

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakterisasi Awal struktur mikro menggunakan *Optical Microscope*.

Baja yang digunakan adalah baja AISI 1045. Baja ini sering digunakan dalam industri otomotif dikarenakan sifatnya yang mudah dilas, mudah dibentuk, kekuatan yang tinggi dan ketangguhan yang tinggi, sehingga dipilih sebagai sampel dalam penelitian. Menggunakan rumus 2.1 dan 2.2 diketahui bahwa temperatur A1 sampel adalah sebesar 735 °C, dan temperatur A3 nya sebesar 785 °C. Sedangkan komposisi baja dan kekerasan awal AISI 1045 dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan kekerasan awalnya dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.1 Komposisi Kimia Baja AISI 1045

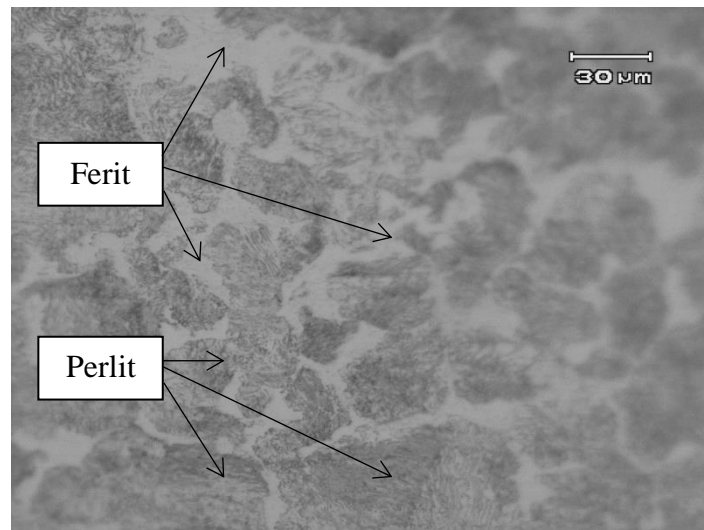
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	HB
0,44	0,23	0,63	0,016	0,005	0,08	0,02	0,1	0,01	165-198

Tabel 4.2 Nilai Kekerasan Awal Baja AISI 1045

Titik Indentasi	HV
0	229,36
2	200,31
4	196,19
6	187,99
8	191,85
Rata-Rata	201,00

Struktur mikro awal baja AISI 1045 yang dapat dilihat pada Gambar 4.1. Baja AISI 1045 hanya memiliki struktur ferit dan perlit. Dimana ferit ditunjukkan

oleh daerah berwarna putih, sedangkan perlit ditunjukkan oleh area berwarna hitam.



Gambar 4.1. AISI 1045 Non treatment

4.2 Pengujian kekerasan dengan *Vicker's hardness test*

Uji kekerasan dilakukan dengan menggunakan metode *Vicker's Test* untuk mengetahui nilai kekerasan dan kedalaman *case depth* yang terbentuk, oleh proses pengerasan permukaan menggunakan metode induksi elektromagnetik. Nilai kekerasan diambil dari daerah permukaan menuju bagian tengah benda kerja, dengan interval 2 mm.

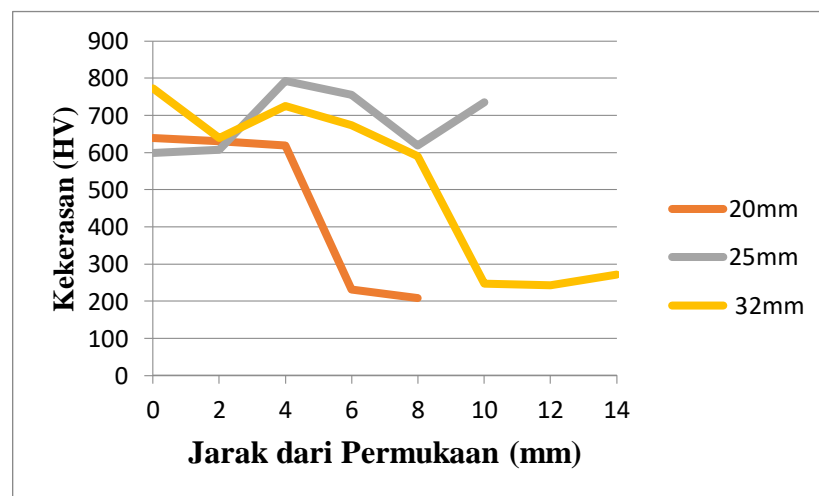
4.2.1 Pengaruh Diameter terhadap Nilai Kekerasan & *Case Depth*

Nilai kekerasan sampel hasil percobaan akan dibandingkan dengan nilai kekerasan sampel tanpa perlakuan. Data hasil percobaan dapat dilihat pada Tabel 4.3, 4.4, dan 4.5 berturut-turut. Titik indentasi diambil berdasarkan jarak pengambilan titik indentasi dari permukaan sampel, menuju daerah *base metal* sampel.

Hasil penelitian pengaruh diameter sampel terhadap nilai kekerasan yang didapatkan dari proses *induction hardening*. Dimana sampel memiliki diameter sebesar 20mm, 25mm, dan 32 mm. dan *coil* induksi memiliki diameter yang konstan, 53 mm. Hasil penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.2, Gambar 4.3 dan Gambar 4.4.

Tabel 4.3 Data Kekerasan Hasil Perlakuan Panas Diameter 20 mm

Titik Indentasi (mm)	HV 5s	HV 7s	HV 9s
0	639,26	541,59	735,63
2	630,68	673,05	616,08
4	618,13	666,08	666,08
6	232,18	628,57	786,25
8	208,13	730,31	697,09
10	639,26	541,59	735,63



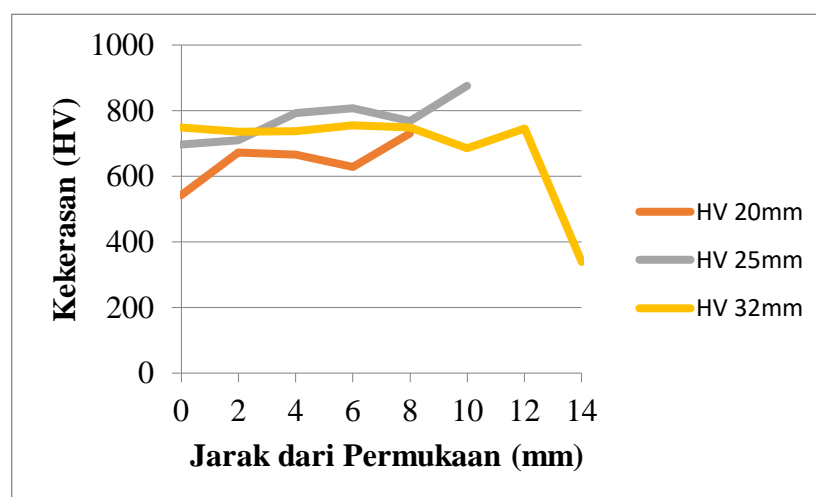
Gambar 4.2 Grafik Pengaruh Diameter terhadap Kekerasan. Waktu Tahan 5s.

Dapat dilihat pada Gambar 4.2 bahwa, sampel dengan diameter 20mm mengalami penurunan kekerasan pada jarak 4mm ke 6 mm dari 618,13 HV menjadi 232,18 HV. Hal yang sama juga terjadi pada sampel dengan diameter 32 mm, dimana terjadi penurunan kekerasan pada jarak 8

mm ke 10 mm dari 590,27 HV menjadi 246,57 HV. Penurunan kekerasan ini menandakan bahwa spesimen memiliki *case depth* sebesar 4 mm pada spesimen 20 mm dan sebesar 8 mm pada spesimen 32 mm.

Tabel 4.4 Data Kekerasan Hasil Perlakuan Panas Diameter 25 mm

Titik Indentasi (mm)	HV 5s	HV 7s	HV 9s
0	598,03	697,09	661,50
2	607,96	709,59	675,40
4	792,20	792,20	771,68
6	754,72	807,36	743,72
8	618,13	768,81	717,26
10	735,63	876,04	807,36

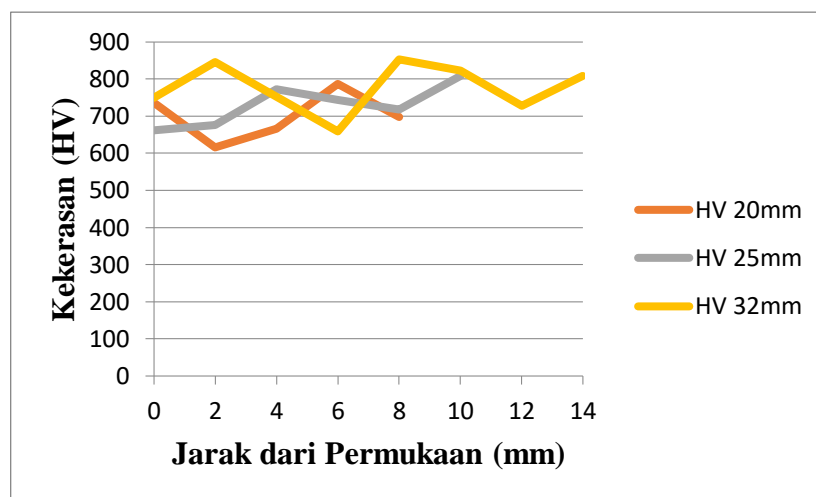


Gambar 4.3 Grafik Pengaruh Diameter terhadap Kekerasan. Waktu Tahan 7s.

Dapat dilihat pada Gambar 4.3 bahwa, sampel dengan diameter 32mm mengalami penurunan kekerasan pada jarak 12 mm ke 14 mm dari 746,45 HV menjadi 339,17 HV. Penurunan kekerasan ini menandakan bahwa spesimen memiliki *case depth* sebesar 12 mm pada. Pada waktu tahan 7 detik, hanya ditemukan satu spesimen yang memiliki *case depth*.

Tabel 4.5 Data Kekerasan Hasil Perlakuan Panas Diameter 32 mm

Titik Indentasi (mm)	HV 5s	HV 7s	HV 9s
0	771,68	749,19	749,19
2	639,26	735,63	845,57
4	725,05	738,31	751,95
6	673,05	754,72	659,22
8	590,27	749,19	852,20
10	246,57	684,91	822,96
12	242,97	746,45	727,67
14	271,70	339,17	807,36

**Gambar 4.4** Grafik Pengaruh Diameter terhadap Kekerasan. Waktu Tahan 9s

Pada waktu tahan 9 detik, tidak ditemukan penurunan kekerasan, dimana setiap spesimen pada setiap jarak dari permukaannya memiliki nilai kekerasan yang tinggi, atau masih dalam standar standar kekerasan struktur mikro martensit. Sehingga dapat diartikan spesimen 9 detik tidak memiliki *case depth*.

Berdasarkan Gambar 4.2, 4.3 dan 4.4 Dimana nilai kekerasan spesimen baja AISI 1045 berbanding lurus dengan besar diameternya.

Dapat diketahui bahwa, ukuran diameter cukup berpengaruh terhadap nilai kekerasan akhir.

Sedangkan untuk nilai kedalaman *case depth*, dapat diketahui diameter spesimen cukup mempengaruhi hasil akhirnya. Dapat dilihat pada Gambar 4.2 dan Gambar 4.3 bahwa spesimen yang memiliki diameter 32 mm juga memiliki *case depth* yang besar, yaitu 10 mm dan 12 mm. Sedangkan untuk spesimen yang memiliki diameter 20 mm, *case depth* nya hanya sebesar 4 mm.

4.2.2 Pengaruh Waktu Tahan terhadap Nilai Kekerasan & Case

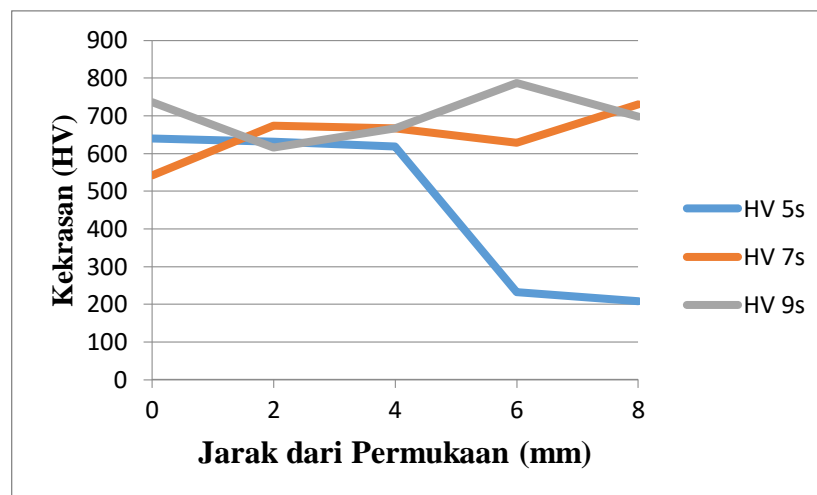
Depth

Salah satu parameter keberhasilan proses *surface hardening* adalah benda kerja memiliki nilai kekerasan yang berbeda pada bagian permukaan dengan bagian *base metal*. Kedalaman kekerasan ini biasa dikenal dengan *case depth*. *Case depth* bisa didapatkan dengan mendapatkan nilai kekerasan dari permukaan benda kerja hingga *base metal*. Data hasil percobaan dapat dilihat pada Tabel 4.3, 4.4, dan 4.5 berturut-turut. Titik indentasi diambil berdasarkan jarak pengambilan titik indentasi dari permukaan sampel.

Tabel 4.6 Data Kekerasan Hasil Perlakuan Panas Waktu Tahan 5s

Titik Indentasi (mm)	20mm	25mm	32mm
0	639,26	598,03	771,68
2	630,68	607,96	639,26
4	618,13	792,20	725,05
6	232,18	754,72	673,05
8	208,13	618,13	590,27

10	-	735,63	246,57
12	-	-	242,97
14	-	-	271,70



Gambar 4.5 Grafik Pengaruh Waktu Tahan terhadap Kekerasan. Diameter 20 mm

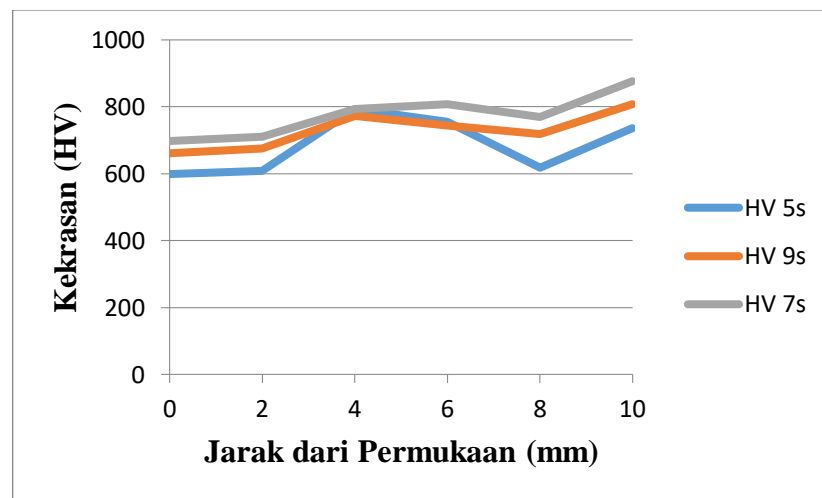
Dapat dilihat dari Tabel 4.6 dan Gambar 4.5 bahwa pada sampel dengan waktu pemanasan 7 dan 9 detik memiliki nilai kekerasan pada setiap titik indentasi yang masuk dalam kategori struktur mikro Martensit. Dikarenakan seluruh spesimen bertransformasi menjadi Martensit, dapat dikatakan bahwa untuk sampel waktu tahan 7 detik dan 9 detik tidak memiliki *case depth*.

Mengacu Tabel 4.6 sampel dengan waktu tahan 5 detik, dapat dilihat penurunan nilai kekerasan mulai pada titik indentasi 4 mm dengan nilai kekerasan 618,13 HV hingga 6 mm dengan nilai kekerasan 232,18 HV dan pada titik indentasi diantara 6 mm dengan nilai kekerasan 232,18 HV sampai 8 mm dengan nilai kekerasan 208,13 HV, sampel memiliki nilai kekerasan yang serupa dengan nilai kekerasan baja AISI 1045 *non-*

treatment dengan nilai kekerasan 191,85 HV. Pada waktu tahan 5 detik, dapat ditentukan *case depth* sebesar 4 mm.

Tabel 4.7 Data Kekerasan Hasil Perlakuan Panas Waktu Tahan 7s

Titik Indentasi (mm)	HV 20mm	HV 25mm	HV 32mm
0	541,59	697,09	749,19
2	673,05	709,59	735,63
4	666,08	792,20	738,31
6	628,57	807,36	754,72
8	730,31	768,81	749,19
10	-	876,04	684,91
12	-	-	746,45
14	-	-	339,17



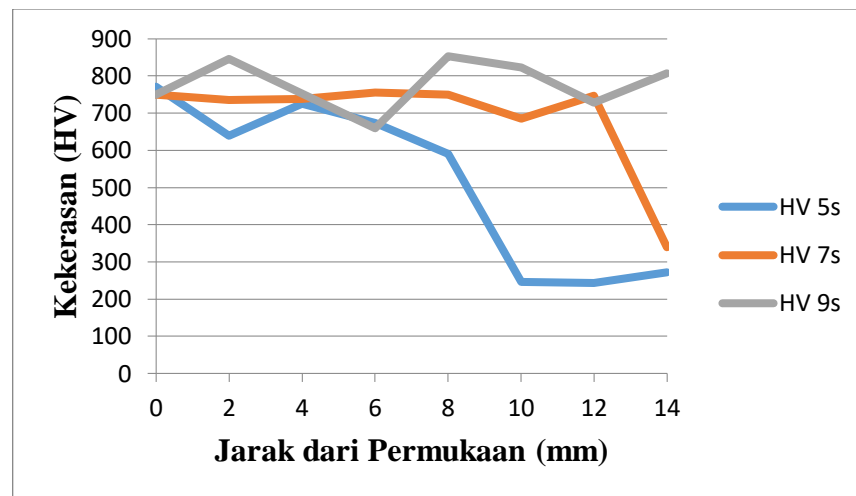
Gambar 4.6 Grafik Pengaruh Waktu Tahan terhadap Kekerasan. Diameter 25 mm

Dapat dilihat dari Tabel 4.7 dan Gambar 4.6 bahwa pada sampel dengan waktu pemanasan 5 detik, 7 detik dan 9 detik memiliki nilai kekerasan pada setiap titik indentasi yang masuk dalam kategori struktur mikro Martensit. Dikarenakan seluruh spesimen bertransformasi menjadi

Martensit, dapat dikatakan bahwa untuk sampel waktu tahan 5 detik, 7 detik dan 9 detik tidak memiliki *case depth*.

Tabel 4.8 Data Kekerasan Hasil Perlakuan Panas Waktu Tahan 9s.

Titik Indentasi (mm)	HV 20mm	HV 25mm	HV 32mm
0	735,63	661,50	749,19
2	616,08	675,40	845,57
4	666,08	771,68	751,95
6	786,25	743,72	659,22
8	697,09	717,26	852,20
10	-	807,36	822,96
12	-	-	727,67
14	-	-	807,36



Gambar 4.7 Grafik Pengaruh Waktu Tahan terhadap Kekerasan.
Diameter 32 mm

Dapat dilihat dari Tabel 4.8 dan Gambar 4.7 bahwa pada sampel dengan waktu pemanasan 9 detik memiliki nilai kekerasan pada setiap titik indentasi yang masuk dalam kategori struktur mikro Martensit. Dikarenakan seluruh spesimen bertransformasi menjadi Martensit, dapat

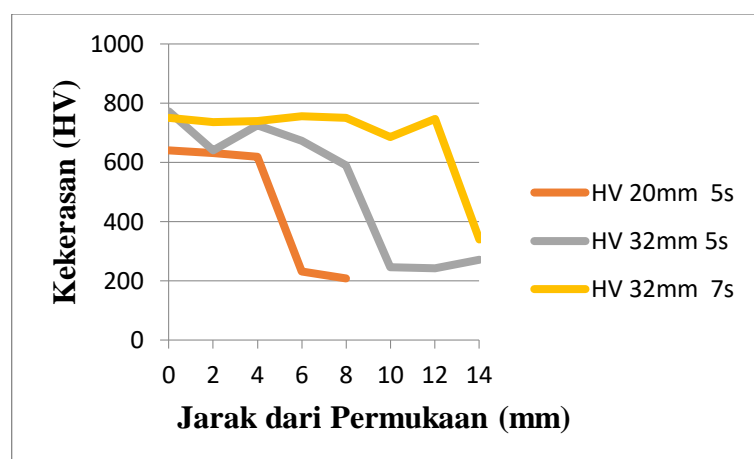
dikatakan bahwa untuk sampel waktu tahan dan 9 detik tidak memiliki *case depth*.

Dapat dilihat pada Tabel 4.7 dan 4.8 bahwa sampel dengan waktu tahan 5 detik dapat dilihat penurunan nilai kekerasan mulai pada titik indentasi 8 mm dengan nilai kekerasan 590,27 HV hingga 10 mm dengan nilai kekerasan 246,57 HV dan pada titik indentasi diantara 10 mm dengan nilai kekerasan 246,57 HV sampai 12 dan 14 mm dengan nilai kekerasan berturut-turut 242,97 HV dan 271,70 HV sampel waktu tahan 5 detik memiliki nilai kekerasan yang serupa dengan nilai kekerasan baja AISI 1045 *non-treatment* dengan rata-rata nilai kekerasan 201 HV. Pada waktu tahan 5 detik, dapat ditentukan *case depth* adalah sebesar 8 mm.

Sementara untuk waktu untuk waktu tahan 7 detik dapat dilihat penurunan nilai kekerasan mulai pada titik indentasi 12 mm dengan nilai kekerasan 746,45 HV hingga 14 mm dengan nilai kekerasan 339,17 HV sampel waktu tahan 7 detik memiliki nilai kekerasan yang serupa dengan nilai kekerasan baja AISI 1045 *non-treatment* dengan rata-rata nilai kekerasan 201 HV pada titik indentasi 14 mm. Sehingga pada waktu tahan 7 detik, dapat ditentukan *case depth* adalah sebesar 12 mm.

Dapat diketahui dari Gambar 4.5, 4.6 dan 4.7 Dimana nilai kekerasan semua spesimen baja AISI 1045 didaerah yang bertransformasi memiliki nilai kekerasan diatas 600 HV. Hal ini menunjukkan bahwa, waktu tahan 5 detik, 7 detik dan 9 detik tidak terlalu berpengaruh terhadap nilai kekerasan akhir penelitian ini.

Sedangkan untuk kedalaman *case depth*, Waktu tahan cukup mempengaruhi hasil akhirnya. Dapat dilihat pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.7, Pada spesimen dengan diameter 20 mm dan waktu tahan 5 detik memiliki *case depth* sebesar 4 mm. Sedangkan untuk waktu tahan 7 detik dan 5 detik, spesimen bertransformasi menyeluruh menjadi martensit, sehingga tidak memiliki *case depth*. Lalu pada spesimen yang memiliki diameter 32 mm dan pada waktu tahan 7 detik memiliki *case depth* sebesar 10 mm sedangkan, pada waktu tahan 9 detik memiliki *case depth* sebesar 12 mm.



Gambar 4.8 Grafik Pengaruh Waktu Tahan terhadap Kekerasan. Sampel 20mm 5s, 32 mm 5s. dan 32mm 7s

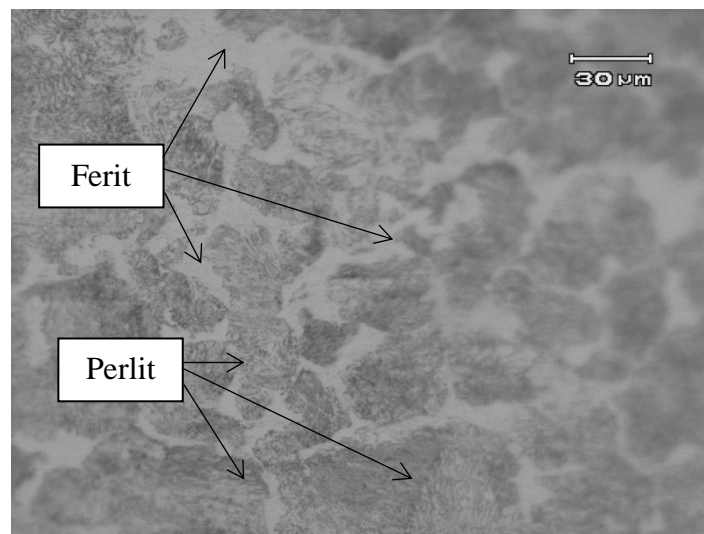
Dapat dilihat pada Gambar 4.8. Dari data hasil kekerasan dan hasil *case depth* dari setiap variabel. Dapat ditemui bahwa hanya ada tiga sampel yang paling mendekati standar. Yaitu sampel yang mempunyai nilai kekerasan yang tinggi, berstruktur martensit, dan serta memiliki *case depth*, yaitu adalah sampel 20 mm 5s, sampel 32 mm 5s, dan sampel 32 mm 7s. Selain sampel yang telah

disebutkan di kalimat sebelumnya, sampel-sampel yang lain mempunyai nilai kekerasan yang tinggi, berstruktur martensit, tetapi tidak memiliki *case depth*. Hal ini disebabkan oleh sampel bertransformasi penuh dari fasa ferit-perlit menjadi martensite pada seluruh bagian sampel.

4.3 Analisa Struktur Mikro

Dalam penelitian ini, dilakukan analisa struktur mikro dengan menggunakan bantuan *Optical Electron Microscopy* dan *software ImageJ*. Analisa struktur mikro dilakukan untuk mendapatkan persentase distribusi setiap fasa dan distribusi ukuran butir martensit pada bagian permukaannya. Selanjutnya, Analisa struktur mikro akan dilakukan untuk sampel-sampel yang memiliki kriteria yang sesuai, yaitu sampel 20 mm 5 detik atau sampel A, 32 mm 5 detik atau sampel B, dan sampel 32 mm 7 detik atau sampel C. Dimana setiap sampel akan diambil foto bagian permukaan, bagian perantara, dan bagian *base metal*. Dimana setiap sampel akan diambil foto bagian permukaan, bagian perantara, dan bagian *base metal*.

Untuk struktur mikro awal spesimen sebelum dilakukan *induction hardening* dapat dilihat pada Gambar 4.9. Dibantu oleh *ImageJ*, dapat ditemukan struktur fasa perlit yang ditunjukkan oleh warna hitam memiliki besar distribusi fasa 58,54% dan struktur fasa perlit yang ditunjukkan oleh warna putih yang memiliki besar distribusi fasa sebesar 41,46%. Nilai persentase distribusi fasa yang memakai *ImageJ* dengan hasil perhitungan menggunakan rumus *lever rule* tidak jauh berbeda. Dimana dengan menggunakan rumus *lever rule* didapatkan besar distribusi fasa perlit sebesar 57% dan distribusi fasa ferit sebesar 43%.



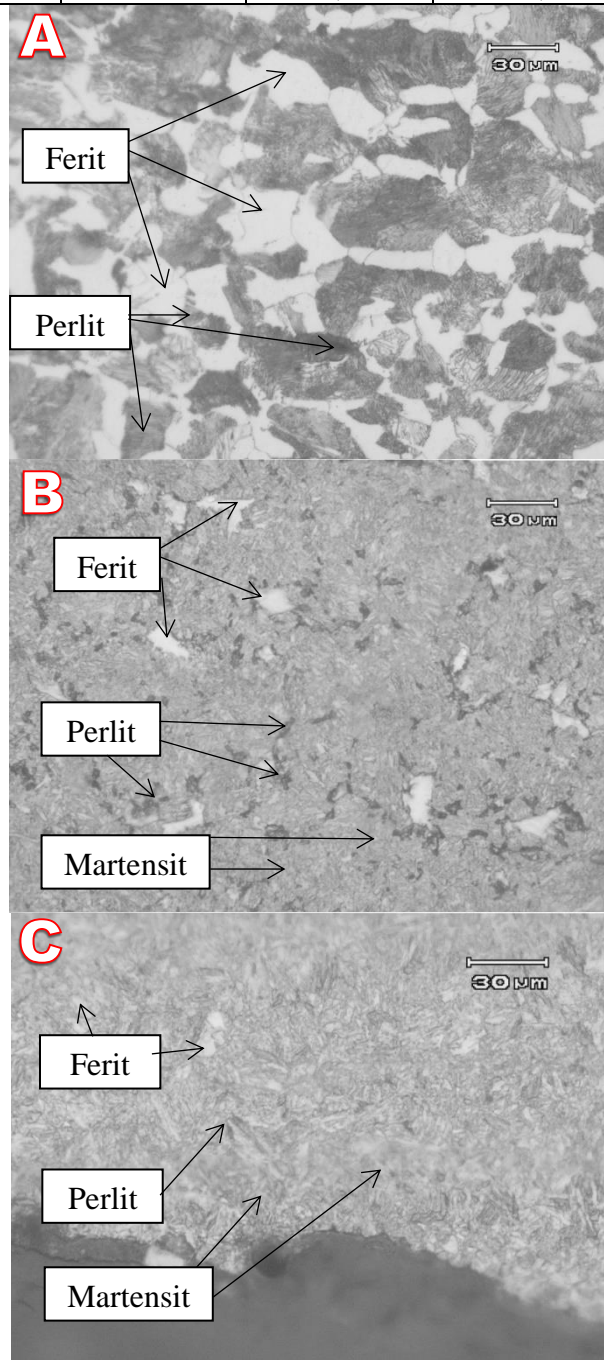
Gambar 4.9. AISI 1045 Non treatment

4.3.1 Analisa Struktur Mikro Sampel 20 mm 5 detik (Sampel A)

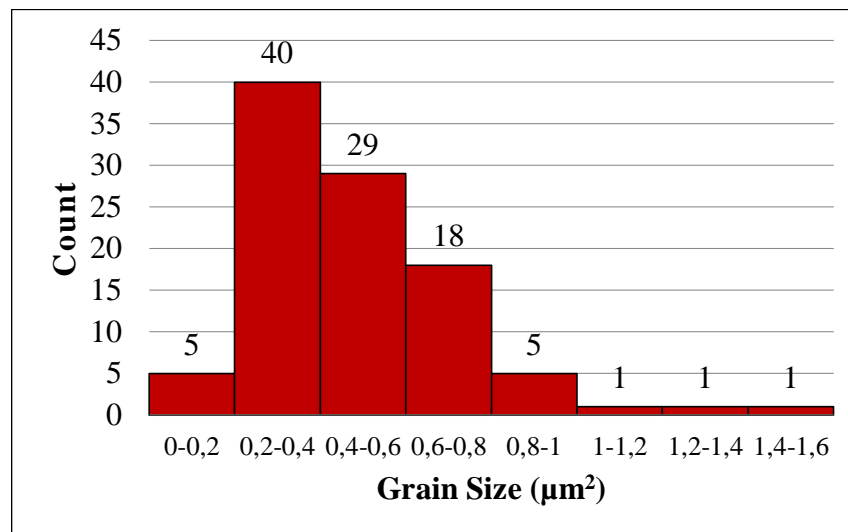
Sampel A memiliki rata-rata kekerasan untuk daerah permukaannya sebesar 629,36 HV. Dibantu oleh *software ImageJ*, besar penyebaran fasa perlit, ferit, dan martensit dapat dilihat pada Tabel 4.9. Sedangkan, pada Gambar 4.10, dapat dilihat perbedaan struktur mikro antara bagian permukaan, bagian perantara, dan bagian *base metal*. Pada bagian base metal, ditemukan struktur fasa perlit yang ditunjukkan oleh warna hitam dan struktur fasa ferit yang ditunjukkan oleh warna putih. Sedangkan pada bagian perantara, ditemukan tiga struktur mikro, yaitu struktur fasa perlit dan ferit yang mengalami penurunan ukuran butir, dan terakhir struktur fasa martensit yang ditunjukkan oleh daerah berwarna abu-abu dengan struktur mirip jarum. Terakhir pada daerah permukaan juga ditemukan tiga fasa struktur mikro yaitu perlit dan ferit, dan struktur fasa dominan, martensit. Untuk besar distribusi ukuran butir martensit pada daerah permukaannya dapat dilihat pada Gambar 4.11.

Tabel 4.9 Penyebaran Fasa Sampel A

	Base metal	Perantara	Permukaan
Perlit	32,98	6,39	6,04
Ferit	67,02	19,69	12,6
Martensit		73,92	81,36



Gambar 4.10 Struktur mikro Sampel A. A). *Base Metal*, B). Bagian Perantara C). Permukaan



Gambar 4.11 Penyebaran Ukuran Butir Martensit Sampel A

Pada Gambar 4.11 dapat dilihat bahwa mayoritas ukuran butir martensit ada pada rentang 0,2 sampai dengan 0,8 μm^2 , dengan jumlah butir sebanyak 40 butir pada rentang 0,2-0,4 μm^2 , 29 butir pada rentang 0,4-0,6 μm^2 , dan 18 butir pada rentang 0,6-0,8 μm^2 . Rata-rata ukuran butir pada sampel A adalah 0,469 μm^2 .

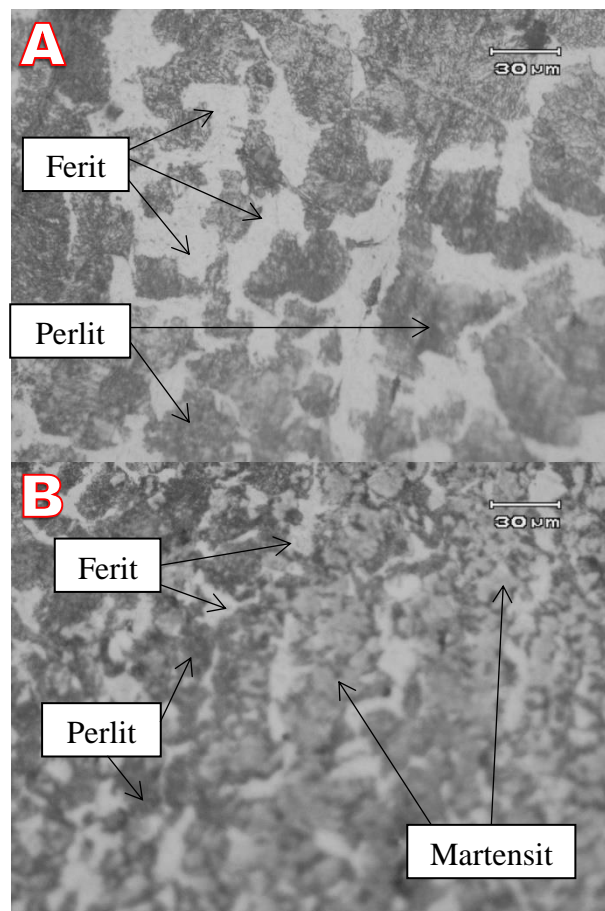
4.3.2 Analisa Struktur Mikro Sampel 32 mm 5 detik (Sampel B)

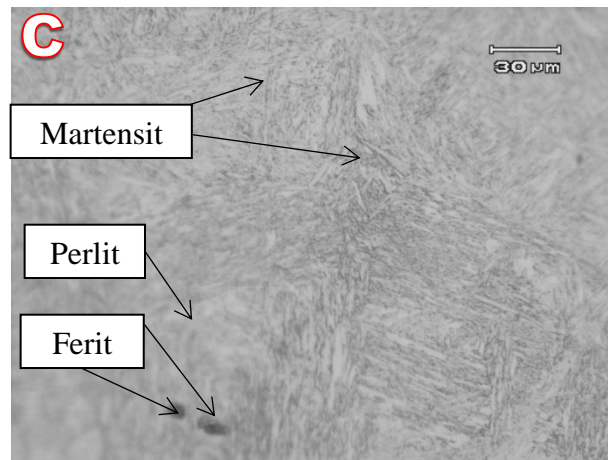
Sampel B memiliki rata-rata kekerasan untuk daerah permukaannya sebesar 679,86 HV. Dibantu oleh *software ImageJ* besaran penyebaran setiap fasa perlit, ferit, dan martensit dapat dilihat pada Tabel 4.10. Sedangkan Pada Gambar 4.12, dapat dilihat perbedaan struktur mikro antara bagian permukaan, bagian perantara, dan bagian *base metal*. Pada bagian *base metal*, ditemukan struktur fasa perlit yang ditunjukkan oleh warna hitam dan struktur mikro ferit yang ditunjukkan oleh warna putih. Pada bagian perantara, ditemukan tiga struktur mikro, yaitu struktur fasa perlit dan ferit yang mengalami penurunan distribusi ukuran butir, dan

terakhir terdapat struktur fasa martensit yang ditunjukkan oleh daerah berwarna abu-abu dengan struktur mirip jarum-jarum. Terakhir pada daerah permukaan juga ditemukan tiga struktur mikro, yaitu perlit dan ferit, yang berukuran dan distribusi sangat kecil dan struktur dominan, martensit. Untuk besar distribusi ukuran butir martensit pada daerah permukaannya dapat dilihat pada Gambar 4.13.

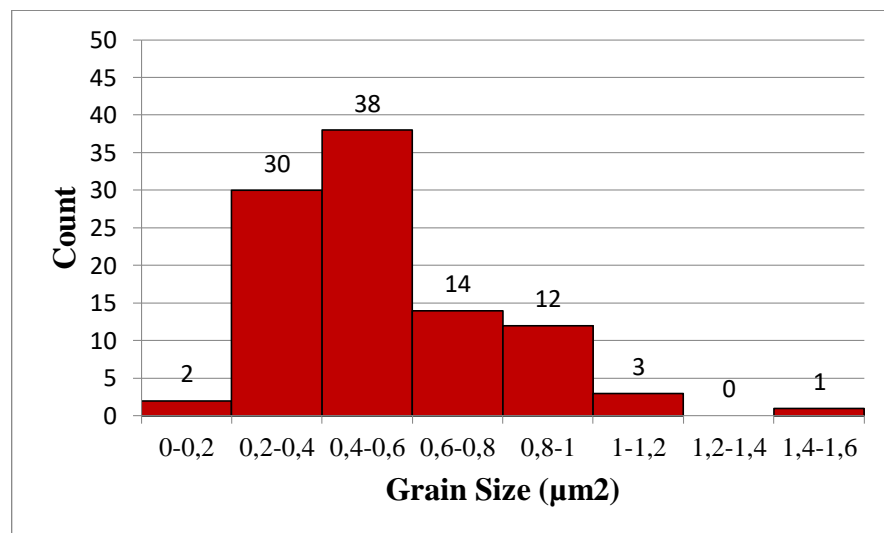
Tabel 4.10 Penyebaran Fasa Sampel B

	Base metal	Perantara	Permukaan
Perlit	68,99	67,9	2,02
Ferit	31,01	18,14	4,91
Martensit		13,96	93,07





Gambar 4.12 Struktur mikro Sampel B. A). *Base Metal*, B). Bagian Perantara C). Permukaan



Gambar 4.13 Penyebaran Ukuran Butir Martensit Permukaan Sampel B.

Pada Gambar 4.13 dapat dilihat bahwa mayoritas ukuran butir martensit ada pada rentang 0,2 sampai dengan 0,6 μm^2 , dengan jumlah butir sebanyak 30 butir pada rentang 0,2-0,4 μm^2 , dan 38 butir pada rentang 0,4-0,6 μm^2 . Sampel B memiliki tingkat distribusi ukuran butir yang lebih terpusat dibandingkan dengan sampel A. Dimana pada sampel B, 68 butir terpusat pada rentang ukuran 0,2-0,6 μm^2 , sedangkan pada

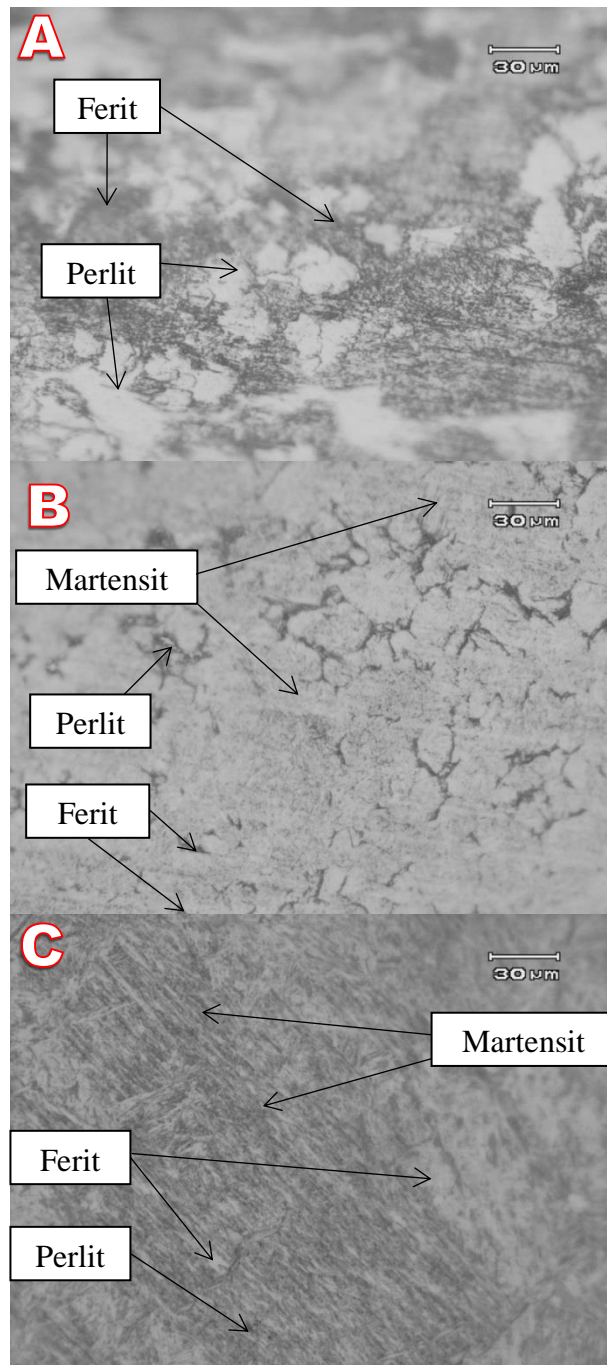
sampel A, 87 butir terpusat pada rentang ukuran 0,2-0,8 μm^2 . Rata-rata ukuran butir pada sampel B adalah 0,538 μm^2 .

4.3.3 Analisa Struktur Mikro Sampel 32 mm 7 detik (Sampel C)

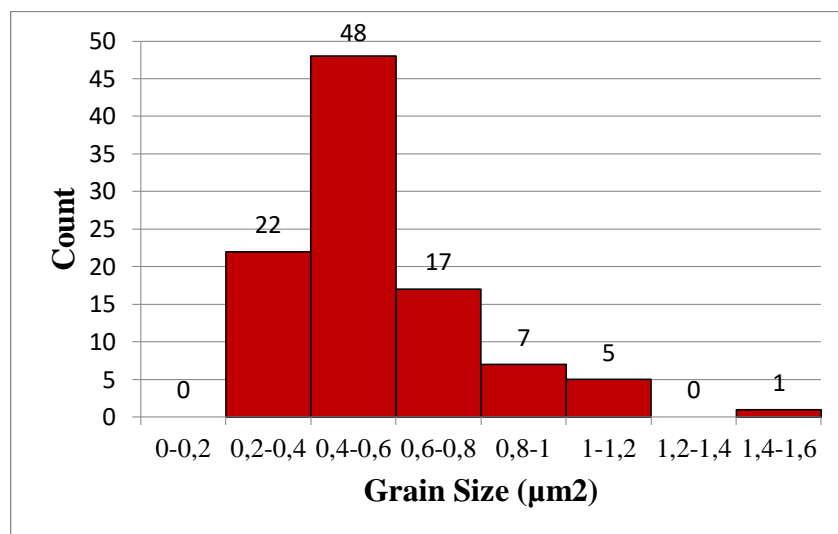
Sampel B memiliki rata-rata kekerasan untuk daerah permukaannya sebesar 736,91 HV. Dibantu oleh *software ImageJ* besaran penyebaran setiap fasa perlit, ferit, dan martensit dapat dilihat pada Tabel 4.11. Sedangkan, pada Gambar 4.14, dapat sekali lagi dilihat perbedaan struktur mikro antara bagian permukaan, bagian perantara, dan bagian *base metal*. Pada bagian *base metal*, ditemukan struktur fasa perlit yang ditunjukkan oleh warna hitam, dan struktur mikro ferit yang ditunjukkan oleh warna putih, struktur mikro sampel C secara visual berbeda dengan sampel A dan sampel B, Sedangkan pada bagian perantara, ditemukan tiga struktur mikro, yaitu struktur fasa perlit dan ferit yang mengalami penurunan distribusi butir, dan terakhir struktur fasa martensit yang ditunjukkan oleh daerah berwarna abu-abu dengan struktur mirip jarum-jarum. Terakhir pada daerah permukaan juga ditemukan tiga struktur mikro perlit dan ferit, yang berukuran dan memiliki distribusi yang sangat kecil dan struktur mikro dominan, martensit. Untuk besar distribusi ukuran butir martensit pada daerah permukaannya dapat dilihat pada Gambar 4.15

Tabel 4.11 Penyebaran Fasa Sampel C

	Base metal	Perantara	Permukaan
Perlit	48,71	8,67	5,4
Ferit	51,29	3,28	4,82
Martensit		88,05	89,78

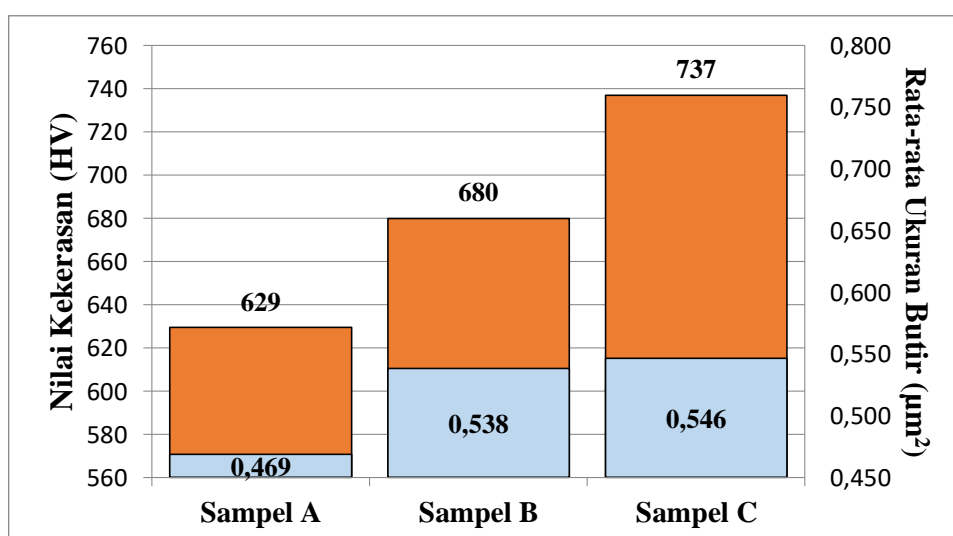


Gambar 4.14 Struktur mikro Sampel B. A). *Base Metal*, B). Bagian Perantara C). Permukaan



Gambar 4.15 Penyebaran Ukuran Butir Martensit Permukaan Sampel C.

Pada Gambar 4.15 Berbeda dengan sampel A & B, dapat dilihat bahwa mayoritas ukuran butir martensit ada pada rentang 0,2 sampai dengan $0,8 \mu\text{m}^2$, Tetapi untuk rentang ukuran 0,4 – $0,6 \mu\text{m}^2$ memiliki jumlah yang jauh lebih tinggi. Sampel C memiliki 22 butir pada rentang $0,2-0,4 \mu\text{m}^2$, 48 butir pada rentang $0,4-0,6 \mu\text{m}^2$, dan 17 butir pada rentang $0,6-0,8 \mu\text{m}^2$. Rata-rata ukuran butir pada sampel C adalah $0,546 \mu\text{m}^2$.



Gambar 4.16 Rata-rata. Kekerasan Permukaan & Ukuran Butir.

Dapat dilihat pada Gambar 4.16, nilai rata-rata kekerasan permukaan dan ukuran butir martensitnya pada sampel A, Sampel B, dan Sampel C. Serta mengacu kepada literatur yang menyatakan bahwa jika ukuran butir semakin kecil maka kekerasan akan semakin meningkat (Masataka, 2007), Maka dapat diketahui bahwa, hasil penelitian tidak sesuai dengan literatur yang ada. Hal ini juga mungkin disebabkan oleh persentase penyebaran fase martensit yang tidak sama antara sampel A, sampel B, dan sampel C.