

PENGARUH VARIASI MEDIA PENDINGIN TERHADAP KEKERASAN DAN MIKROSTRUKTUR PADA PENGECORAN ALUMINIUM 6061

Sigit Kristiadi^{1*)}, Unung Lesmanah², Artono Raharjo³

^{1*)}Universitas Islam Malang

email: kristiadisigit@gmail.com

²Universitas Islam Malang

email: ununglesmanah@unisma.ac.id

³Universitas Islam Malang

email: artonor@unisma.ac.id

ABSTRACT

The casting and the cooling process on the metal can affect the mechanical properties and physical properties that are formed. Changes in metal properties are influenced by the type and cooling medium in the metal cooling process. This study aims to determine the effect of different cooling media (Water, Dromus, and Coolant radiator) in the Quenching process on the hardness and microstructure of Aluminum 6061 which has passed the casting stage. It can be concluded that the variations in the cooling media used affect the different levels of hardness and microstructure of the test specimens. From the test results, it was found that the Water cooling media specimen had the highest level of hardness, the smallest grain size, and the amount of α -Al matrix formed was lower than the Dromus cooling media specimen. The test object with Dromus cooling medium has a higher hardness level, smaller grain size, and the amount of α -Al matrix formed is lower than the Coolant radiator coolant media test object which has the lowest hardness level, the largest grain size, and the amount of α -Al matrix the most.

Keywords: Metal Casting, Quenching, Aluminium 6061, Hardness, Microstructure

ABSTRAK

Proses pengecoran dan proses pendinginan pada logam dapat mempengaruhi sifat mekanis dan sifat fisik yang terbentuk. Perubahan pada sifat logam dipengaruhi oleh jenis dan media pendingin pada proses pendinginan logam. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari perbedaan media pendingin (Air, Dromus, dan Coolant radiator) pada proses *quenching* terhadap kekerasan dan mikrostruktur pada Aluminium 6061 yang telah melewati tahap pengecoran. Didapatkan kesimpulan variasi media pendingin yang digunakan mempengaruhi tingkat kekerasan dan mikrostruktur benda uji yang berbeda-beda. Dari hasil pengujian didapatkan benda uji variasi media pendingin Air memiliki tingkat kekerasan tertinggi, ukuran butir terkecil, dan jumlah matriks α -Al yang terbentuk lebih rendah dibandingkan benda uji media pendingin Dromus. Benda uji dengan media pendingin Dromus memiliki tingkat kekerasan lebih tinggi, ukuran butir lebih kecil, dan jumlah matriks α -Al yang terbentuk lebih rendah dibandingkan benda uji media pendingin Coolant radiator yang memiliki tingkat kekerasan terendah, ukuran butir terbesar, dan jumlah matriks α -Al terbanyak.

Kata Kunci: Pengecoran logam; Pendinginan; Aluminium 6061; Kekerasan; Struktur Mikro.

PENDAHULUAN

Sumber daya alam terdiri dari berbagai macam material. salah satu sumber daya alam yang banyak digunakan merupakan material logam, material logam merupakan sumber potensial yang dapat dimanfaatkan sebagai penunjang dan memenuhi kebutuhan. Manfaat material logam sudah lama dinikmati oleh manusia. Material logam memiliki peran penting dalam kehidupan manusia, maka dari itu material logam terus dieksplorasi, diolah, dan dikembangkan[1]. Material logam banyak digunakan pada industri saat ini. Beberapa industri besar seperti industri bahan konstruksi, industri kendaraan menggunakan material logam untuk menciptakan produk. Material logam biasa diolah dengan beberapa cara seperti penempaan, pembentukan menggunakan mesin seperti CNC dan bubut, dan dilakukan pengecoran logam.

Teknologi yang melibatkan beragam disiplin ilmu seperti ilmu mekanika fluida, ilmu teknik, perpindahan panas, ilmu fisika, yang mana ilmu satu dengan yang lainnya saling berkaitan merupakan teknik pengecoran logam[2]. Teknologi semakin berkembang pesat selaras dengan semakin berkembangnya zaman, dengan adanya hal ini, turut mempengaruhi jumlah kebutuhan proses produksi logam guna pembangunan dan perancangan, salah satu logam yang banyak digunakan seperti baja dan aluminium.

Aluminium merupakan logam yang memiliki sifat tahan korosi dan penghantar listrik yang baik. Sifat tahan terhadap korosi ini didapatkan aluminium dengan cara, aluminium yang berkarat akan cepat terbentuk aluminium oksida (Al_2O_3). Penyebab dalam terbentuknya aluminium oksida pada aluminium yang berkarat disebabkan oleh fenomena pasivasi, pasivasi merupakan proses terbentuknya lapisan aluminium oksida (Al_2O_3) yang terjadi pada permukaan aluminium dengan cepat ketika logam bersentuhan dengan udara. lapisan aluminium oksida yang terbentuk pada permukaan aluminium dapat mencegah terjadinya oksidasi yang lebih jauh[3].

Aluminium paduan mempunyai beberapa seri. Contohnya pada aluminium tempa, seri 1xxx digunakan untuk jenis aluminium murni. beberapa seri aluminium tempa lain memiliki digit pertama yang berbeda, digit pertama yang terdapat pada seri 2xxx sampai seri 7xxx menunjukkan kelompok paduan dari aluminium, untuk digit kedua menandakan modifikasi unsur paduan. Dua angka terakhir atau digit ketiga dan digit keempat hanya digunakan untuk membedakan paduan yang dikandung aluminium dalam kelompoknya.

Aluminium seri 6xxx merupakan jenis aluminium paduan yang dapat dilakukan perlakuan panas. Aluminium 6xxx banyak digunakan pada suku cadang kendaraan, alat dan bahan konstruksi karena memiliki sifat anti-korosi, dan sifat permesinan yang baik[4]. Beberapa contoh penggunaan Al 6061 seperti bahan konstruksi, velg kendaraan, rangka sepeda, suku cadang sepeda. Aluminium seri 6061 memiliki titik lebur di temperatur 593-649°C. aluminium 6061 memiliki komposisi kimia seperti pada tabel 1 [5].

Tabel 1. Komposisi Kimia Al 6061

Senyawa	Mg	Fe	Si	Cu	Mn	V	Ti	Al
%berat	1,08	0,17	0,63	0,32	0,52	0,01	0,01	Sisa

Sumber [5]

Pengecoran logam merupakan suatu proses pembentukan logam yang sudah dirancang untuk menghasilkan suatu produk dengan cara mencairkan logam menggunakan temperatur tinggi hingga logam mencair, logam cair kemudian dilakukan penuangan ke dalam cetakan yang telah dirancang dan dilakukan pendinginan. Setiap material logam yang telah melalui perlakuan pengecoran logam akan mempengaruhi sifat logam terutama sifat mekanis dan sifat fisik pada logam. Hal yang mempengaruhi kualitas produk cor salah satunya media pendingin dan temperatur pendinginan [6].

Quenching adalah proses pendinginan secara cepat pada logam yang telah mengalami perlakuan panas. media pendingin *quenching* yang sering digunakan berupa fluida, media *quench*

udara dan gas juga digunakan pada kasus-kasus tertentu. faktor yang mempengaruhi proses *quenching* seperti suhu, viskositas media pendingin [7]. Merujuk pada penelitian[8] perbedaan jenis media pendingin yang digunakan pada proses *quenching* Al-Si mempengaruhi sifat mekanis benda uji. Sifat mekanis yang dimaksud adalah kekerasan benda uji, didapatkan beragam tingkat kekerasan pada pengujian, keberagaman tingkat kekerasan benda uji selaras dengan keberagaman media pendingin yang digunakan.

Berdasarkan penjelasan tersebut maka dilakukan penelitian tentang pengecoran aluminium 6061 yang menggunakan media pendingin yang berbeda pada proses *quenching* dan dilakukan pengujian sifat mekanis yaitu kekerasan benda uji dan sifat fisik berupa pengamatan struktur mikro benda uji.

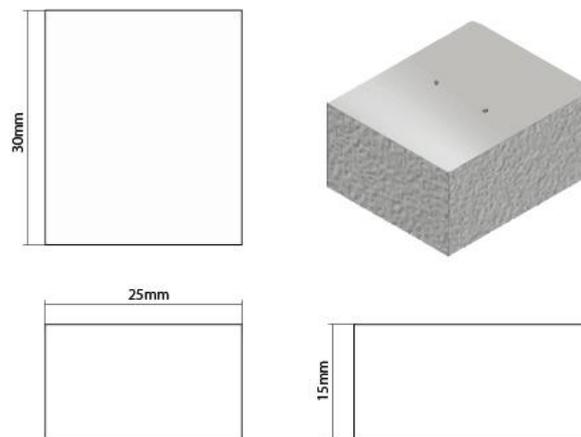
METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental langsung dengan tujuan mengetahui pengaruh variasi media pendingin (Air, Dromus, dan *Coolant radiator*) pada proses *quenching* aluminium 6061 hasil cor dengan melakukan pengujian kekerasan dan pengamatan struktur mikro. Penelitian dilakukan pada Februari 2023 – Maret 2023, peleburan dan pembuatan benda uji dilakukan di Laboratorium *Metal Casting* Universitas Brawijaya. Pengujian benda uji dilakukan di Laboratorium Pengujian Bahan Universitas Brawijaya, dan pengujian media pendingin dilakukan di Laboratorium Termodinamika UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.

Media pendingin yang digunakan adalah air, dromus, dan *coolant radiator*. Dromus adalah *solluble cutting oil* yang dicampurkan dengan air. Menurut [9] *solluble cutting oil* biasa dicampur air dengan perbandingan 1:5 sampai 1:10 sebagai contoh 1 liter *solluble cutting oil* dengan 5 liter air. Pada penelitian ini menggunakan perbandingan *solluble cutting oil* dan air dengan jumlah 1:10.

1. Pembuatan Benda Uji

Tahap awal pembuatan benda uji adalah dengan membuat pola cetakan benda uji, gambar 1 merupakan desain benda uji yang digunakan sebagai pola cetakan yang memenuhi standar minimum ketebalan benda uji untuk uji kekerasan pada ASTM E18[10].



Gambar 1. Desain Benda Uji

Setelah pola cetak terbentuk kemudian dibuatlah cetakan dengan menggunakan metode cetakan *sand casting*. Tahap selanjutnya menghidupkan tungku peleburan dan mengatur temperatur tungku peleburan sesuai dengan temperatur yang akan digunakan. Pada penelitian ini digunakan temperatur peleburan 700°C. Tahap selanjutnya saat tungku sudah mencapai temperatur 700°C dilakukan peleburan benda uji. Benda uji yang telah mencair dituang ke cetakan, dan benda uji dидiamkan selama 40 detik dengan tujuan agar benda uji saat proses pemindahan ke dalam media pendingin tidak lembek dan aman untuk dipindahkan. Benda uji dengan temperatur

tinggi diberi perlakuan *quenching* dengan menggunakan media pendingin air, dromus, dan *coolant* radiator. benda uji direndam di dalam satu jenis media pendingin hingga suhu benda uji dan suhu media pendingin sama. Benda uji yang dibuat berjumlah tiga benda uji setiap satu jenis media pendingin.

2. Pengujian Benda Uji

Benda uji dilakukan pengujian kekerasan. Setiap benda uji dilakukan dua kali pengujian kekerasan menggunakan metode uji kekerasan *Rockwell* tipe B (HRb) dengan jarak setiap titik pengujian memenuhi standar ASTM E18. Benda uji dilakukan pengamatan struktur mikro dengan dua titik pengamatan setiap benda uji untuk dilakukan analisis ukuran butir dan persentase matriks α -Al yang terbentuk. Benda uji sebelum dilakukan pengamatan struktur mikro dilakukan penghalusan permukaan bertahap menggunakan amplas (*sand paper*) dengan grit 80 – 1500 kemudian dipoles menggunakan *metal polishing gel* dan dilakukan etsa dengan mengikuti standar etsa ASTM E407 untuk aluminium seri 6000.

Hasil pengamatan struktur mikro akan tersedia berupa gambar kemudian dilakukan analisis menggunakan *software "Image J"* untuk mendapatkan data dari gambar struktur mikro benda uji berupa persentase matriks α -Al dan data ukuran butir yang terbentuk.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian pada benda uji menghasilkan beberapa data kekerasan dan data struktur mikro yang beragam.

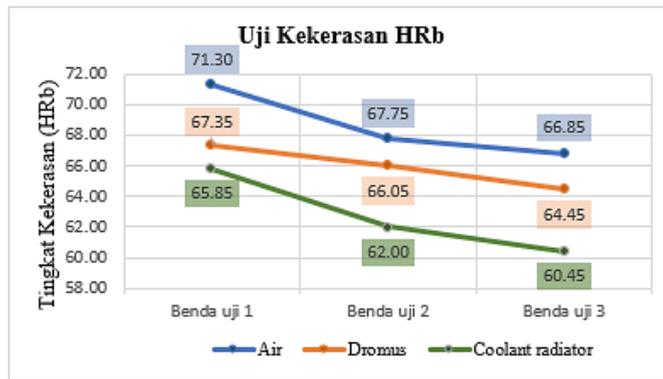
1. Kekerasan

Pengujian sifat mekanis benda uji yang dipilih merupakan pengujian kekerasan, pengujian kekerasan menggunakan metode *Rockwell* tipe B (HRb). Benda uji yang dilakukan pengujian berjumlah 9 benda uji. Penekanan uji kekerasan berjumlah 2 titik setiap benda uji dan didapatkan data pada tabel 2.

Tabel 2. Data Pengujian Kekerasan

Media	Nilai Kekerasan (HRb)			
	Titik Uji Benda Uji	1.	2.	\bar{X}
Air	1.	72,5	70,1	71,30
	2.	68,2	67,3	67,75
	3.	67,3	66,4	66,85
Dromus	1.	67,6	67,1	67,35
	2.	65,7	66,4	66,05
	3.	65,2	63,7	64,45
<i>Coolant</i> radiator	1.	66,4	65,3	65,85
	2.	61,5	62,5	62,00
	3.	61,4	59,5	60,45

Berdasarkan data tabel 2. Dibuatlah grafik hubungan tingkat kekerasan dengan variasi media pendingin dari hasil pengecoran aluminium 6061 yang di *quenching* menggunakan variasi media pendingin.



Gambar 2. Grafik Hubungan Nilai Kekerasan Dengan Variasi Media Pendingin

Dari gambar 2. Tingkat kekerasan *Rockwell* tipe B aluminium 6061 yang didinginkan secara cepat menggunakan tiga variasi media pendingin yang berbeda-beda memiliki tingkat kekerasan yang berbeda-beda, nilai kekerasan tiga buah benda uji dengan variasi media pendingin air sebesar 71,30 HRb, 67,75 HRb, dan 66,85 HRb dan diambil nilai rata-rata kekerasan benda uji media pendingin air sebesar 68,6 HRb. Nilai kekerasan tiga benda uji dengan variasi media pendingin dromus sebesar 67,35 HRb, 66,05 HRb, dan 64,45 HRb dan diambil nilai rata-rata kekerasan benda uji media pendingin dromus sebesar 65,9 HRb. Sedangkan nilai kekerasan tiga spesimen dengan variasi media pendingin *coolant* radiator sebesar 65,85 HRb, 62,00 HRb, dan 60,45 HRb dan diambil nilai rata-rata kekerasan benda uji media pendingin *coolant* radiator sebesar 62,8 HRb.

Berdasarkan data nilai kekerasan yang didapatkan dapat diurutkan nilai rata-rata uji kekerasan dari yang tertinggi hingga terendah. Nilai rata-rata kekerasan tertinggi terjadi pada benda uji dengan media pendingin air dengan nilai rata-rata kekerasan 68,6 HRb, nilai rata-rata uji kekerasan benda uji media pendingin dromus sebesar 65,9 HRb, nilai rata-rata uji kekerasan terendah terjadi pada benda uji media pendingin *coolant* radiator dengan nilai rata-rata kekerasan 62,8 HRb. Hal yang mempengaruhi tingkat kekerasan benda uji yaitu laju pendinginan pada proses *quenching*, semakin cepat laju pendinginan akan menghasilkan benda uji yang memiliki tingkat kekerasan yang lebih baik [6]. Laju pendinginan dipengaruhi beberapa faktor, salah satu faktor adalah viskositas fluida media pendingin, semakin tinggi tingkat viskositas media pendingin maka semakin lambat laju pendinginan karena perpindahan panas dari benda uji ke media pendingin akan buruk [7].

Fluida media pendingin yang digunakan pada penelitian ini dilakukan pengujian untuk mengetahui tingkat viskositas setiap media pendingin. Viskositas air sebesar 0,8903cP [11], viskositas dromus sebesar 3cP, dan *coolant* radiator memiliki viskositas tertinggi sebesar 4cP. Pengujian tingkat viskositas dilakukan menggunakan *SNB Rotary Viscometer Digital*.

Setelah data uji kekerasan didapatkan kemudian dilakukan analisa data menggunakan metode ANOVA satu arah untuk mengetahui pengaruh variasi media pendingin terhadap nilai kekerasan aluminium 6061 cor. Hasil analisa diperoleh sebagai berikut.

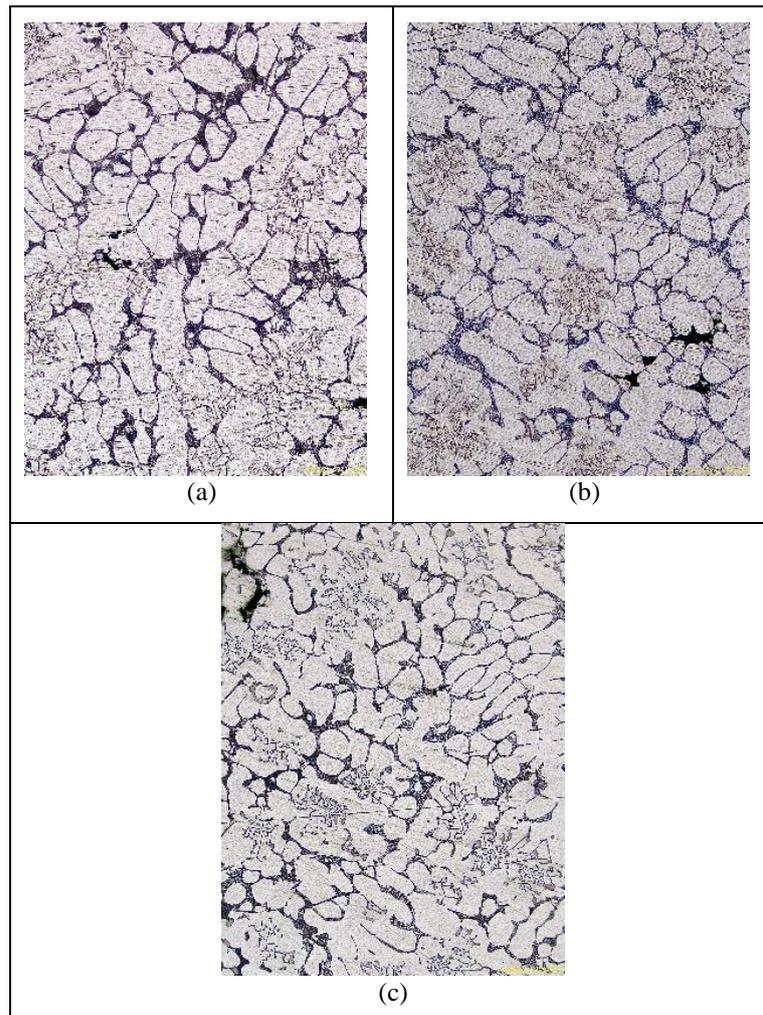
Tabel 3. Data Anova Satu Arah Nilai Kekerasan

Sumber Variansi	Jumlah Kuadrat	Derajat Bebas	Rata-rata Kuadrat	F _{hitung}	F _{tabel}
Antar kelompok	103,503	2	51,751	11,153	3,682
Dalam kelompok	69,602	15	4,640		
Total	173,105	17			

Berdasarkan data pada tabel 3 maka didapatkan kesimpulan, bahwa $F_{hitung} (11,153) > F_{tabel} (3,682)$ dengan $\alpha = 0,05$. Menandakan terdapat perbedaan signifikan nilai rata-rata kekerasan Aluminium 6061 yang mengalami *quenching* menggunakan media pendingin Air, Dromus, dan *Coolant* radiator.

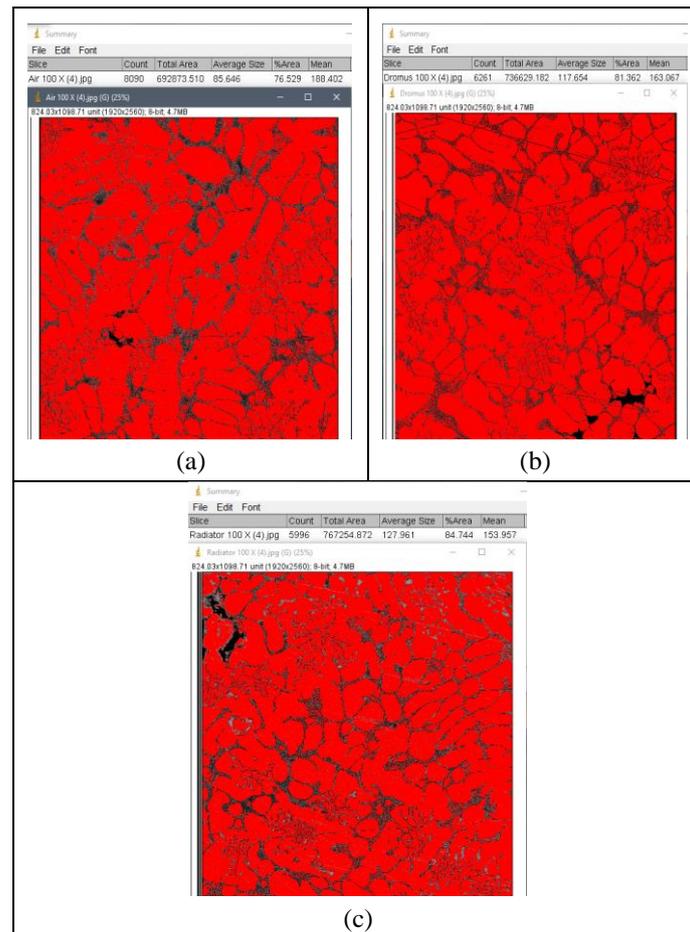
2. Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro dilakukan menggunakan mikroskop metalografi “*Olympus BX53M Trinocular*” yang terhubung dengan komputer sebagai alat pengambil data berupa gambar. Pengamatan dilakukan menggunakan lensa pembesaran 100X Dilakukan pengambilan gambar dengan jumlah 2 titik setiap satu benda uji dengan total 18 gambar struktur mikro, dan didapatkan data sebagai berikut.



Gambar 3. Struktur Mikro Benda Uji Pembesaran 100X (a) Air (b) Dromus (c) *Coolant* Radiator

Hasil gambar pengamatan struktur mikro pada gambar 3. Merupakan salah satu perwakilan gambar dari setiap perlakuan yang didapatkan oleh benda uji. Beberapa gambar mikrostruktur benda uji lainnya tidak ditampilkan, semua gambar struktur mikro dilakukan analisis dan didapatkan beberapa data. Secara kasat mata dari setiap gambar struktur mikro benda uji yang berbeda memiliki struktur mikro yang hampir sama. Untuk mencari perbedaan pada setiap gambar struktur mikro dilakukan analisis menggunakan bantuan *software* pengolah gambar “*Image J*” dan didapatkan data berupa persentase α -Al dan ukuran butir yang terbentuk.

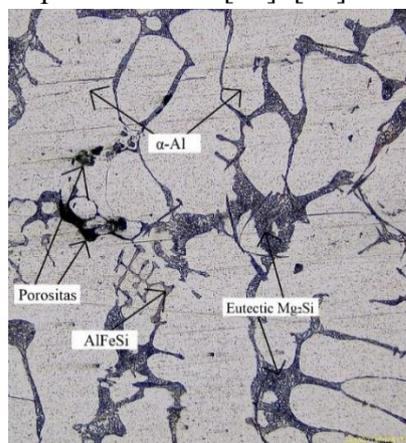


Gambar 4. Analisis Struktur Mikro Benda Uji (a) Air (b) Dromus (c) Coolant Radiator

Gambar 4 merupakan Hasil analisis menggunakan *software “Image J”*. Analisis menggunakan bantuan *software “Image J”* menghasilkan beberapa data persentase area α dan ukuran butir yang terbentuk.

a. Jumlah Persentase Fasa

Pada gambar struktur mikro benda uji terdapat perbedaan warna untuk fasa yang terbentuk, beberapa fasa pada struktur mikro benda uji dapat dilihat pada gambar 5. Beberapa fasa yang terkandung pada struktur mikro benda uji Al 6061 yaitu untuk matriks α -Al yang berwarna silver, kemudian fasa β -Mg₂Si berwarna hitam yang terbentuk secara merata, dan fasa berwarna keabu-abuan merupakan AlFeSi [12]–[14].



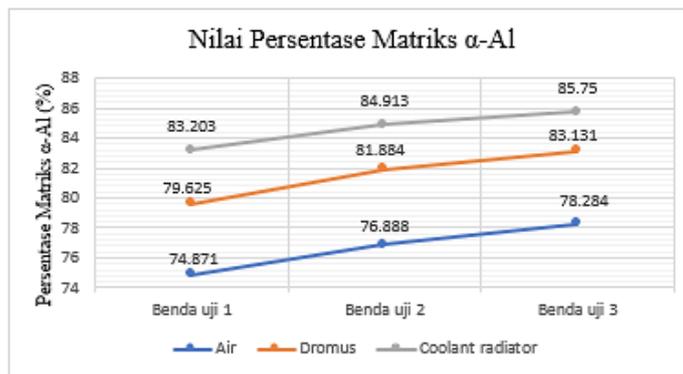
Gambar 5. Fasa Pada Struktur Mikro Benda Uji Pembesaran 200X

Hasil analisis gambar menggunakan “Image J” menganalisis jumlah persentase matriks α -Al yang terbentuk dan mendapatkan beberapa data jumlah persentase α -Al pada tabel 4.

Tabel 4. Data Persentase Matriks α -Al

Media Pendingin	Matriks α -Al (%)			
	Titik uji Benda uji	1	2	\bar{X}
Air	1.	75,328	74,413	74,871
	2.	77,247	76,529	76,888
	3.	78,716	77,852	78,284
Dromus	1.	79,235	80,014	79,625
	2.	82,406	81,362	81,884
	3.	83,417	82,845	83,131
Coolant radiator	1.	83,707	82,698	83,203
	2.	85,082	84,744	84,913
	3.	86,249	85,250	85,750

Berdasarkan data pada tabel 2 dapat dibuat grafik hubungan persentase matriks α -Al dengan variasi media pendingin dari hasil pengecoran aluminium 6061 yang di *quenching* menggunakan variasi media pendingin.



Gambar 6. Grafik Hubungan Jumlah Matriks α -Al Dengan Variasi Media Pendingin

Keseluruhan percobaan *quenching* terhadap benda uji menggunakan variasi media pendingin yang dilakukan mendapatkan beberapa data persentase matriks α -Al. Nilai persentase matriks α -Al tiga benda uji dengan variasi media pendingin air sebesar 74,871%, 76,888%, dan 78,284% dan diambil nilai rata-rata persentase matriks α -Al benda uji media pendingin air sebesar 76,681%. Nilai persentase matriks α -Al tiga benda uji dengan variasi media pendingin dromus sebesar 79,625%, 81,884%, dan 83,131% dan diambil nilai rata-rata persentase matriks α -Al benda uji media pendingin dromus sebesar 81,547%. Sedangkan nilai persentase matriks α -Al tiga spesimen dengan variasi media pendingin *coolant* radiator sebesar 83,203%, 84,913%, 85,750% dan diambil nilai rata-rata persentase matriks α -Al benda uji media pendingin *coolant* radiator sebesar 84,622%.

Berdasarkan data nilai persentase matriks α -Al yang didapatkan dapat diurutkan nilai rata-rata persentase matriks α -Al benda uji dari yang tertinggi hingga terendah. Benda uji dengan media pendingin *coolant* radiator memiliki persentase matriks α -Al tertinggi sebesar 84,622% hal ini menandakan benda uji media pendingin *coolant* radiator memiliki fasa β -Mg₂Si sebesar 15,378% saja. Benda uji dengan media pendingin dromus memiliki persentase matriks α -Al sebesar 81,547% hal ini menandakan benda uji media pendingin dromus memiliki fasa β -Mg₂Si sebesar 18,453%. Benda uji dengan media pendingin air memiliki

persentase matriks α -Al terendah sebesar 76,681% hal ini menandakan benda uji media pendingin air memiliki fasa β -Mg₂Si terbanyak sebesar 23,319%.

Beragamnya kandungan fasa yang terbentuk pada struktur mikro benda uji dipengaruhi oleh laju pendinginan pada proses *Quenching*, semakin rendah laju pendinginan maka akan terbentuk fasa β -Mg₂Si yang rendah, begitu pula sebaliknya, fasa β -Mg₂Si yang terbentuk secara merata dapat menghambat pergerakan dislokasi yang dapat meningkatkan sifat mekanis [15]. Senyawa intermetalik Mg₂Si yang terbentuk dapat menyebabkan kenaikan sifat mekanis dari aluminium [16].

Setelah data persentase matriks α -Al didapatkan kemudian dilakukan analisa data menggunakan metode ANOVA satu arah untuk mengetahui pengaruh variasi media pendingin terhadap persentase matriks α -Al. Hasil analisa diperoleh sebagai berikut.

Tabel 5. Data Anova Satu Arah Jumlah Matriks α -Al

Sumber Variansi	Jumlah Kuadrat	Derajat Bebas	Rata-rata Kuadrat	F _{hitung}	F _{tabel}
Antar kelompok	192,376	2	96,188	42,095	3,682
Dalam kelompok	34,287	15	2,285		
Total	226,663	17			

Berdasarkan data anova pada tabel 5 maka didapatkan kesimpulan, bahwa F_{hitung} (42,095) > F_{tabel} (3,682) dengan $\alpha = 0,05$. Menandakan terdapat perbedaan signifikan jumlah matriks α -Al Aluminium 6061 yang mengalami *quenching* menggunakan media pendingin Air, Dromus, dan *Coolant* radiator.

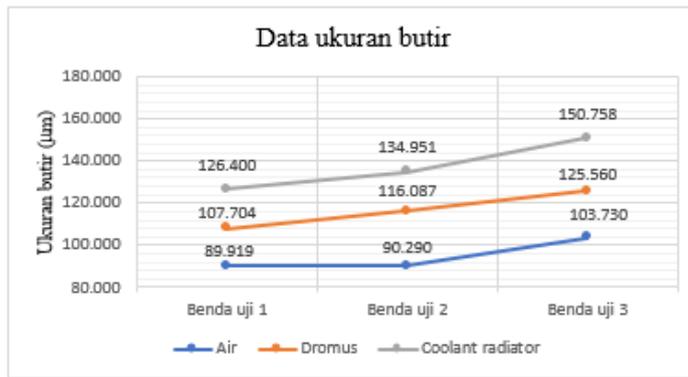
b. Ukuran Butir

Hasil analisis gambar struktur mikro menggunakan *software “Image J”* menghasilkan data ukuran butir pada tiap gambar struktur mikro benda uji. Beberapa data yang didapatkan terdapat perbedaan ukuran butir pada struktur mikro benda uji, data ukuran butir terdapat pada tabel 6.

Tabel 6. Data Ukuran Butir

Media pendingin	Ukuran Butir (μm)			
	Titik uji Benda uji	1.	2.	\bar{x}
Air	1.	91,566	87,919	89,743
	2.	94,933	85,646	90,290
	3.	95,151	112,309	103,730
Dromus	1.	110,434	104,974	107,704
	2.	114,519	117,654	116,087
	3.	125,601	125,519	125,560
<i>Coolant</i> radiator	1.	129,593	123,207	126,400
	2.	141,941	127,961	134,951
	3.	151,900	149,617	150,758

Data analisis struktur mikro menggunakan *software “Image J”* yang didapatkan pada tabel 6 dapat dibuat grafik hubungan ukuran butir dengan variasi media pendingin yang digunakan.



Gambar 7. Grafik Hubungan Ukuran butir dengan Variasi Media Pendingin

Berdasarkan data analisis struktur mikro benda uji didapatkan ukuran butir yang berbeda-beda. Ukuran butir tiga benda uji dengan variasi media pendingin air sebesar 89,919µm, 90,290µm , dan 103,730µm dan diambil nilai rata-rata ukuran butir benda uji media pendingin air sebesar 94,587µm. Ukuran butiran tiga buah benda uji dengan variasi media pendingin dromus memiliki ukuran butir 107,704µm, 116,087µm, dan 125,560µm dan rata-rata ukuran butir benda uji dengan variasi media pendingin dromus sebesar 116,450µm. Sedangkan ukuran butir tiga benda uji dengan variasi media pendingin *coolant* radiator berada pada ukuran 126,400µm, 134,951µm, dan 150,758µm. Rata-rata ukuran butir benda uji dengan variasi media pendingin *coolant* radiator sebesar 137,369µm.

Data yang didapatkan jika diurutkan dari ukuran butir terbesar benda uji dengan media pendingin *coolant* radiator memiliki ukuran butir terbesar 137,369µm. Ukuran butir benda uji dengan media pendingin dromus memiliki ukuran butir sebesar 116,450µm. Ukuran butir terkecil (halus) terbentuk pada benda uji media pendingin air dengan ukuran butir sebesar 94,587µm. Ukuran butir yang terbentuk pada benda uji mempengaruhi sifat mekanis benda uji seperti sifat kekerasan benda uji, yang mana semakin kecil (halus) butiran yang terbentuk pada benda uji semakin tinggi kekerasan logam tersebut, hal ini dikarenakan logam yang memiliki ukuran butiran kecil lebih memiliki kemampuan menahan pergerakan dislokasi dibandingkan dengan logam yang memiliki ukuran butiran lebih besar. Terbentuknya ukuran butiran terjadi akibat pengaruh laju pendinginan, kecepatan pendinginan yang lambat akan membentuk ukuran butir yang besar dan sebaliknya ukuran butir yang halus (kecil) terbentuk akibat pendinginan yang cepat [17].

Setelah data ukuran butir didapatkan kemudian dilakukan analisa data menggunakan metode ANOVA satu arah untuk mengetahui pengaruh variasi media pendingin terhadap ukuran butir. Hasil analisa diperoleh sebagai berikut.

Tabel 7. Data Anova Ukuran Butir

Sumber Variansi	Jumlah Kuadrat	Derajat Bebas	Rata-rata Kuadrat	F _{hitung}	F _{tabel}
Antar kelompok	5491,9164	2	2745,9582	27,081	3,682
Dalam kelompok	1518,6996	15	101,2466		
Total	7010,6161	17			

KESIMPULAN

Hasil penelitian aluminium 6061 yang dilebur kemudian di*quenching* menggunakan tiga jenis variasi media pendingin yang berbeda menghasilkan beberapa kesimpulan.

1. Perlakuan *quenching* menggunakan tiga jenis variasi media pendingin yang berbeda (Air, Dromus, dan *Coolant radiator*) pada aluminium 6061 yang telah mengalami peleburan terlebih dahulu mendapatkan kesimpulan perbedaan variasi media pendingin yang digunakan pada proses *quenching* menghasilkan benda uji dengan tingkat kekerasan yang berbeda. Benda uji dengan variasi media pendingin air memiliki tingkat kekerasan tertinggi (68,6HRb) dibandingkan dengan benda uji dengan variasi media pendingin dromus (65,9HRb), benda uji dengan variasi pendinginan dromus memiliki tingkat kekerasan lebih tinggi diperbandingkan dengan benda uji dengan variasi media pendingin *coolant radiator* yang memiliki tingkat kekerasan terendah dalam penelitian ini (62,8HRb).
2. Variasi media pendingin yang berbeda (Air, Dromus, dan *Coolant radiator*) pada penelitian ini mempengaruhi struktur mikro benda uji, pada struktur mikro benda uji yang terpengaruh seperti persentase fasa dan ukuran butir yang terbentuk. Jumlah persentase fasa yang terbentuk pada benda uji memiliki jumlah yang berbeda beda. Semakin banyak fasa α yang terbentuk maka semakin rendah jumlah fasa β yang terbentuk, yang mana fasa β pada Al6061 merupakan senyawa Mg₂Si yang dapat menaikkan sifat mekanis. Benda uji media pendingin air memiliki ukuran butir terendah dan memiliki jumlah persentase matriks α -Al terendah dibandingkan dengan benda uji media pendingin dromus. Benda uji dengan variasi media pendingin dromus memiliki ukuran butir yang lebih kecil dan jumlah persentase matriks α -Al lebih rendah dibandingkan dengan benda uji media pendingin *coolant radiator* yang memiliki ukuran butir terbesar dan jumlah persentase matriks α -Al terbanyak pada penelitian ini.
3. Pada penelitian ini disimpulkan benda uji dengan tingkat kekerasan tertinggi memiliki ukuran butir yang terbentuk lebih kecil (halus) dan memiliki jumlah persentase matriks α -Al yang rendah dan mengandung fasa β -Mg₂Si tertinggi.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] H. Sudjana, *Teknik Pengecoran*. 2008.
- [2] S. Khoiruddin, P. Hartono, and U. Lesmanah, "Silika Pada Pembuatan Inti Terhadap Kekasaran Produk Hasil Cor," *J. Tek. Mesin*, pp. 1–6, 2019.
- [3] Kokok Cong Jiwo Rogo. Geger, "Pengaruh Variasi Suhu Tuang Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Pada Hasil Remelting Aluminium Tromol Supra X Dengan Cetakan Logam," *J. Ilm. Pendidik. Tek. Mesin*, 2013.
- [4] M. Nafi, "Analisis Kekerasan AL-6061 Hasil Cor Dengan Perlakuan Panas Double Quenching," no. June, 2016.
- [5] T. V. Christy, N. Murugan, and S. Kumar, "A Comparative Study on the Microstructures and Mechanical Properties of Al 6061 Alloy and the MMC Al 6061/TiB₂/12P," *J. Miner. Mater. Charact. Eng.*, vol. 09, no. 01, pp. 57–65, 2010, doi: 10.4236/jmmce.2010.91005.
- [6] M. Masyrukan, "Pengaruh Variasi Temperatur Air Sebagai Pendinginan Terhadap Karakteristik Coran Aluminium Dengan Media Cetakan Pasir Co₂," *Media Mesin Maj. Tek. Mesin*, vol. 20, no. 2, pp. 25–31, 2019, doi: 10.23917/mesin.v20i2.8532.
- [7] T. V. Rajan, C. P. Sharma, and A. Sharma, *Heat Treatment: Principles and Techniques, Second Edition*, 2nd ed. New Delhi: Asoke K. Ghosh, PHI Learning Private Limited, M-97, Connaught Circus, New Delhi-110001, 2011.
- [8] Y. C. Pamungkas, Wahono, and P. Trihutomo, "Identifikasi tingkat kekerasan paduan Al-Si yang di-quenching dengan variasi media pendingin dan waktu pencelupan," no. 2, pp. 1–6, 2016.
- [9] N. Pradita, B. Suroso, and M. M, "Pengaruh Cairan Pendingin Minyak Dromus Pada Material Kuningan Terhadap Kekasaran Permukaan Dengan Menggunakan Mesin Bubut

- Bergerinda,” *J. Ekon. Vol. 18, Nomor 1 Maret 201*, vol. 2, no. 1, pp. 41–49, 2020.
- [10] ASTM International, “Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials,” *ASTM E18-15*, p. 38, 2015, doi: 10.1520/E0018-15.2.
- [11] L. Korson, W. Drost-Hansen, and F. J. Millero, “Viscosity of Water at Various Temperatures,” *J. Phys. Chem.*, vol. 73, pp. 34–39, 1968.
- [12] Y. L. Liu, S. B. Kang, and H. W. Kim, “Complex microstructures in an as-cast Al-Mg-Si alloy,” *Mater. Lett.*, vol. 41, no. 6, pp. 267–272, 1999, doi: 10.1016/S0167-577X(99)00141-X.
- [13] T. Surdia and K. Chijiwa, *Teknik Pengecoran Logam*, 9th ed. Jakarta: Pradnya Paramita, 2006.
- [14] R. toat Wicaksono, Suharno, and B. Harjanto, “Pengaruh Kuat Arus Pada Pengelasan Paduan Aluminium 6061 Dengan Menggunakan Metode Las TIG Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro,” *J. Pendidik. Tek. Mesin Undiksha*, vol. 10, pp. 37–44, 2019, [Online]. Available: <http://10.0.93.79/jptm.v10i2.51606>.
- [15] S. Seifeddine, G. Timelli, and I. L. Svensson, “Influence of Quench Rate on The Microstructure and Mechanical Properties of Aluminium Alloys A356 and A354,” *Int. Foundry Res.*, vol. 59, no. 1, pp. 2–10, 2007.
- [16] S. dan R. F. Susri Mizhar, “Pengaruh Penambahan Magnesium Terhadap Kekerasan, Kekuatan Impak Dan Struktur Mikro Pada Aluminium Paduan (Al-Si) Dengan Metode Lost Foam Casting,” vol. 2, no. 2, pp. 77–84, 2016.
- [17] S. Suhardan and R. Kohar, “Pengaruh Variasi Temperatur Normalizing Terhadap Besar Butir Dan Kekerasan Material Baja Karbon Aisi 1035,” *Turbul. J. Tek. Mesin*, vol. 2, no. 2, p. 62, 2020, doi: 10.36767/turbulen.v2i2.550.