

BAB IV DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data

4.1.1 Data Pengukuran Kuat Medan Magnet

Sebelum dilakukan proses pengecoran pada cetakan pasir dengan variasi penambahan gaya Lorentz, perlu diketahui berapa besar gaya Lorentz yang terjadi dalam benda cor. Untuk mengetahui berapa besar gaya Lorentz yang dibangkitkan, maka perlu dilakukan pengukuran kuat medan magnet di sekitar cetakan pasir. Berikut data hasil pengukuran kuat medan magnet di sekitar cetakan.

Tabel 4.1 Data hasil pengukuran kuat medan magnet rata-rata selenioda di sekitar cetakan.

Kuat Arus (A)	Besar Induksi Magnet (mT)
0	0
3	4,26
5	4,31
10	4,43
12	5,15
15	5,52

4.1.2 Data Perhitungan Kuat Gaya Lorentz

Perhitungan kuat gaya Lorentz pada benda cor yang dibangkitkan dengan asumsi panjang spesimen benda cor adalah 5 cm :

$$\begin{aligned} \text{Kuat Arus 0A : } F &= B \cdot I \cdot L \\ F &= 0 \cdot 0 \cdot 5 \cdot 10^{-2} \\ F &= 0 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat Arus 3A : } F &= B \cdot I \cdot L \\ F &= 4,26 \cdot 10^{-3} \cdot 3 \cdot 5 \cdot 10^{-2} \\ F &= 6,39 \cdot 10^{-4} \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat Arus 5A : } F &= B \cdot I \cdot L \\ F &= 4,31 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 5 \cdot 10^{-2} \\ F &= 10,775 \cdot 10^{-4} \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat Arus 10A : } F &= B \cdot I \cdot L \\ F &= 4,43 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \cdot 5 \cdot 10^{-2} \\ F &= 22,15 \cdot 10^{-4} \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat Arus 12A : } F &= B \cdot I \cdot L \\ F &= 5,15 \cdot 10^{-3} \cdot 12 \cdot 5 \cdot 10^{-2} \\ F &= 30,9 \cdot 10^{-4} \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat Arus 15A : } F &= B \cdot I \cdot L \\ F &= 5,52 \cdot 10^{-3} \cdot 15 \cdot 5 \cdot 10^{-2} \\ F &= 41,4 \cdot 10^{-4} \text{ N} \end{aligned}$$

4.1.3 Data Pengujian Distribusi Kekerasan

Pengujian distribusi kekerasan dilakukan dengan metode Brinell Hardness. Pengukuran distribusi kekerasan dilakukan pada jarak 2mm, 10mm dan 20mm dari permukaan luar spesimen mengarah ke dalam spesimen dari masing-masing coran. Adapun data hasil pengujian distribusi kekerasan terhadap daerah pengujian adalah sebagai berikut :

Tabel 4.2 Data hasil pengujian distribusi kekerasan rata-rata dari spesimen hasil pengecoran cetakan pasir dalam satuan BHN.

Gaya Lorentz	Ulangan	Kekerasan Daerah Butiran		
		Chill	Columnar	Equiaxed
Tanpa Perlakuan	1	67	35	36
	2	63	60	54
	3	31	66	68
Jumlah		161	161	158
Rata-rata		53.67	53.67	52.67
Gaya Lorentz 3	1	54	51	54
	2	60	64	40
	3	64	48	73
Jumlah		178	163	167
Rata-rata		59.33	54.33	55.67
Gaya Lorentz 5	1	73	43	68
	2	68	63	69
	3	54	62	43
Jumlah		195	168	180
Rata-rata		65.00	56.00	60.00
Gaya Lorentz 10	1	51	71	63
	2	66	63	70
	3	68	51	70
Jumlah		185	185	203
Rata-rata		61.67	61.67	67.67
Gaya Lorentz 12	1	54	73	74
	2	51	66	72
	3	61	68	78
Jumlah		166	207	224
Rata-rata		55.33	69.00	74.67
Gaya Lorentz 15	1	63	65	47
	2	60	45	37
	3	61	32	73
Jumlah		184	142	157
Rata-rata		61.33	47.33	52.33

4.2. Analisis Statistik

➤ Analisis Varian Data Pengujian Kekuatan *Impact*

☞ Jumlah seluruh perlakuan

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij} = 67 + 63 + 31 + \dots + 47 + 37 + 73 = 3184$$

☞ Jumlah kuadrat seluruh perlakuan

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij}^2 = 67^2 + 63^2 + 31^2 + \dots + 47^2 + 37^2 + 73^2 = 195382$$

☞ Faktor koreksi (FK)

$$\frac{\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij} \right]^2}{\sum ni} = \frac{3184^2}{3 \times 6} = 563214,22$$

☞ Jumlah kuadrat total (JK_T)

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij}^2 - FK = 195382 - 563214,22 = -367832,22$$

☞ Jumlah kuadrat perlakuan (JK_P)

$$\begin{aligned} \frac{\sum_{j=1}^k \left[\sum_{i=1}^n Y_{ij} \right]^2}{ni} - FK &= \frac{(178)^2}{3} + \frac{(163)^2}{3} + \frac{(167)^2}{3} + \dots + \frac{(142)^2}{3} + \frac{(157)^2}{3} - 563214,22 \\ &= -373045,56 \end{aligned}$$

☞ Jumlah kuadrat galat (JK_G)

$$JK_T - JK_P = -367832,22 - (-373045,56) = 5213,33$$

☞ Kuadrat tengah perlakuan (KT_P)

$$\frac{JK_P}{K-1} = \frac{5213,33}{5-1} = 74609,11$$

☞ Kuadrat tengah galat (KT_G)

$$\left[\frac{JK_G}{k(n-1)} = \frac{5213,33}{6(3-1)} = 434,44 \right]$$

☞ F hitung (F_h)

$$\frac{KT_P}{KT_G} = \frac{50,4096}{434,44} = 171,74$$

∞ F tabel

$$= F(\alpha; k; db)$$

$$= F(0,05; 3; 2) = 3,74$$

Dari hasil perhitungan diatas, dihasilkan tabel analisis varian satu arah data pengujian distribusi kekerasan seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.3 sebagai berikut:

Tabel 4.3 Analisis Varian Satu Arah Data Pengujian Distribusi Kekerasan Aluminium Paduan

Sumber Varian	Db	JK	KT	F _{hitung}	F _{tabel}
Perlakuan	5	-373045,56	74609,11	171,74	2,418
Galat	48	5213,33	434,44		
Total	53	-367832,22			

Dari tabel analisis varian satu arah diatas diperoleh hasil Fhitung > Ftabel sehingga diketahui bahwa variasi besar gaya Lorentz pada pengecoran cetakan pasir aluminium paduan (Al-Si-Mg) mempunyai pengaruh yang nyata terhadap distribusi kekerasannya.

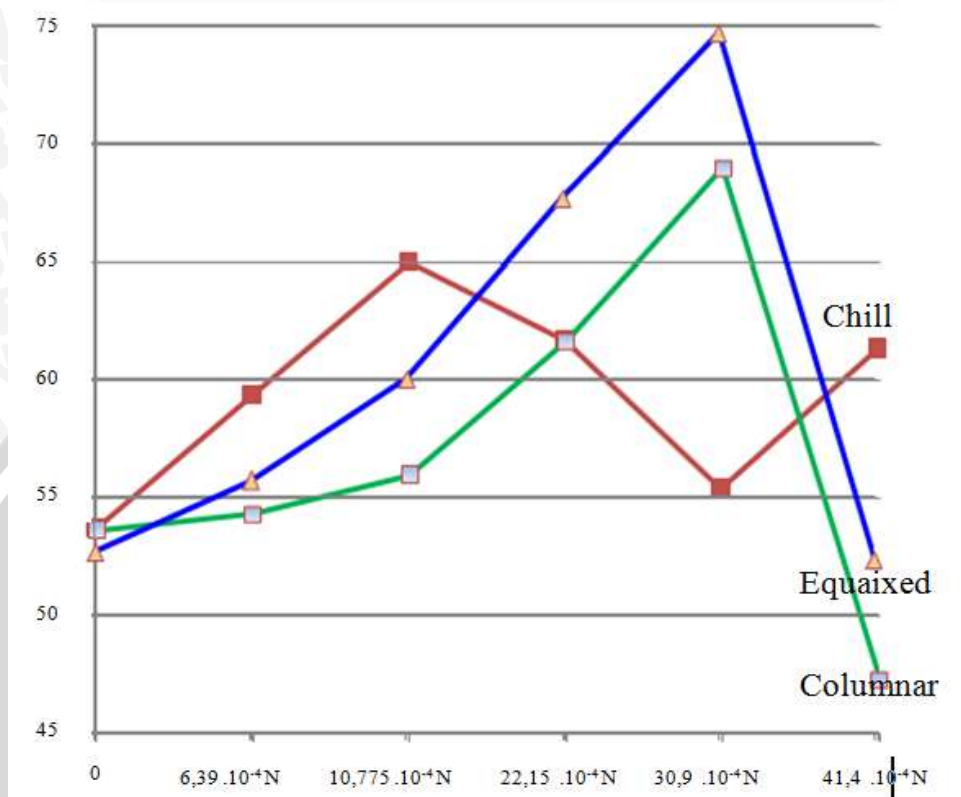
4.3. Pembahasan

Untuk memudahkan dalam menganalisa data hasil pengujian, maka data disajikan dalam bentuk grafik. Dari hasil perhitungan maka grafik dapat dibuat dengan menghubungkan antara variasi besar gaya Lorentz terhadap distribusi kekerasan untuk setiap daerah butiran. Sedangkan untuk menghubungkan antara variasi besar gaya Lorentz terhadap struktur mikro untuk setiap daerah butiran di gunakan foto mikro untuk setiap daerah butiran sehingga mudah di analisa.

4.3.1. Hubungan Variasi Gaya Lorentz Terhadap Distribusi Kekerasan Daerah Butiran

Dari data hasil analisis varian satu arah pada tabel 4.3 dapat diketahui bahwa variasi besar gaya Lorentz pada proses pengecoran cetakan pasir berpengaruh nyata terhadap distribusi kekerasan aluminium paduan (Al-Si-Mg), hal ini dapat dilihat dari nilai Fhitung > Ftabel (171,34 > 2,418). Pengaruh nyata penambahan besar gaya Lorentz adalah berupa meningkatnya nilai kekerasan aluminium paduan pada seluruh daerah butirannya seiring dengan meningkatnya

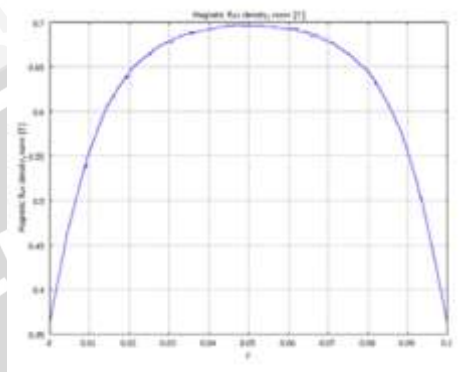
besar gaya Lorentz namun setelah mencapai titik puncak, kekerasan akan menurun kembali, kecuali pada daerah *chill* kekerasan kembali mengalami kenaikan seperti ditunjukkan pada grafik 4.1 di bawah ini.



Gambar 4.1. Grafik hubungan variasi gaya Lorentz terhadap distribusi kekerasan daerah butiran.

Berdasarkan grafik diatas dapat diketahui bahwa distribusi kekerasan pada daerah butiran pada spesimen tanpa perlakuan tidak mengalami perbedaan yang signifikan dan sesuai dan semakin ke dalam maka nilai kekerasan akan semakin mengecil karena ukuran butir semakin besar akibat laju pendinginan yang semakin lambat. Namun, mulai penambahan gaya Lorentz sebesar $6,39 \cdot 10^{-4} \text{ N}$ hingga $41,4 \cdot 10^{-4} \text{ N}$ terjadi perbedaan yang sangat signifikan antara nilai kekerasan setiap daerah butiran. Hal ini dapat dijelaskan oleh penelitian yang dilakukan oleh Vives, C. yang menyebutkan bahwa adanya aliran paksa (yang diakibatkan oleh gaya Lorentz) memungkinkan untuk menghambat pertumbuhan butir selama proses pembekuannya. Pengadukan yang terjadi menyebabkan semakin banyaknya inti yang terbentuk karena proses pemindahan inti ke dalam cairan. Dengan demikian diperoleh stuktur yang berbutir halus.

Selain itu pada penelitian ini juga digunakan frekuensi rendah 60Hz sehingga peningkatan kekerasan ini juga dapat dijelaskan oleh penelitian yang dilakukan oleh J Patarić, Z.Gulišija, B. Jordović, dan B. Nedeljković dari hasil pengamatannya di bawah pengaruh medan *electromagnetic* frekuensi rendah (30-50 Hz) produk pengecoran menunjukkan hasil struktur yang lebih halus dan homogen serta butir seragam melintang.



Gambar 4.2 Kerapatan medan magnetik diantara 2 elektroda.

Sumber : Ahmed Daoud dan Nedeltcho KandeV, 2009: 4

Dikarenakan pada penelitian ini menggunakan elektroda berjarak 10cm dan spesimen dengan bentuk kubus yang memiliki panjang sisi-sisi 5cm, serta diletakkan tepat ditengah-tengah elektroda maka besar medan magnet yang diterima oleh daerah *chill*, *columnar* dan *equiaxed* tidak mengalami perbedaan yang signifikan, sehingga besarnya gaya yang diterima untuk setiap daerah dapat diasumsikan sama. Hal ini mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Ahmed Daoud dan Nedeltcho KandeV dari hasil simulasi numerik terbentuk sebuah kurva para bola terbalik dari jarak relatif elektroda terhadap kerapatan fluks medan magnetis.

Terlihat pada grafik 4.1 daerah *chill* pada awalnya memiliki nilai yang lebih tinggi dari daerah lainnya bahkan ketika tanpa perlakuan, namun setelah gaya Lorentz $10,775 \cdot 10^{-4}$ N mengalami penurunan dan meningkat lagi pada gaya Lorentz $41,4 \cdot 10^{-4}$ N. Hal ini disebabkan karena daerah *chill* merupakan daerah yang memiliki kecepatan pendinginan paling tinggi sehingga menghasilkan butiran paling kecil. Seiring bertambahnya gaya Lorentz akan menyebabkan butiran menjadi semakin kecil dan halus sehingga kekerasan akan meningkat dikarenakan logam berbutir halus mempunyai hambatan slip yang lebih besar. (Amstead, 1991 : 22).

Selain itu karena terjadi segregasi atau pemisahan pada struktur unsur paduan aluminium (Al-Si-Mg) sehingga bahan paduan terlihat menggumpal diantara logam aluminium. Dalam pengamatan foto mikro, semakin besar gaya Lorentz yang diberikan maka akan semakin menghomogenkan penyebaran bahan paduan yang menggumpal dengan bentuk struktur yang semakin memanjang serta saling melintang. Hal ini akan semakin meningkatkan hambatan deformasi sehingga kekerasan juga akan semakin meningkat.

Penurunan kekerasan yang terjadi lebih dulu pada daerah *chill* terjadi akibat kecepatan pendinginan daerah *chill* lebih tinggi dengan gaya pengadukan yang semakin besar menyebabkan butir logam yang masih lunak bergerak sehingga dimungkinkan terjadi retak-retak mikro dan juga *porous*. Peningkatan kekerasan kembali terjadi pada besar gaya Lorentz $41,4 \cdot 10^{-4}$ N, hal ini terjadi akibat gaya pengadukan yang terlalu besar malah mengakibatkan konsentrasi massa logam cair terjadi pada sisi-sisinya, sehingga saat terjadi solidifikasi dan penyusutan maka daerah *chill* memiliki kepadatan yang lebih tinggi.

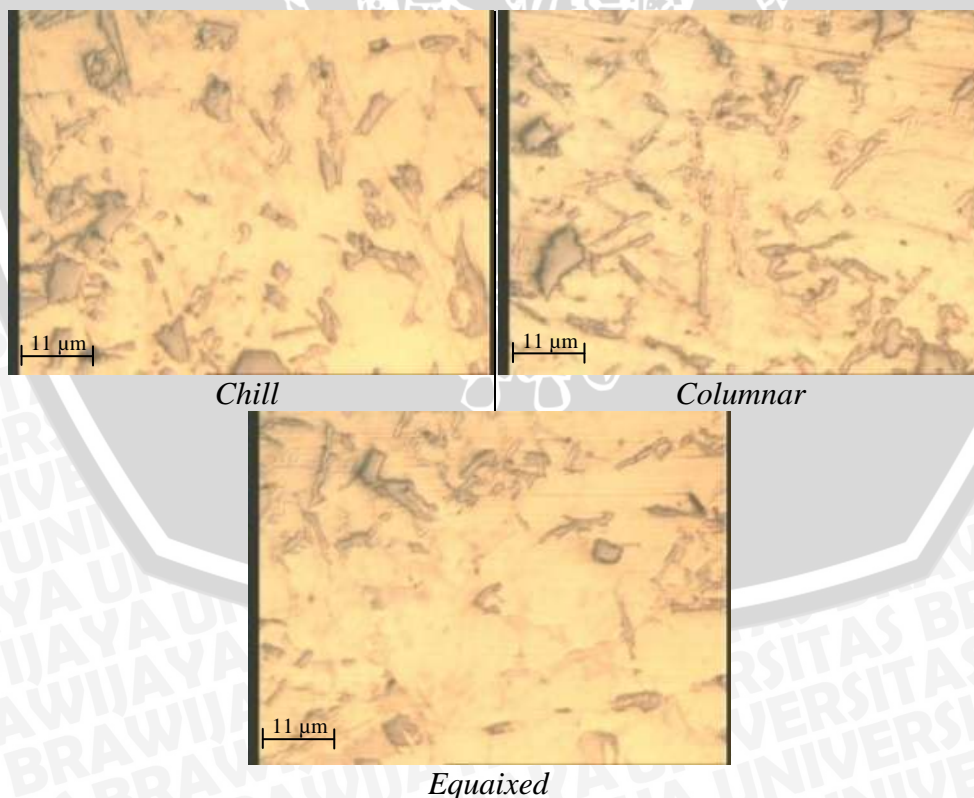
Terlihat pada grafik 4.1 daerah *columnar* dan *equiaxed* terus mengalami peningkatan nilai kekerasan walaupun daerah *chill* telah mengalami penurunan, hal ini disebabkan karena pendinginan pada kedua daerah ini terjadi lebih lambat sehingga proses solidifikasi yang terjadi akan lebih lambat dan dengan semakin besar gaya pengadukan dari gaya Lorentz, maka akan semakin memperkecil ukuran butiran serta semakin menghomogenkan struktur paduan sehingga kekerasan juga akan semakin meningkat. Alasan yang sama juga menyebabkan nilai kekerasan pada daerah *equiaxed* lebih tinggi setelah di beri gaya Lorentz dari pada daerah *columnar*, karena pendinginan yang lebih lambat pada daerah *equiaxed* memungkinkan semakin banyak butir yang terbentuk. Kekerasan terus kl^{-4} N.

Penurunan drastis nilai kekerasan yang terjadi pada gaya Lorentz $41,4 \cdot 10^{-4}$ N disebabkan gaya pengadukan yang terlalu besar akan mengakibatkan konsentrasi massa pada benda cor terjadi pada sisi-sisinya, sehingga saat terjadi solidifikasi dan penyusutan daerah *columnar* dan *equiaxed* akan memiliki kepadatan yang lebih rendah dari pada daerah *chill*. Jadi walaupun ukuran butir yang terbentuk lebih kecil dan struktur paduan yang lebih homogen panjang melintang namun juga memiliki kepadatan yang rendah, sehingga akan menyebabkan adanya celah, *porous*, atau retak mikro yang akan menyebabkan penurunan nilai kekerasan.

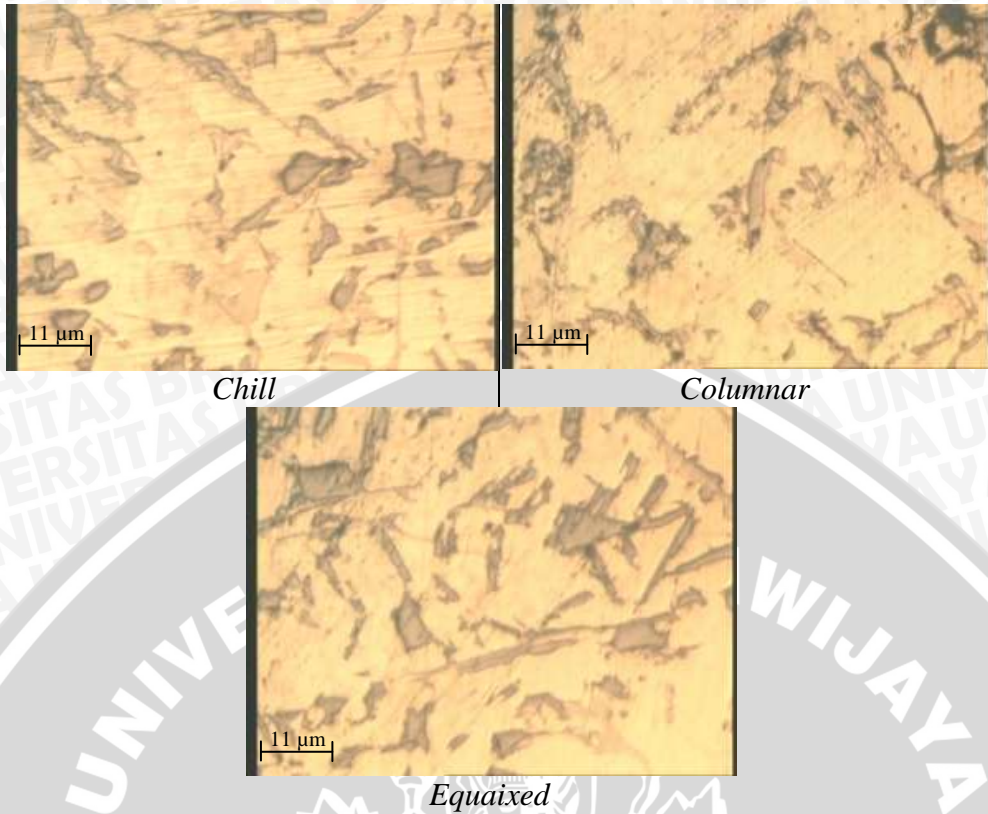
Dari hasil penelitian dapat di simpulkan, bahwa gaya Lorentz yang semakin besar akan menyebabkan gaya pengadukan yang semakin besar sehingga butiran yang terbentuk akan semakin kecil serta mampu meningkatkan homogenitas dari struktur paduan dengan struktur yang semakin panjang dan saling melintang. Namun jika gaya Lorentz yang diberikan semakin besar maka akan terjadi pergerakan butiran yang masih lunak, sehingga terjadi retak mikro, *porous* atau celah antar butiran. Selain itu jika gaya Lorentz yang diberikan terlalu besar maka massa akan terkonsentrasi pada daerah sisi sehingga kepadatan daerah dalam akan berkurang. Ketiga hal ini lah yang sangat berpengaruh pada grafik hubungan variasi gaya Lorentz terhadap distribusi kekerasan daerah butiran produk pengecoran cetakan pasir aluminium paduan Al-Si-Mg.

4.3.2. Pengaruh Variasi Gaya Lorentz Terhadap Struktur Mikro Daerah Butiran

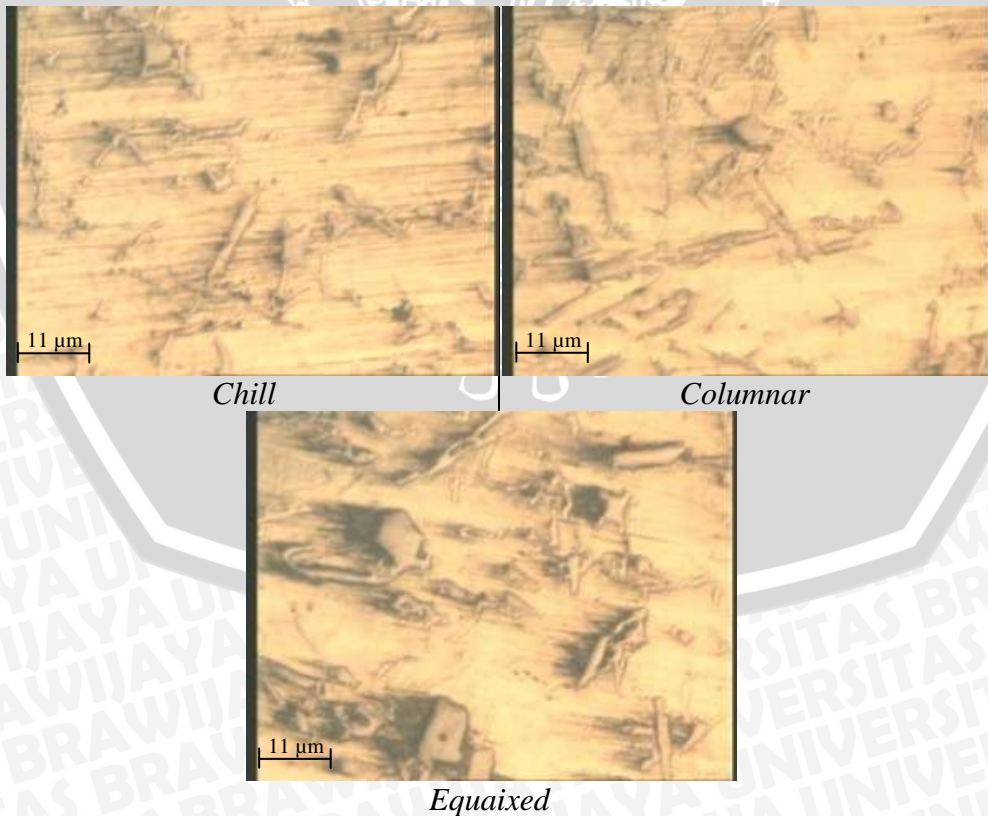
Dari hasil pengamatan terhadap hasil foto mikro tanpa etsa yang dilakukan pada jarak 2mm, 10mm dan 20mm dari permukaan luar spesimen mengarah ke dalam spesimen dari masing-masing coran. Adapun data hasil pengujian foto mikro adalah sebagai berikut :



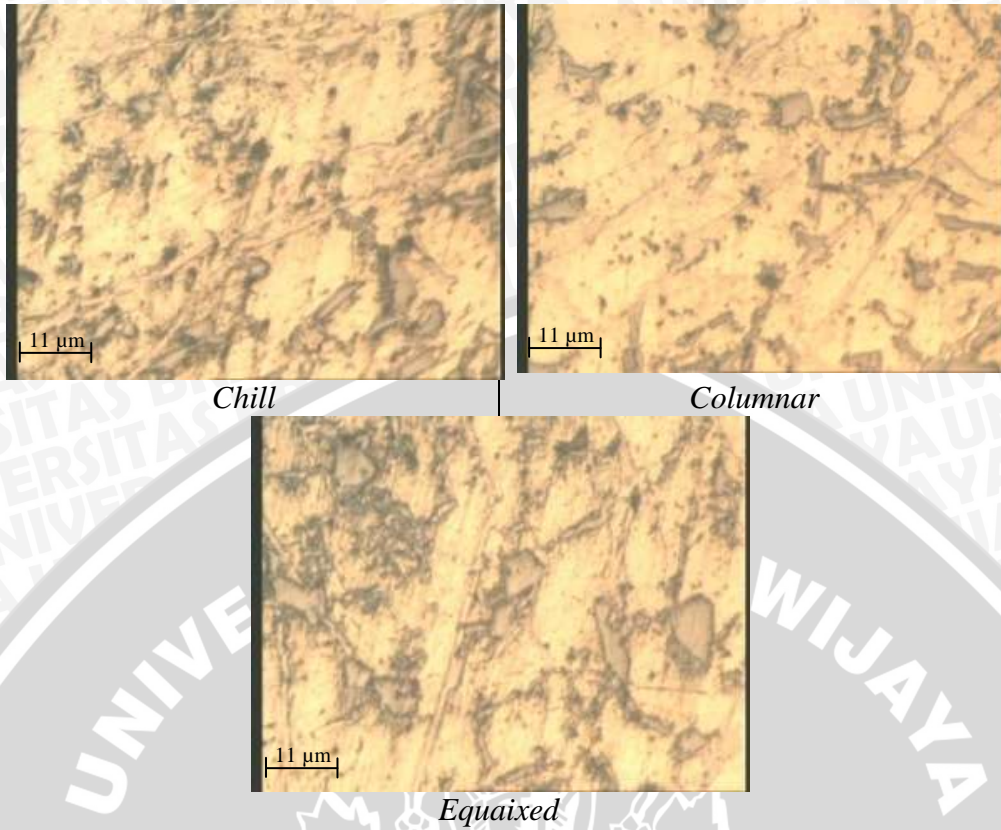
Gambar 4.3 Hasil foto mikro pada daerah butiran dengan variasi gaya Lorentz 0 N



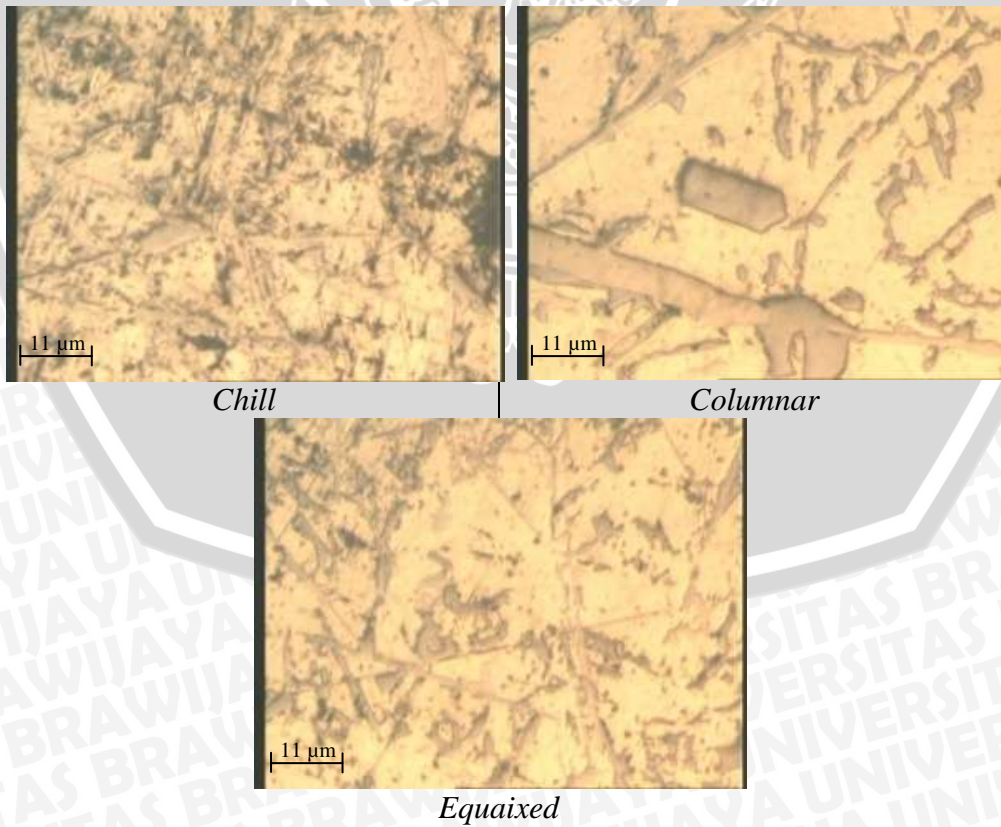
Gambar 4.4 Hasil foto mikro pada daerah butiran dengan variasi gaya Lorentz $6,39 \cdot 10^{-4} \text{ N}$



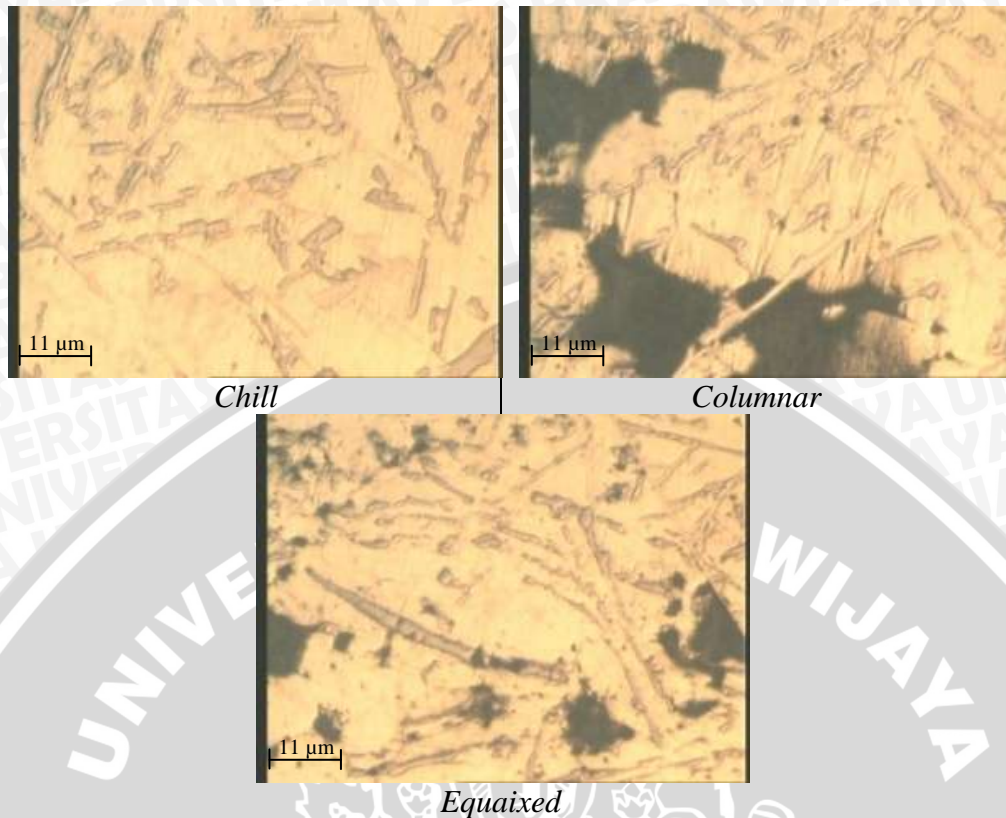
Gambar 4.5 Hasil foto mikro pada daerah butiran dengan variasi gaya Lorentz $10,775 \cdot 10^{-4} \text{ N}$



Gambar 4.6 Hasil foto mikro pada daerah butiran dengan variasi gaya Lorentz $22,15 \cdot 10^{-4}$ N



Gambar 4.7 Hasil foto mikro pada daerah butiran dengan variasi gaya Lorentz $30,9 \cdot 10^{-4}$ N

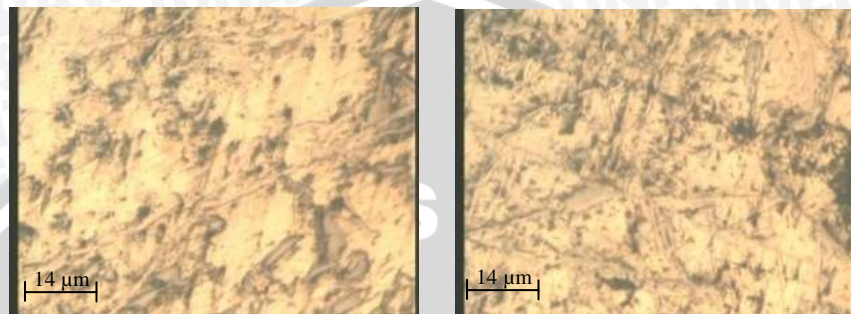


Gambar 4.8 Hasil foto mikro pada daerah butiran dengan variasi gaya Lorentz $41,4 \cdot 10^{-4}$ N

Dari hasil pengamatan terhadap hasil foto mikro tanpa etsa, secara garis besar dapat di amati dan disimpulkan 5 hal, yaitu :

1. Semakin besar gaya Lorentz yang dibangkitkan maka struktur paduan yang terbentuk akan semakin homogen dengan bentuk struktur paduan yang semakin panjang dan saling melintang. Hal ini dikarenakan jika gaya pengadukan semakin besar maka kecenderungan unsur paduan untuk berkumpul sesama jenis saat proses solidifikasi dapat kurangi karena unsur paduan akan semakin sulit mengalir dan bergerak dalam cairan logam.
2. Khusus spesimen dengan adanya penambahan gaya Lorentz, jika posisinya semakin jauh dari permukaan yang bersinggungan dengan cetakan maka struktur paduan akan semakin homogen dengan bentuk struktur paduan yang semakin panjang dan saling melintang. Hal ini dikarenakan saat solidifikasi temperatur di bagian dalam mengalami pendinginan yang lebih lambat sehingga gaya pengadukan yang diterima akan lebih lama untuk bagian dalam.

3. Daerah *chill* pada Spesimen dengan gaya Lorentz $22,15 \cdot 10^{-4}$ N dan $30,9 \cdot 10^{-4}$ N mengalami *porous* yang sangat banyak. *Porous* umumnya berukuran kecil dan tersebar merata, hal ini dikarenakan saat butir mulai solid namun masih lunak gaya pengadukan yang terlalu besar akan mengakibatkan butir-butir logam saling bergerak sehingga dapat menyebabkan *porous*, celah dan juga retak mikro. Hal ini ditunjukkan pada gambar 4.4 di bawah ini.



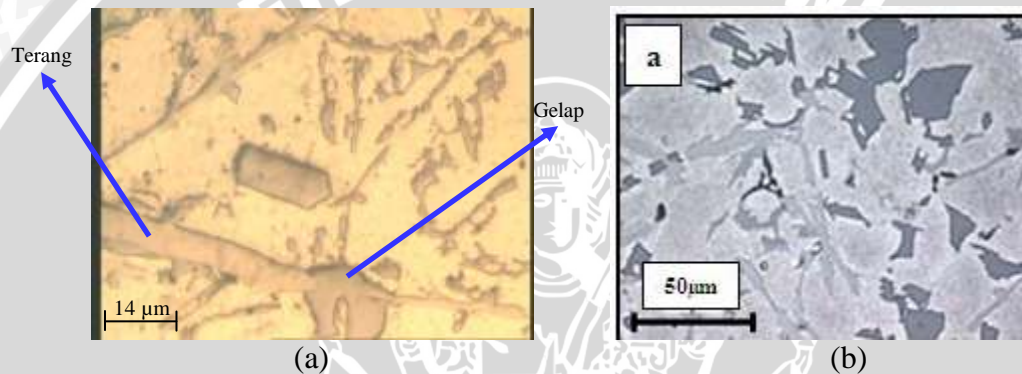
Gambar 4.9 Hasil foto mikro pada daerah *chill* dengan variasi gaya Lorentz $22,15 \cdot 10^{-4}$ N dan $30,9 \cdot 10^{-4}$ N

4. Daerah *columnar* dan *equiaxed* pada spesimen dengan gaya Lorentz $41,4 \cdot 10^{-4}$ N mengalami *porous* yang sangat besar dan berjumlah banyak merata, namun daerah *chill* terlihat tanpa *porous*. Hal ini disebabkan gaya pengadukan yang terlalu besar akan mengakibatkan konsentrasi massa pada benda cor terjadi pada sisi-sisinya, sehingga ketika terjadi solidifikasi dan penyusutan maka daerah *columnar* dan *equiaxed* akan memiliki kepadatan yang lebih rendah dari pada daerah *chill*. Hal ini diperkuat oleh hasil foto makro pada gambar 4.5 di bawah ini. Jadi walaupun ukuran butir yang terbentuk lebih kecil dan struktur paduan yang lebih homogen namun juga memiliki kepadatan yang rendah, sehingga akan menyebabkan adanya celah, *porous*, atau retak mikro pada produk pengecoran.



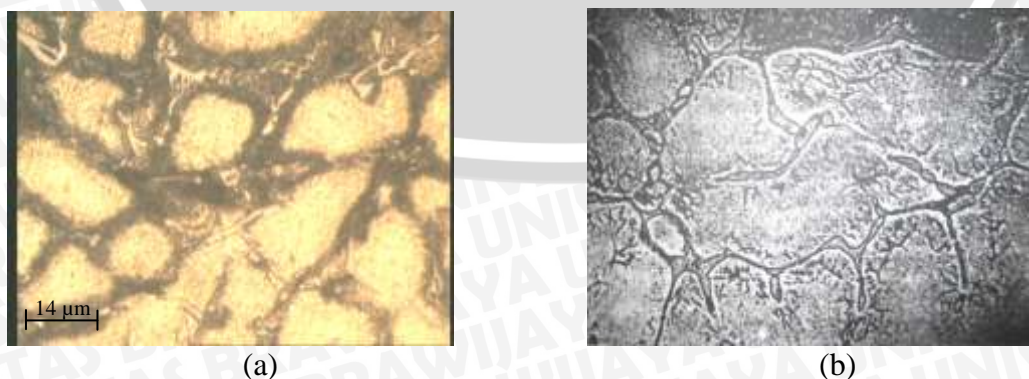
Gambar 4.10 Hasil foto makro pada spesimen dengan gaya Lorentz $41,4 \cdot 10^{-4}$ N

5. Terlihat pada hasil foto mikro tanpa etsa produk pengecoran aluminium paduan (Al-Si-Mg) ada kecenderungan paduan mengalami segregasi (gambar 4.6), terbukti dari perbedaan warna struktur yang berada pada aluminium paduan (Al-Si-Mg) ini. Ukuran diameter atom Si dan Mg hampir sama dengan diameter Al, maka seharusnya mengalami paduan substitusi atom. Proses segregasi ini terjadi akibat sifat kohesif dari masing-masing unsur sehingga unsur paduan dapat mengalami segregasi. Hal ini juga menjadi salah satu faktor yang juga dapat mempengaruhi nilai kekerasan pada spesimen, karena setiap unsur maupun senyawa paduan baik Si, Mg, dan Mg_2Si memiliki perbedaan sifat dan karakteristik. Sehingga jika unsur maupun senyawa ini mengalami segregasi maka masing-masing akan menghasilkan sifat dan karakteristik yang berbeda-beda juga.



Gambar 4.11 Foto mikro struktur paduan *metal matrix composite* Al-Si-Mg (a) foto spesimen pengujian, (b) penampang mikrostruktur piston, Frank TH Doernenburg : 1

Selain itu pada gambar penampang butiran yang di etsa (gambar 4.7) terlihat dengan sangat jelas bahwa struktur paduan memiliki kecenderungan berada di antara batas butir. Fakta ini mempertegas adanya segregasi paduan saat mengalami solidifikasi. Dikarenakan titik lebur Mg lebih rendah dari Al, maka Mg akan terdorong menjauh dari nukleus sehingga Mg terjebak di antara batas butir dengan bentuk yang pipih memanjang akibat himpitan dari butiran yang tumbuh.



Gambar 4.12 Foto mikro penampang butiran (a) Al-Si-Mg pengujian, (b) Al-Mg, W.Heine Richard : 295