilakukan penelitian yang lebih lanjut untuk desain model cetakan lilin agar mengurangi turbulensi yang mengakibatkan terjadinya porositas dan kekosongan produk

DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, W., Rudianto, H., & Haryadi, D. (2018). Pengaruh Komposisi Cu Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Dari Pengecoran AL-SI. *Jurnal Ilmiah Teknologi Dan Rekayasa*, 23(2), 146–154.
- Apriliyanto, P., & Mahendra, A. (2014). Analisis Variabel Proses Produk Pengecoran Logam Menggunakan Cetakan Sand Casting. *Jurnal Teknik Mesin*, 02(02), 70–78.
- ASM Handbook, Vol 9, 2004, Metallography And Microstructure, ASM Internasional
- ASTM INTERNASIONAL. (2005). Standard Test Methods for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials. In *Annual Book of ASTM Standards* (Vol. 01).
- Avner Sidney., H. (1974). Introduction to Physical Metallurgy. In *McGraw Hill Book Company, Tokyo*.
- Bashoruddin, M., & Nasution, A. H. (2022). Pengaruh Kuat Arus Pada Kekuatan Tarik

- Alumuniumi 6061 Dengan Pengelasan Tungsten Inert Gas (TIG). *JURNAL PISTON*, 7(1), 20–28.
- Bayuseno, A. P., & Chamdani, N. A. (2011). Adc 12 Sebagai Material Sepatu Rem Menggunakan Pengecoran High Pressure Die Casting Dengan Variasi Temperatur Penuangan. *Jurnal Teknik Mesin*, 13(1), 17–23. <http://ejournal.undip.ac.id/index.php/rotasi%0AADC>
- Bhirawa, W. T. (2013). Proses Pengecoran Logam Dengan Menggunakan Sand Casting. *Jurnal Teknik Industri*, 4(1), 31–41. <https://doi.org/10.35968/jtin.v4i1.826>
- Callister Jr, W. D., & Rethwisch, D. G. (2003). Characteristics, Application, and Processing of Polymers. In *Materials Science and Engineering - An Introduction*.
- Deivandra, Bhakti, G., Dwi Haryadi, G., & Umardani, Y. (2013). Analisis Struktur Mikro Dan Sifat Mekanis Hasil Las Titik Dan Brazing Untuk Industri Rumahan. *Jurnal Teknik Mesin S-1*, 1(2), 1–8.
- Dendi Santika, A. M., Siregar., C. A., Siregar, Arya., R., N. (2022). Uji Eksperimental Kekerasan Dan Struktur Mikro Pada Produk Foot Step Berbahan Limbah Alumunium Hasil Pengecoran Cetakan Pasir Silika Berpengikat Bentonit. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi*, 5(1), 56–64.
- Diamond, H. (1965). *Investment Casting*. A Manufacturing Possibility for Elberton, Georgia Institute of Technology.
- Fajar Rizki Saputra, Budi Harjanto, N. S. (2020). Pengaruh Variasi Penambahan Kadar Air Dengan Bahan Pengikat Bentonit Terhadap Karakteristik Paasir Cetak dan Cacat Porositas Hasil Pengecoran Logam Paduan Al-Si. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin*, 02(4), 291–300.
- Fikri Fahrizal Manurung & Mahadi. (2022). Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Temperatur Pemanasan Awal Cetakan Horizontal Centrifugal Casting Pada Pengecoran Al-Si Terhadap Sifat mekanik dan Cacat Coran. *Jurnal Dinamis*, 10(2), 46–52.
- Hardi Sudjana. (2007). *TEKNIK PENGECORAN*. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Departemen Pendidikan Nasional.
- John Campbell. (2011). Complete Casting Handbook: Metal Casting Processes, Metallurgy, Techniques and Design. In *Elsevier Ltd*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/c2014-0-01548-1>

- Jonoadji, N., Kurniawan, A., & Siahaan, I. H. (2023). Pemanfaatan Mesin Vacuum Casting Semi Otomatis untuk Kebutuhan Pembuatan Produk Perhiasan. *Jurnal Teknik Mesin*, 20(1), 24–30. <https://doi.org/10.9744/jtm.20.1.24-30>
- Joska, L., Fojt, J., Hradilova, M., Hnilica, F., & Cvrcek, L. (1992). ASM Vol 9: METALLOGRAPHY AND MICROSTRUCTURES. In *ASM Internasional* (Vol. 9). ASM Internasional. <https://doi.org/10.1088/1748-6041/5/5/054108>
- Khairunnisa, S., Amelza, R., Azizah Lubis, N., & Darma Putri, M. (2023). Kajian Spectrometer Menggunakan Sensor Cahaya TCS3200. *GRAVITASI Jurnal Pendidikan Fisika Dan Sains*, 06(01), 13–19.
- Khristyson, S. F., Sulaiman, S., & Prahasti, R. (2020). Analisa Investment Casting Perannya untuk Reparasi Towing Beam Kapal Tunda dengan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 15(2), 154. <https://doi.org/10.32497/jrm.v15i2.1764>
- Kusuma, N. G., & Sidharta, I. (2014). Studi Eksperimen Pengaruh Variasi Dimensi Cil dalam (Internal Chill) terhadap Cacat Penyusutan (Shrinkage) pada Pengecoran Alumuniumi 6061. *JURNAL TEKNIK POMITS*, 3(2), 271–275.
- Magdalena, F. K., & Arif, I., S. (2017). Studi Uji Kekerasan Rockwell Superficial VS Micro *Vickers*. *JURNAL TEKNOLOGI PROSES DAN INOVASI INDUSTRI*, 2(2), 85–89.
- Majanasastra, R. B. S. (2016). Analisis Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Hasil Proses Hydroforming Pada Material Tembaga (Cu) C84899 dan Alumunium Al 6063 . *Jurnal Imiah Teknik Mesin*, 4(2), 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*. Universitas Brawijaya.
- Muqoddam, M., Kartika, W., & Wibowo, S. A. (2020). Modul Digitalisasi Mikroskop. *Medika Teknika : Jurnal Teknik Elektromedik Indonesia*, 2(1). <https://doi.org/10.18196/mt.020113>
- Respati, S. M. B. (2008). Macam-Macam Mikroskop dan Cara Penggunaan Momentum, 4(2), 42–44.
- Reza Azizul Nasa A, H. (2013). Pengukuran Dimensi Komponen Artificial HIP Joint Hasil Investmen Casting Menggunakan Material AISI316L. *Media Mesin: Majalah Teknik*

- Mesin*, 22(1), 22–30.
- Ridwan Abdullah Sani. (2019). *Karakteristik Material*. Bumi Aksara.
- Rochman, R., Hariyati, P., & Purbo, C. (2024). Karakterisasi Sifat Mekanik dan Pembentukan Fasa Presipitat Pada Alumuniumi Alloy 2024-T 81 Akibat Perlakuan Penuaan Mekanika, 8(2), 165–171.
- Rundman, K. B. (2000). *Metal Casting (Reference Book for MY4130)*.
- Rusydi Zain, M., & Kurniawan Nasution, F. A. (2022). Pengaruh Penambahan Unsur Silikon (Si) Pada Alumuniumi (Al) Terhadap Kekuatan Impak Material Campuran Al-Si. *Buletin Utama Teknik*, 17(3), 253–256.
- Septiano, A. F., Susilo, S., & Setyaningsih, N. E. (2021). Analisis Citra Hasil Scanning Electron Microscopy Energy Dispersive X-Ray (SEM EDX) Komposit Resin Timbal dengan Metode Contrast to Noise Ratio (CNR). *Indonesian Journal of Mathematics and Natural Sciences*, 44(2), 81–85.
<https://doi.org/10.15294/ijmns.v44i2.33143>
- Sugeng, U. M., & Fato, A. (2020). Analisa Mekanis Baja Pada Bahan Spcc-Hd Dengan Proses Deep Drawing Dalam Pembuatan Drum. *Presisi*, 22(2), 75–81.
- Sujatno, A., Salam, R., Bandriyana, B., & Dimiyati, A. (2017). Studi Scanning Electron Microscopy (Sem) Untuk Karakterisasi Proses Oksidasi Paduan Zirkonium. *Jurnal Forum Nuklir*, 9(1), 44. <https://doi.org/10.17146/jfn.2015.9.1.3563>
- Supriyono. (2017). *Material Teknik*. Muhammadiyah University Press.
- Surdia, Tata, Shinroku, S. (1999). Pengetahuan Bahan Teknik. In *Jakarta: PT. Pradnya Paramita*.
- Tata Surdia & Chijiiwa Kenji. (1996). *TEKNIK PENGECORAN LOGAM*. Pradnya Paramita.
- Tjitro, S. (2001). Pengaruh Bentuk Riser Terhadap Cacat Penyusutan Produk Cor Alumuniumi Cetakan Pasir. *Dosen Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Mesin*, 3(2), 41–46. <http://puslit.petra.ac.id/journals/mechanical/41>
- Triadi, M. T., & Ambo, S. N. (2021). Aplikasi Perhitungan Komposisi Material Pengecoran Logam (Casting) Berbasis Android. *Jurnal Sistem Informasi, Teknologi Informasi Dan Komputer*, 12(1), 24–30. <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/just-it/index>
- Wafir Dini Fauzan. (2019). Pengaruh Variasi Temperatur Perlakuan AGE Hardening Pada

Alumuniumi Paduan 6061 Terhadap Sifat Kekerasan, Struktur, Mikro dan Laju Korosi Dalam Larutan HCL 1M(Issue September). Institut Teknologi Surabaya.