

**PENGARUH VARIASI KETINGGIAN SALURAN TURUN PADA
PENGECORAN ALUMINIUM TERHADAP PENYUSUTAN, DENSITAS,
KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO DENGAN METODE *INVESTMENT*
*CASTING***

Oskar Aldi Nugroho, Patna Partono

**Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah
Surakarta**

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi ketinggian saluran turun terhadap penyusutan, densitas, komposisi kimia, kekerasan dan struktur mikro pada pengecoran aluminium. Metode penelitian yang digunakan adalah *investment casting* dengan variasi saluran turun dengan ketinggian 40 mm, 60 mm, dan 80 mm. Hasil pengujian komposisi kimia menunjukkan bahwa hasil komposisi kimia ditemukan unsur kimia (Al) 97,18 % sebagai bahan utama, (Si) 0,735%, (Cu) 0,287%, dan (Mg) 0,777% sehingga dari unsur yang ada pada material pengecoran termasuk logam aluminium paduan magnesium-silikon (Al-Mg-Si). Hasil pengujian penyusutan menunjukkan ketinggian saluran turun 40 mm memiliki nilai penyusutan terendah yaitu 1,77 %. Hasil pengujian densitas menunjukkan ketinggian saluran turun 40 mm memiliki nilai densitas tertinggi yaitu 3,04 gr/cm³. Hasil pengamatan struktur mikro menunjukkan ketinggian saluran turun 40 mm memiliki butiran yang menyebar merata diantara ketinggian saluran turun 60 mm dan ketinggian saluran turun 80 mm. Hasil pengujian kekerasan *vickers* menunjukkan ketinggian saluran turun 40 mm memiliki nilai kekerasan tertinggi sebesar 74,03 VHN. Ketinggian saluran turun yang optimal akan mempengaruhi laju aliran dan proses pembekuan logam cair. Semakin cepat logam cair memenuhi rongga cetakan maka proses pembekuan akan semakin cepat, dan nilai kekerasan semakin tinggi.

Kata Kunci: Aluminium, *Investment Casting*, Saluran Turun, Penyusutan, Densitas, Kekerasan, Struktur Mikro

Abstract

This study aims to determine the effect of variations in the height of the descending channel on shrinkage, density, chemical composition, hardness and microstructure in aluminum casting. The research method used is *investment casting* with variations of the descending channel with heights of 40 mm, 60 mm, and 80 mm. The chemical composition test results show that the chemical composition results found chemical elements (Al) 97.18% as the main ingredient, (Si) 0.735%, (Cu) 0.287%, and (Mg) 0.777% so that the elements present in the casting material include magnesium-silicon alloy aluminum metal (Al-Mg-Si). The shrinkage test results show that the channel height down 40 mm has the lowest shrinkage value of 1.77%. The density test results show that the 40 mm descending channel height has the highest density value of 3.04 gr/cm³. The microstructure observation results show that the channel height of 40 mm has grains that spread evenly between the channel height of 60 mm and the channel height of 80 mm. Vickers hardness test results show that the 40 mm descending channel height has the highest hardness value of 74.03 VHN. The optimal height of the descending channel will affect the flow rate and freezing process of the liquid metal. The faster the liquid metal fills the mold cavity, the faster the solidification process will be, and the higher the hardness value.

Keywords: Aluminum, Investment Casting, Channel Down, Shrinkage, Density, Hardness, Microstructure

1. PENDAHULUAN

Aluminium merupakan material yang memiliki kekuatan yang tinggi per satuan beratnya, ketahanan terhadap korosi dan kemampuan untuk diubah bentuknya dengan mudah. Keberhasilan dan kualitas produk yang terbuat dari aluminium sangat tergantung pada sifat fisik dan mekaniknya. Salah satu faktor yang dapat mempengaruhi sifat fisik dan mekanik dari aluminium adalah ketinggian saluran turun pada proses pengecoran. Saluran turun atau yang sering dikenal sebagai “*down sprue*” adalah saluran yang digunakan untuk masuknya logam cair kedalam cetakan pada proses pengecoran. Ketinggian saluran turun yang digunakan dalam proses pengecoran aluminium dapat berpengaruh yang signifikan terhadap sifat fisik dan mekanik dari produk akhir pengecoran aluminium.

Sudiyanto dan Shiddiq (2021) Proses pengecoran logam (*casting*) adalah salah satu teknik pembuatan produk dimana logam dicairkan dalam tungku peleburan kemudian dituangkan ke dalam rongga cetakan yang serupa dengan bentuk asli dari produk cor yang akan dibuat. Sebagai suatu proses manufaktur yang menggunakan logam cair dan cetakan, pengecoran digunakan untuk menghasilkan bentuk asli produk jadi.

Roziqin, dkk (2012) Sistem saluran adalah sistem yang dibuat dimana logam cair mengalir hingga ke rongga cetakan. Secara umum sistem saluran terdiri dari: cawan tuang, saluran turun, saluran pengalir, saluran masuk dan cawan tuang adalah sebuah cekungan atau corong di cetakan yang menerima langsung logam cair dari ladle. Saluran turun adalah saluran dimana logam cair mengalir dari cawan tuang menuju saluran pengalir dan saluran masuk.

Pengalir adalah pembawa logam cair dari saluran turun dan mendistribusikan logam cair ke coran melalui saluran masuk. Saluran masuk adalah saluran yang menghubungkan saluran pengalir ke coran sehingga logam cair dapat masuk ke coran. Penambah adalah bagian lebihan yang diberikan pada cetakan yang berfungsi untuk menambah cairan logam ketika terjadi penyusutan dan untuk menghindari penyusutan pada coran.

Endramawan, dkk (2019) Melakukan penelitian tentang analisis perbedaan tinggi sprue pada *top gating system* untuk pengecoran *propeller* yang bermaterial paduan aluminium dari limbah *propeller* perahu, Hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa

Variable desain tinggi sprue 50 mm mendapati waktu pembekuan lebih cepat dibandingkan dengan tinggi sprue 100 mm dan 150 mm, Untuk hasil shrinkage porosity yang didapati oleh sprue dengan tinggi 50 mm dan 100 mm lebih baik berada pada range yang sama yaitu 0.83 % - 1.73 % dibandingkan dengan sprue dengan tinggi 150 mm berada pada range 0.9 % - 1.73 %. Dalam penelitian ini digunakan sprue dengan ketinggian 50 mm dan 100 mm sebagai rekomendasi untuk top gate system pada sistem saluran pengecoran propeller.

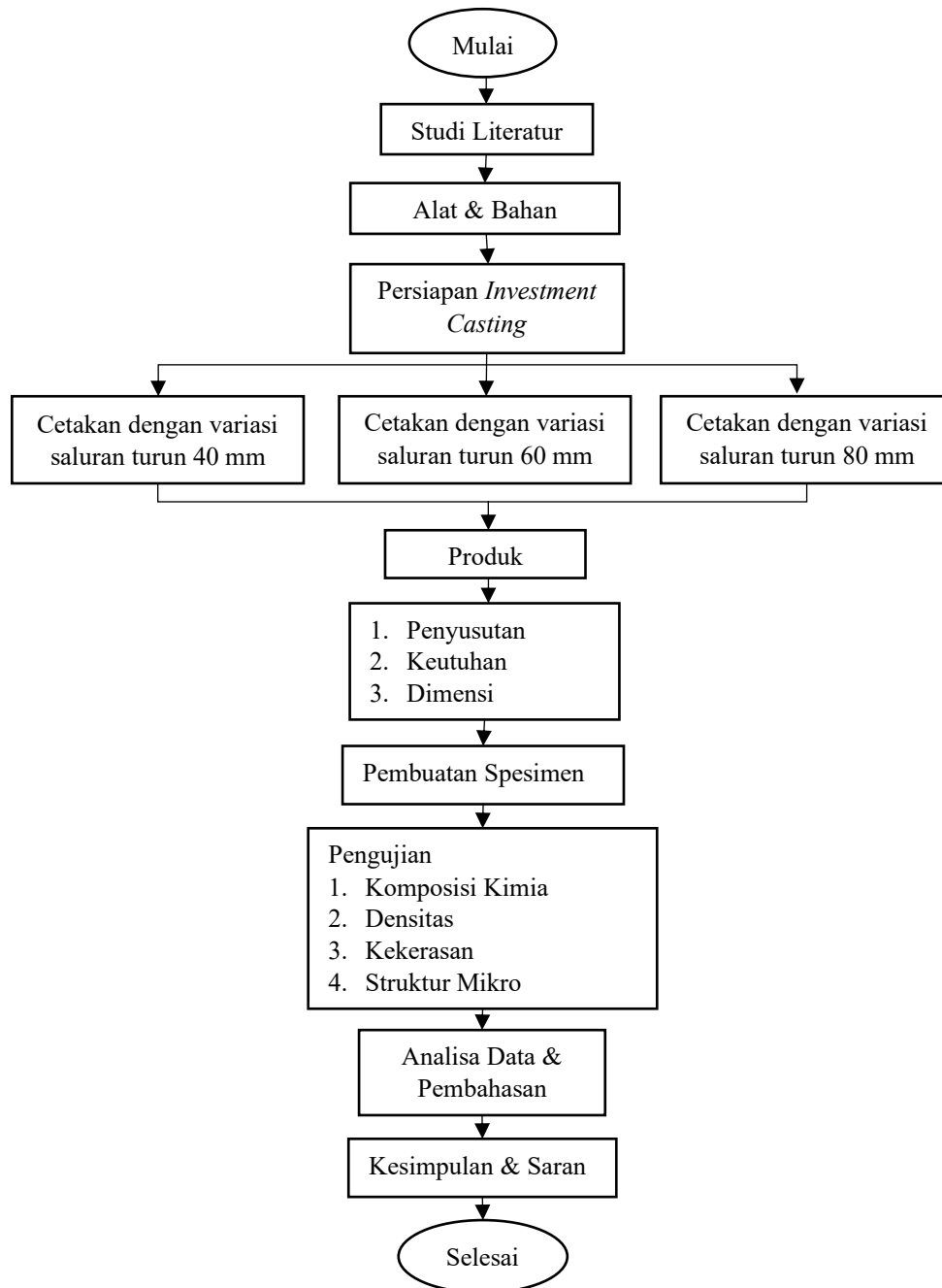
Anwar, dkk (2020) Melakukan penelitian tentang simulasi aliran pada proses pengecoran *connecting rod* berbahan aluminium 7075 untuk mesin motor 150 cc dengan variasi tinggi sprue cetakan dan temperatur penuangan menggunakan metode elemen hingga, Hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa: (1) Tinggi sprue mempunyai pengaruh terhadap intensitas turbulensi. Semakin besar tinggi sprue maka semakin besar kecepatan aliran logam cair, dengan demikian semakin besar pula intensitas turbulensi yang terjadi; (2) Tinggi sprue juga berpengaruh terhadap fraksi volume udara maksimum yang terperangkap dalam logam. Semakin besar tinggi sprue maka semakin besar kecepatan aliran logam, sehingga intensitas turbulensi juga meningkat. Hal ini menyebabkan adanya udara yang terperangkap dalam logam cair. Berdasarkan simulasi ini, model yang memiliki intensitas turbulensi terkecil adalah tinggi sprue 20 mm dengan temperatur penuangan 740°C dan 765°C. Untuk fraksi volume logam terbesar yang masuk ke dalam rongga cetak terjadi pada model tinggi sprue 20 mm dengan temperatur penuangan 740°C. Dengan mempertimbangkan dua variabel tersebut, maka model pengecoran *connecting rod* untuk mesin motor 150 cc yang paling baik adalah menggunakan tinggi sprue 20 mm dengan temperatur penuangan 740°C.

Akan tetapi, dari beberapa pengujian diatas belum ada yang melakukan pengujian sifat fisik dan sifat mekanis dari hasil produk pengecoran *investment casting* dengan variasi perbedaan ketinggian saluran turun 40 mm, 60 mm, dan 80 mm. Sehingga penulis akan melakukan pengujian dengan judul “Pengaruh Variasi Ketinggian Saluran Turun Pada Pengecoran Aluminium Terhadap Penyusutan, Densitas, Kekerasan dan Struktur Mikro Dengan Metode *Investment Casting*”. Penulis akan menganalisis variasi ketinggian saluran turun dan melihat bagaimana hal tersebut dapat mempengaruhi keutuhan, kepresisian, penyusutan, komposisi kimia, struktur mikro, densitas, kekerasan dan sifat mekanis lainnya dari metode *investment casting*. Penelitian ini dapat membantu industri

dalam meningkatkan kualitas produk mereka melalui pengaturan yang optimal pada ketinggian saluran turun dalam proses *investment casting*. Selain itu, penelitian ini juga dapat memberikan pemahaman yang lebih baik tentang hubungan antara ketinggian saluran turun dan sifat fisik dan sifat mekanik dari produk berbahan alumunium. Dan kami berharap penelitian ini dapat memberikan kontribusi yang berarti dalam dunia industri dan pengembangan pengetahuan tentang proses pengecoran alumunium dengan metode *investment casting* dan membantu meningkatkan kualitas produk industri manufaktur.

2. METODE

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Suarakarta untuk proses pengecoran material, pengujian spesimen yang berupa pengujian penyusutan, densitas dan struktur mikro; Laboratorium Teknik Mesin Universitas Sebelas Maret (UNS) untuk pengujian kekerasan dengan metode *vickers* dan Politeknik Manufaktur Ceper untuk pengujian spesimen komposisi kimia. Penelitian dimulai dengan melakukan studi literatur baik jurnal maupun buku dan diakhiri dengan melakukan penarikan kesimpulan. Berikut merupakan diagram alir penelitian yang dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.1 Prosedur Penelitian

2.1.1 Proses Pengecoran dengan Metode *Investment Casting* dengan Variasi Saluran Turun

1. Menyiapkan lilin yang akan digunakan untuk membuat pola lilin.
2. Menyiapkan tungku kowi, gas yang telah dipasang regulator untuk mencairkan logam Aluminium.

3. Membuat pohon lilin dengan variasi saluran turun dan saluran masuk yang terbuat dari lilin yang dicairkan.
4. Menuangkan lilin cair ke dalam cetakan lilin.
5. Mendinginkan lilin yang sudah terbentuk.
6. Menyatukan produk kepada pohon lilin dengan variasi saluran turun.
7. Melapisi pohon lilin dengan lapisan *ceramic slurry* berupa campuran gypsum dan bubuk alumina yang sudah dicampur air.
8. Menghilangkan lilin yang sudah dilapisi dengan cara dipanaskan pada mesin furnace.
9. Melelehkan Aluminium dengan tungku kowi hingga aluminium menjadi cair.
10. Menuangkan Aluminium panas ke dalam cetakan gypsum.
11. Menghancurkan cetakan gypsum.
12. Menghaluskan Aluminium dengan gerinda.
13. Produk jadi dan siap dilakukan penelitian.

2.1.2 Proses Pengujian Penyusutan

1. Menyiapkan produk yang akan diuji
2. Mengukur volume benda asli.
3. Mengukur benda produk.

2.1.3 Proses Pengujian Bahan Komposisi Kimia

1. Memastikan sumber cahaya bisa berfungsi dengan baik, bisa menggunakan lampu natrium sebagai sumber cahaya.
2. Arahkan spektrometer tepat di hadapan sumber cahaya. Tujuannya adalah supaya cahaya bisa langsung menuju lensa kolimator.
3. Kalibrasikan spektrometer terlebih dahulu. Catat sudut mula-mula saat bagian teleskop dan lensa kolimator berada di sumbu yang sama.
4. Letakkan cemin prisma yang akan diukur indeks biasnya.
5. Atur teleskop hingga tampak garis-garis spektrum pada setiap panjang gelombang.
6. Geser teleskop hingga benang silang saling berhimpitan dengan garis-garis spektrum.
7. Catat sudut dispersi yang muncul saat spektrum cahaya telah terlihat jelas.
8. Hitung indeks bias cermin prisma berikut panjang gelombangnya.

2.1.4 Proses Pengujian Densitas

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

2.1.5 Proses Pengujian Struktur Mikro

1. Menyiapkan spesimen yang akan diuji.
2. Masuk ke aplikasi Dimas Elite.
3. Menghidupkan mesin uji struktur mikro.
4. Meletakkan spesimen pada meja kerja.
5. Mengatur posisi meja kerja.
6. Mengatur converter sesuai pembesaran yang diinginkan.
7. Memfokuskan gambar struktur mikro menggunakan tuas pengatur fokus.
8. Apabila gambar sudah fokus, klik snap pada layar monitor untuk pengambilan gambar struktur mikro.
9. Menyimpan gambar sesuai file yang diinginkan.

2.1.6 Proses Pengujian Kekerasan

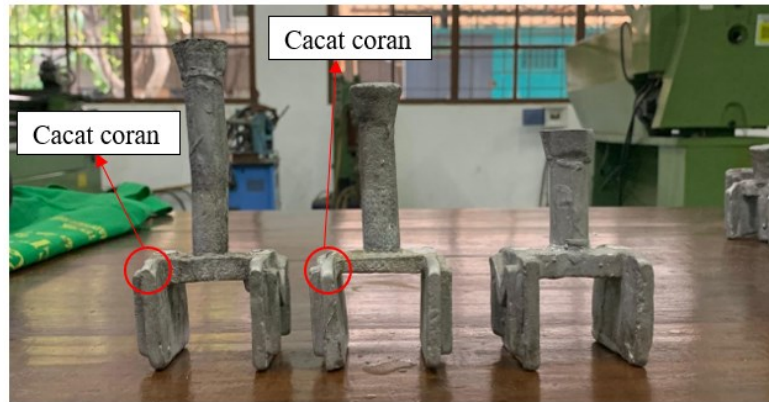
1. Menyiapkan benda kerja yang sudah rata kedua permukaannya dan sudah dipoles dengan autosol.
2. Menghidupkan alat uji vickers dan monitor.
3. Menerangkan lampu pada pengaturan di kontrol panel.
4. Mengatur skala beban sesuai yang diinginkan.
5. Memasang benda kerja pada landasan.
6. Spesimen di naik turun dengan memutar handle hingga 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 Hasil dan Analisa Pengecoran

Pada proses ini yang diamati adalah keutuhan produk hasil pengecoran dari segi bentuk dibandingkan dengan desain pola cetakan yang dibuat, keutuhan hasil pengecoran dipengaruhi dari ketinggian saluran turun yang dibuat semakin tinggi saluran turun maka

semakin tinggi terjadinya turbulensi pada logam cair yang mengakibatkan gelembung gas yang terjebak pada cetakan gypsum. Setelah dilakukan pengamatan pada keutuhan produk dan didapatkan hasil yang baik, maka dapat dilanjutkan ke pengujian – pengujian berikutnya. Berikut gambar 2. menunjukkan hasil produk setelah dilakukan pengecoran.



Gambar 2. Hasil Produk Pengecoran dengan Ketinggian Saluran Turun 80 mm, 60 mm, dan 40 mm

Dari gambar 2. dapat diketahui keutuhan produk yang paling maksimal pada ketinggian saluran turun 40 mm. Sedangkan pada ketinggian saluran turun 60 terdapat cacat coran yang diakibatkan oleh turbulensi yang tinggi sehingga logam cair tidak dapat memenuhi secara menyeluruh ke cetakan coran, diikuti hasil pengecoran dengan ketinggian saluran turun 80 mm.

Ketinggian saluran turun sangat berpengaruh terhadap keutuhan produk. Selain mengakibatkan tingginya turbulensi yang terjadi, ketinggian saluran turun berpengaruh pada laju aliran logam. Semakin tinggi saluran turun yang dibuat maka semakin cepat pembekuan logam cair sehingga logam cair belum menyebar merata keseluruh rongga cetakan gypsum. Pada ketinggian saluran turun 80 mm 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. Ketinggian saluran turun 60 mm memiliki cacat coran diantara saluran turun 80 mm dan 40 mm. Hal ini disebabkan oleh laju aliran logam yang tak beraturan sehingga logam cair tidak menyebar memenuhi seluruh rongga cetakan. Pada saluran turun 40 mm memiliki cacat coran yang paling sedikit. Ketinggian saluran menyebabkan terjadinya turbulensi yang besar dan pembekuan logam cair lebih cepat sehingga logam cair tidak terdistribusikan secara maksimal kedalam rongga cetakan produk.

3.2 Hasil Pengujian Komposisi Kimia

Pengujian dilakukan setelah produk hasil pengecoran dipotong dan di *finishing* sesuai standar untuk pengujian komposisi kimia. Pengujian komposisi kimia dilakukan di Laboratorium POLMAN Cepur, Klaten dengan menggunakan alat uji *Spectrometer*. Pada pengujian ini alat dapat melakukan pembacaan secara otomatis sehingga didapatkan beberapa unsur – unsur kimia, dan berikut ini adalah data dari pengujian komposisi kimia.

Tabel 1. Data hasil uji komposisi kimia rata-rata aluminium

No	Kandungan Unsur	Spesimen Uji (%)
1	<u>Si</u>	<u>0,735</u>
2	Fe	0,755
3	Cu	0,287
4	Mn	0,0028
5	<u>Mg</u>	<u>0,777</u>
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	<u>Al</u>	<u>97,18</u>

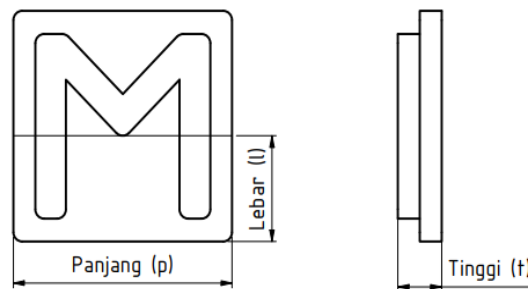
Dari hasil analisis komposisi kimia menunjukkan bahwa terdapat 22 unsur, unsur dominan terdiri dari aluminium (Al) 97,18%. Adanya unsur-unsur seperti silikon (Si) 0,735%, besi (Fe) 0,755%, tembaga (Cu) 0,287%, dan magnesium (Mg) 0,777% dalam jumlah yang lebih kecil mengindikasikan bahwa sampel ini merupakan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

Berdasarkan presentase unsur penyusunnya, jenis aluminium paduan ini dikategorikan kedalam paduan aluminium-magnesium-silikon (Al-Mg-Si), karena unsur yang terbesar pada unsur magnesium (Mg) sebesar 0,777 % dan unsur silikon (Si) sebesar

0,735 %. Dari analisa dan data yang telah didapatkan berdasarkan paduan aluminium dengan nomor seri mendekati 6063.

3.3 Hasil dan Analisa Pengujian Penyusutan

Pada penelitian ini perbedaan ketinggian saluran digunakan untuk mengetahui penyusutan dari tiap variasi ketinggian saluran turun. Analisa penyusutan ada dua tahap yaitu perhitungan persentase penyusutan produk cor dan pengamatan secara visual terhadap rongga penyusutan. Pengujian penyusutan dilakukan setelah pengecoran produk dan pembongkaran pada cetakan gypsum lalu dilakukan pengukuran spesimen menggunakan jangka sorong.



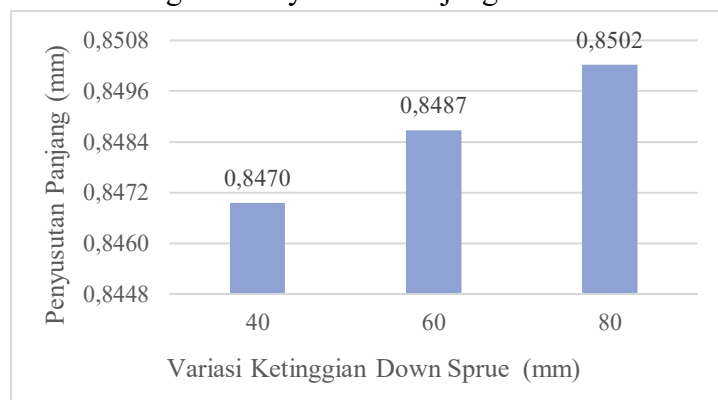
Gambar 3. Spesimen Pengujian Penyusutan

Berikut Tabel 2. Hasil Pengujian Penyusutan

Tabel 2. Hasil Pengujian Penyusutan

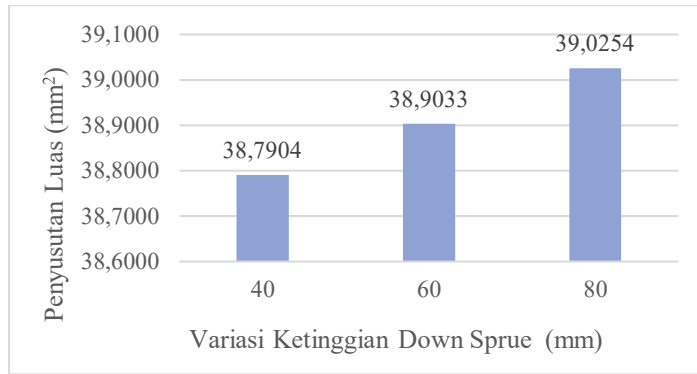
Variasi Ketinggian Down Sprue (mm)	Dimensi Pola			Dimensi Produk			Penyusutan Panjang (mm)	Penyusutan Luas (mm ²)	Penyusutan Volume (mm ³)
	<i>p</i>	<i>l</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>l</i>	<i>t</i>			
40	49.15	22.90	11.73	49.00	22.80	11.61	0.8470	38.7904	682.5178
60	49.25	22.92	11.75	48.85	22.77	11.60	0.8487	38.9033	685.6708
80	49.34	22.95	11.82	49.09	22.54	11.68	0.8502	39.0254	691.9206

Berikut Gambar 4. Histogram Penyusutan Panjang



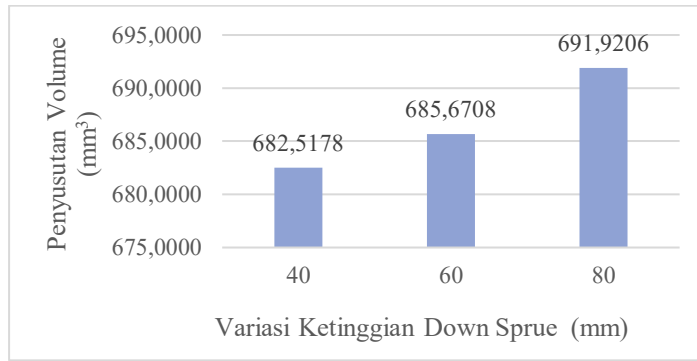
Gambar 4. Histogram Penyusutan Panjang

Berikut Gambar 5. Histogram Penyusutan Luas



Gambar 5. Histogram Penyusutan Luas

Berikut Gambar 6. Histogram Penyusutan Volume



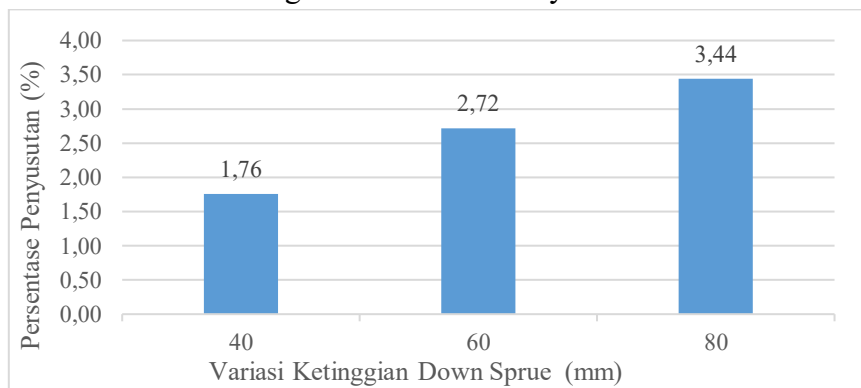
Gambar 6. Histogram Penyusutan Volume

Berikut Tabel 3. Persentase Hasil Pengujian Penyusutan

Tabel 3. Presentase Hasil Pengujian Penyusutan

Variasi Ketinggian Down Sprue (mm)	Dimensi Pola			Dimensi Produk			Volume Pola (Lilin) (mm³)	Volume Benda Produk (mm³)	Persentase Penyusutan (%)
	<i>p</i>	<i>l</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>l</i>	<i>t</i>			
40	49.15	22.90	11.73	49.00	22.80	11.61	13202.53	12970.692	1.76
60	49.25	22.92	11.75	48.85	22.77	11.60	13263.52	12902.85	2.72
80	49.34	22.95	11.82	49.09	22.54	11.68	13384.41	12923.79	3.44

Berikut Gambar 7. Histogram Persentase Penyusutan

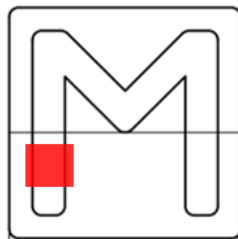


Gambar 7. Histogram Presentase Penyusutan

Setelah dilakukan perhitungan penyusutan panjang secara teori dengan menghitung panjang dari produk dihasilkan nilai pada ketinggian saluran turun 40 mm memiliki nilai paling rendah diantara variasi yang lainnya sebesar 0,8470 mm, sedangkan ketinggian saluran turun 60 mm memiliki nilai diantara ketinggian saluran turun 40 mm dan 80 mm yaitu sebesar 0,8487 mm. Nilai tertinggi pada ketinggian saluran turun 80 mm dengan nilai sebesar 0,8502 mm. Pada perhitungan penyusutan luas pada produk setelah dicor dihasilkan nilai pada ketinggian saluran turun 40 mm memiliki nilai paling rendah sebesar 38,7904 mm, sedangkan ketinggian saluran turun 60 mm memiliki nilai diantara ketinggian saluran turun 40 mm dan 80 mm yaitu sebesar 38,9033 mm. Nilai tertinggi pada ketinggian saluran turun 80 dengan nilai sebesar 39.0254 mm. Pada perhitungan penyusutan volume pada produk setelah dicor dihasilkan nilai pada ketinggian saluran turun 40 mm memiliki nilai paling rendah sebesar 682.5178 mm, sedangkan ketinggian saluran turun 60 mm memiliki nilai diantara ketinggian saluran turun 40 mm dan 80 mm yaitu sebesar 685.6708 mm. Nilai tertinggi pada ketinggian saluran turun 80 dengan nilai sebesar 691.9206 mm. Dari hasil perhitungan penyusutan panjang, luas, dan volume diketahui bahwa nilai penyusutan paling tinggi pada variasi saluran turun 80 mm, sehingga semakin tinggi saluran turun maka nilai penyusutan semakin besar.

Pada Gambar 4.6 dapat diketahui bahwa ketinggian saluran turun 40 mm dan 60 mm memiliki nilai persentase penyusutan lebih kecil yaitu 1.76 % dan 2.72 % dan penyusutan tertinggi pada ketinggian saluran turun 80 mm sebesar 3.44 %. Hal ini disebabkan karena banyaknya logam menyusut selama proses pembekuan yang disebabkan oleh ketinggian saluran turun yang terlalu tinggi akan tetapi dengan ketinggian saluran turun paling rendah dapat memenuhi rongga – rongga cetakan secara maksimal. Berbeda halnya dengan ketinggian saluran turun 60 mm dan 80 mm pada variasi ini penyusutan terjadi relative besar dibandingkan dengan variasi ketinggian saluran turun 40 mm.

3.4 Hasil dan Analisa Pengujian Densitas

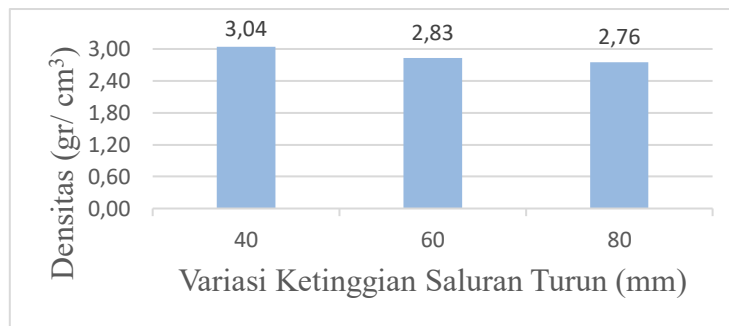


Gambar 8. Spesimen Pengujian Densitas

Berikut Tabel 4. Hasil Pengujian Densitas

Tabel 4. Hasil Pengujian Densitas

Variasi Ketinggian Down Sprue (mm)	Massa (g)	Volume (cm ³)	Densitas (gr/ cm ³)
40	2.43	0.8	3.04
60	2.55	0.9	2.83
80	2.48	0.9	2.76

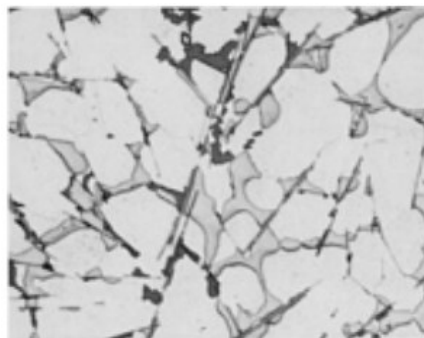


Gambar 9. Histogram Pengujian Densitas

Dari gambar diatas menjelaskan hasil pengujian densitas dapat diketahui nilai tertinggi pada ketinggian saluran turun 40 mm sebesar 3,04 dan ketinggian saluran turun 60 mm sebesar 2,83, dan didapatkan nilai densitas terendah pada ketinggian saluran turun 80 mm sebesar 2,76. Semakin tinggi nilai densitas maka semakin tinggi kepadatan spesimen. Sebaliknya, semakin rendah nilai densitas maka semakin rendah pula kepadatan spesimennya. Sehingga spesimen dengan ketinggian saluran turun 40 mm memiliki kepadatan paling tinggi dibandingkan dengan ketinggian saluran turun 60 mm dan ketinggian saluran turun 80 mm.

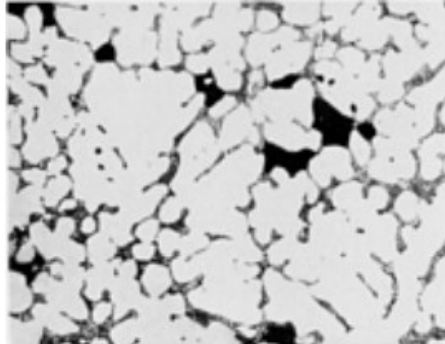
3.5 Hasil dan Analisa Pengujian Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro dilakukan dengan pengamatan menggunakan alat uji struktur mikro dengan perbesaran 200x. Berdasarkan acuan dari *ASM Handbook Vol.9* pada gambar dibawah:



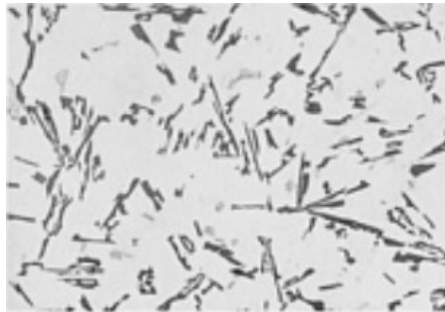
Gambar 10. Struktur Mikro Panduan Alumunium (ASM Handbook Vol.9,1992)

Strukturnya terdiri dari jaringan interdendritik CuAl_2 bulat (abu-abu muda) yang mengandung bilah Cu_2FeAl_7 (abu-abu sedang), dan beberapa partikel silikon (abu-abu tua).



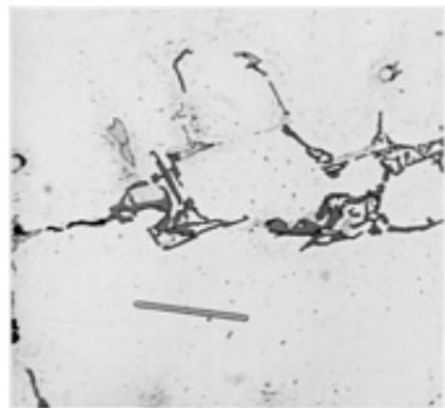
Gambar 11. Struktur Mikro Paduan Aluminium (ASM Handbook Vol.9,1992)

Struktur mikro mengandung rongga penyusutan yang besar (hitam), jaringan interdendritik eutektik Al-Cu-Mg (berbintik-bintik), dan beberapa partikel interdendritik CuMgAl_2 (abu-abu)



Gambar 12. Struktur Mikro Paduan Aluminium (ASM Handbook Vol.9,1992)

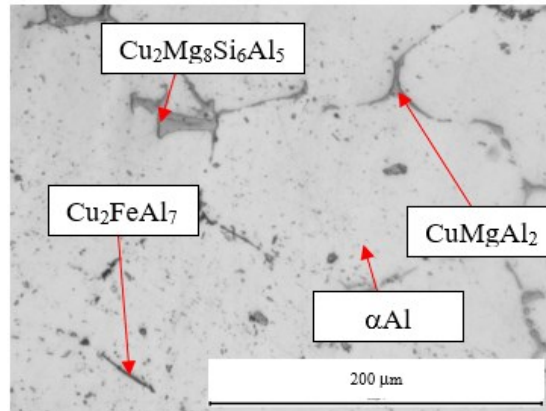
Struktur terdiri dari jaringan partikel silikon (abu-abu tua, bersudut) dalam eutektik aluminium-silikon interdendritik yang terpisah dan partikel fase $\text{Cu}_2\text{Mg}_8\text{Si}_6\text{Al}_5$ (abu-abu muda, seperti aksara)



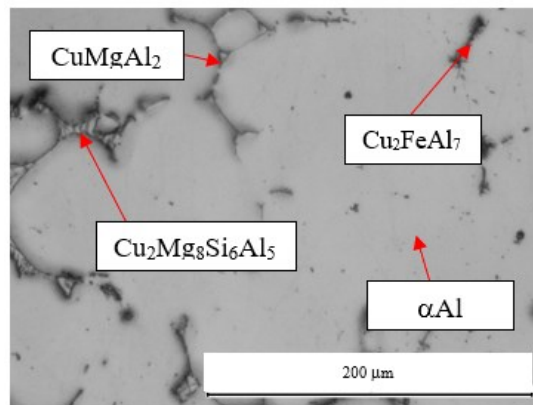
Gambar 13. Struktur Mikro Paduan Aluminium (ASM Handbook Vol.9,1992)

Struktur terdiri dari jaringan interdendritik silikon eutektik (abu-abu tua, tajam), $\text{Cu}_2\text{Mg}_8\text{Si}_6\text{Al}_5$ (skrip abu-abu muda), $\text{Fe}_2\text{Si}_2\text{Al}_9$ (bilah abu-abu sedang), dan Mg_2Si (hitam, di sebelah kiri)

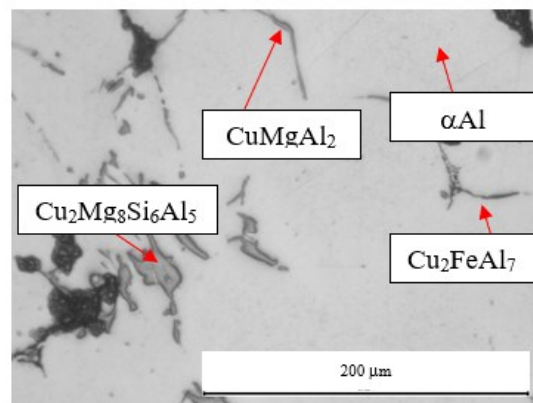
Berdasarkan hasil pengamatan pada pengujian struktur mikro pada variasi ketinggian saluran turun 40 mm, 60 mm, 80 mm didapatkan hasil struktur mikro pada gambar sebagai berikut:



Gambar 14. Struktur Mikro Ketinggian Saluran Turun 40 mm



Gambar 15. Struktur Mikro Ketinggian Saluran Turun 60 mm



Gambar 16. Struktur Mikro Ketinggian Saluran Turun 80 mm

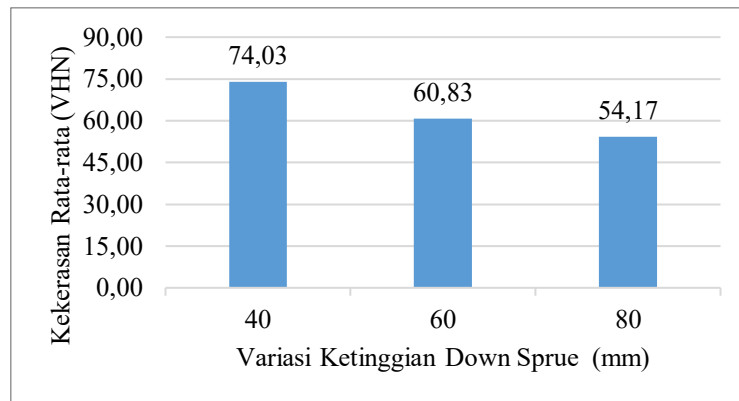
Berdasarkan hasil pengujian struktur mikro menunjukkan bahwa ada perbedaan struktur yang terjadi pada setiap hasil cor masing – masing variasi ketinggian saluran turun. Menggunakan acuan dari *ASM Handbook* Vol. 9 dapat disimpulkan bahwa pada tiap variasi memiliki unsur yang saling mengikat seperti Cu-Mg-Al yang terdiri jaringan berbentuk bintang – bintang yang menyebar merata, CuMgAl_2 yang berbentuk seperti percabangan pohon yang terarah dengan warna abu abu. Cu_2FeAl_7 yang berbentuk bilah memanjang dengan warna abu – abu sedang. $\text{Cu}_2\text{Mg}_8\text{Si}_6\text{Al}_5$ yang berbentuk seperti skrip/aksara yang berwarna abu-abu muda. αAl yang berwarna abu – abu paling terang dan paling banyak.

3.6 Hasil dan Analisa Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan ini dilakukan dengan metode *Vickers Hardness Number* (VHN) yang bertujuan untuk mengetahui nilai kekerasan pada setiap titik yang diuji pada spesimen aluminium yang telah dilakukan pengecoran dengan variasi ketinggian saluran turun yaitu 40 mm, 60 mm, 80 mm. 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 kgf 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	d2	Kekerasan (VHN)	Kekerasan Rata-Rata (VHN)
40	Titik Uji 1	51.31	49.26	73.30	74.03
	Titik Uji 2	49.56	50.23	74.40	
	Titik Uji 3	50.99	50.76	74.40	
60	Titik Uji 1	54.33	56.86	60.00	60.83
	Titik Uji 2	55.26	55.05	60.90	
	Titik Uji 3	52.81	56.87	61.60	
80	Titik Uji 1	58.87	60.36	52.10	54.17
	Titik Uji 2	55.76	56.82	58.50	
	Titik Uji 3	59.4	60.05	51.90	



Gambar 17. Histogram Hasil Pengujian Kekerasan

Hasil perhitungan nilai kekerasan *vickers* menunjukkan bahwa ketinggian saluran turun pada pengecoran berpengaruh terhadap nilai kekerasan hasil pengecoran aluminium. Berdasarkan tabel 5. rata – rata nilai kekerasan *vickers* yang telah diperoleh menunjukkan bahwa ketinggian saluran turun 40 mm memiliki nilai kekerasan yang paling tinggi yaitu 74,03 VHN, ketinggian saluran turun 60 mm dengan nilai kekerasan sebesar 60,83 VHN, dan nilai kekerasan terendah terdapat pada ketinggian saluran turun 80 mm yaitu sebesar 54.17 VHN.

Nilai kekerasan bisa berhubungan dengan kecepatan penuangan dengan waktu pembekuan. Penuangan logam cair dalam waktu sesingkat mungkin akan mempengaruhi panjang alir dan proses pembekuan. Semakin cepat logam cair memenuhi rongga cetakan maka proses pembekuan akan semakin cepat. Hal ini yang menyebabkan kekerasan pada ketinggian saluran turun 40 mm mempunyai nilai kekerasan yang paling tinggi karena variasi ini merupakan ketinggian saluran turun paling rendah dengan ketinggian 40 mm, sedangkan variasi yang lain yaitu pada ketinggian saluran 60 mm dan 80 mm, sehingga laju aliran logam cair lebih cepat memenuhi rongga – rongga cetakan sebelum proses pembekuan logam cair dari cawang tuang dan saluran turun.

Tinggi sprue mempunyai pengaruh terhadap intensitas turbulensi. Semakin besar tinggi sprue maka semakin besar kecepatan aliran logam cair, dengan demikian semakin besar pula intensitas turbulensi yang terjadi. Tinggi sprue juga berpengaruh terhadap fraksi volume udara maksimum yang terperangkap dalam logam. Semakin besar tinggi sprue maka semakin besar kecepatan aliran logam, sehingga intensitas turbulensi juga meningkat. Hal ini menyebabkan adanya udara yang terperangkap dalam logam cair (Farid, dkk, 2020).

4 PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, analisis data dan pembahasan tentang pengaruh variasi ketinggian saluran turun pada pengecoran aluminium 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 bahwa ketinggian saluran turun 80 mm memiliki nilai penyusutan yang paling besar 3,44 %, sedangkan untuk ketinggian saluran turun 60 mm sebesar 2,72 % dan nilai penyusutan paling kecil dengan ketinggian saluran turun 40 mm sebesar 1,77 %. Hal ini disebabkan karena banyaknya logam menyusut selama proses pembekuan yang disebabkan oleh ketinggian saluran turun yang terlalu tinggi.
3. Hasil pengujian densitas menunjukkan nilai tertinggi pada ketinggian saluran turun 40 mm sebesar 3,04 dan ketinggian saluran turun 60 mm sebesar 2,83, dan didapatkan nilai densitas terendah pada ketinggian saluran turun 80 mm sebesar 2,76. Semakin tinggi nilai densitas (porositas rendah) maka semakin tinggi kepadatan spesimen. Sebaliknya, semakin rendah nilai densitas (porositas tinggi) maka semakin rendah pula kepadatan spesimennya.
4. Hasil pengujian struktur mikro terdapat unsur paduan Al-Mg-Si pada masing – masing variasi ketinggian saluran turun yang berperan dalam meningkatkan kekuatan material aluminium. pada setiap variasi memiliki unsur yang saling mengikat seperti Cu-Mg-Al yang terdiri jaringan berbentuk bintik – bintik yang menyebar merata, CuMgAl_2 yang berbentuk seperti percabangan poho yang terarah dengan warna abu abu. Cu_2FeAl_7 yang berbentuk bilah memanjang dengan warna abu – abu sedang. $\text{Cu}_2\text{Mg}_8\text{Si}_6\text{Al}_5$ yang berbentuk seperti skrip/aksara yang berwarna abu-abu muda.

5. Variasi Ketinggian saluran turun dapat mempengaruhi nilai kekerasan aluminium. Setelah melakukan pengujian kekerasan dengan metode *vickers* pada tiga titik pengujian kekerasan pada spesimen menunjukkan bahwa nilai rata – rata tertinggi pada ketinggian saluran turun 40 mm sebesar 74,03 VHN, rata rata nilai kekerasan pada ketinggian saluran turun 60 mm sebesar 60,83 VHN, dan nilai rata – rata kekerasan terendah pada ketinggian saluran turun 80 mm sebesar 54,17 VHN.

4.2 Saran

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

1. Apabila menginginkan hasil produk pengecoran yang maksimal dari sifat mekanik dan sifat fisik dapat menggunakan ketinggian saluran turun 40 mm.
2. Perlu dilakukan penelitian terhadap komposisi pada *ceramic slurry* atau cetakan gypsum untuk menghasilkan produk pengecoran yang maksimal.
3. Untuk penelitian selanjutnya yang sejenis disarankan menggunakan variasi temperatur cetakan gypsum dan temperatur tuang.
4. 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 Stuktur Mikro Dari Pengecoran Al-Si. *Jurnal Ilmiah Teknologi Dan Rekayasa*, 23(2), 146–154.
- Anwar, F. M., Hidayat, M. I. P., & Ramadhani, M. (2021). Simulasi Aliran Pada Proses Pengecoran Connecting Rod Berbahan Aluminium 7075 Untuk Mesin Motor 150 Cc Dengan Variasi Tinggi Sprue Cetakan Dan Temperatur Penuangan Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Teknik Its*, 9(2). <https://doi.org/10.12962/J23373539.V9i2.54627>
- 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 Aluminium 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](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](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.
- Endramawan, T., Dionisius, F., Sifa, A., Kusuma, B. H., & Kunci, K. (N.D.). Analisis Perbedaan Tinggi Sprue Pada Top Gating System Untuk Pengecoran Propeller Yang Bermaterial Paduan Alumunium Dari Limbah Propeller Perahu. 28–35.
- Fajar Rizki Saputra, Budi Harjanto, N. S. (2020). Pengaruh Variasi Penambahan Kadar Air Dengan Bahan Pengikat Bentonit Terhadap Karakteristik Pasir 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.
- Fox, R.W., Pritchard, P.J. and McDonald, A.T. (2011) *Introduction to Fluid Mechanics*. Wiley.
- Halliday, D., Resnick, R. and Walker, J. (2014) *Fundamentals of Physics*. Wiley.
- Hardi Sudjana. (2007). *Teknik Pengecoran*. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Departemen Pendidikan Nasional.
- Ikhsan, M., Sudarsono, S. and Endriatno, N. (2021) ‘Karakteristik Tegangan dan Regangan Tarik Pada Komposit CFRP Yang Berlubang’, *Enthalpy : Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Mesin*, 6(3), p. 100. Available at: <https://doi.org/10.55679/enthalpy.v6i3.20975>.
- 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](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.
- Kusuma, N. G., & Sidharta, I. (2014). Studi Eksperimen Pengaruh Variasi Dimensi Cil Dalam (Internal Chill) Terhadap Cacat Penyusutan (Shrinkage) Pada Pengecoran Aluminium 6061. *Jurnal Teknik Pomits*, 3(2), 271–275.
- March, R., Anggono, J., Risonarta, V. Y., Studi, P., Mesin, T., & Kristen, U. (N.D.). Tuang Paduan Timah Putih Pada Cacat Cor. 2–5.
- 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) C84800 Dan Aluminium 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.
- Rasyid, S., & M, M. (2017). Analisis Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Paduan Aluminium Adc12 Dengan Teknik Pengecoran Semi Solid (Rheocasting). Seminar Nasional Hasil Penelitian (Snpm Pnup), 2017, 1–6.
- Respati, S. M. B., Purwanto, H., & Mauluddin, M. S. (2010). Pengaruh Tekanan Dan Temperatur Cetakan Terhadap Struktur Mikro Dan Kekerasan Hasil Pengecoran Pada Material Aluminium Daur Ulang. *Prosiding Seminar Nasional & Internasional Universitas Muhammadiyah Semarang*, 284–289.
- 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 Investment Casting Menggunakan Material Aisi 316l. *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 Aluminium Alloy 2024 – T 81 Akibat Perlakuan Penuaan. *Mekanika*, 8(2), 165–171.
- Roziqin. (2017). Pengaruh Model Sistem Saluran Pada Proses Pengecoran Aluminium Daur Ulang Terhadap Struktur Mikro Dan Kekerasan. *Teknik Mesin Universitas Wahid Hasyim*, 8(1), 33–39.
- Rundman, K. B. (2000). *Metal Casting (Reference Book For My4130)*.

- Rusydi Zain, M., & Kurniawan Nasution, F. A. (2022). Pengaruh Penambahan Unsur Silikon (Si) Pada Aluminium (Al) Terhadap Kekuatan Impak Material Campuran Al-Si. *Buletin Utama Teknik*, 17(3), 253–256.
- Sudiyanto, A. (2020). Proses Pengecoran Logam Dan Analisa Cacat Pada Produk B3x6. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952., 4(March), 763–773.
- 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.
- Sujana, W., & Setiawan, A. (2010). Pengaruh Temperatur Tuang Dan Waktu Tuang Terhadap Penyusutan Silinder Coran Aluminium Dengan Cetakan Logam. *Jurnal Flywheel*, 3(1), 17–23.
- 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
- Susilowati, S.E. and Permana, S. (2020) ‘Pengaruh Bentuk Sprue Well Pada Gating System Terhadap Aliran Fluida Logam Dan Nilai Kekerasan Pada Pengecoran Aluminium Daur Ulang Menggunakan Sand Casting’, *Jurnal Kajian Teknik Mesin*, 5(2), pp. 104–115. Available at: <https://doi.org/10.52447/jktm.v5i2.4186>.
- Tata Surdia & Chijiwa Kenji. (1996). *Teknik Pengecoran Logam*. Pradnya Paramita.
- Tjitro, S. (2001). Pengaruh Bentuk Riser Terhadap Cacat Penyusutan Produk Cor Aluminium 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 Aluminium Paduan 6061 Terhadap Sifat Kekerasan, Struktur Mikro Dan Laju Korosi Dalam Larutan Hcl 1m (Issue September). Institut Teknologi Surabaya.
- Wibowo, A., Anggono, J., & Risonarta, V. Y. (2017). Modifikasi Dimensi Desain Runner Dan Sprue Well Pada Gravity Die Casting Timah Putih Untuk Mengurangi Waste Material Dan Porositas. *Universitas Kristen Petra*, 3–6. [http://download.garuda.kemdikbud.go.id/article.php?article=1235748&val=6502&title=Modifikasi Dimensi Desain Runner Dan Sprue Well Pada Gravity Die Casting Timah Putih Untuk Mengurangi Waste Material Dan Porositas](http://download.garuda.kemdikbud.go.id/article.php?article=1235748&val=6502&title=Modifikasi%20Dimensi%20Desain%20Runner%20Dan%20Sprue%20Well%20Pada%20Gravity%20Die%20Casting%20Timah%20Putih%20Untuk%20Mengurangi%20Waste%20Material%20Dan%20Porositas)
- Young, H. and D.Freedman, R.A. (2012) *University Physics with Modern Physics*. Pearson.
- Zakaria, R. (N.D.). Analisa Kekuatan Tarik Paduan Aluminium Dengan Silikon Pada Dudukan Shockbreaker Ukuran 70 X 30 X 30 Mm Risalah Zakaria. 8–13.