

BAB IV

HASIL PENELITIAN

Karena benda uji baja HSLA 0.029 % Nb mengalami pemanasan ulang (*reheat*) terlebih dahulu sebelum mengalami transformasi selama proses pendinginan, maka perlu diketahui perilaku pertumbuhan butir austenit selama pemanasan ulang. Hasil perhitungan dari besar butir austenit prior dapat ditampilkan pada tabel berikut:

Tabel 4.1. Hasil Pengukuran besar butir austenit sebelum transformasi untuk baja HSLA 0.029 % Nb sebelum mengalami 30 % deformasi.

Material	N_A	d	d rata-rata	Standar Deviasi	Hasil (μm)
HSLA 0.029 % Nb (HT, tanpa 30% ϵ)	12.75	283.13	268.50	17.0	268.5 \pm 17.0
	13.25	277.83			
	17	244.56			

Tabel 4.2. Hasil Pengukuran besar butir austenit sebelum transformasi untuk baja HSLA 0.029 % Nb setelah mengalami 30 % deformasi.

Material	N_A	d	d rata-rata	Standar Deviasi	Hasil (μm)
HSLA 0.029 % Nb (HT, dengan 30% ϵ)	104	99.16	104.5	3.92	104.5 \pm 3.92
	90	105.71			
	84	108.52			

Hasil penelitian menunjukkan bahwa setelah deformasi ukuran butir austenit mengalami penurunan dari 268.5 \pm 17.0 μm menjadi 104.5 \pm 3.92 μm .

IV.1. UKURAN BUTIR FERIT

Perhitungan butir dilakukan sebanyak 3 kali perhitungan. Setelah dilakukan 3 kali perhitungan maka dapat diperolehlah diameter butir beserta standar deviasinya. Perhitungan besar butir ferit dilakukan menggunakan metode planimetri (*jefferies*) dan contoh perhitungannya dapat dilihat pada lampiran.

Hasil perhitungan besar butir ferit dari baja HSLA 0.029 % Nb tanpa perlakuan adalah sebagai berikut:

Tabel 4.3. Hasil Pengukuran besar butir ferit setelah transformasi untuk baja HSLA 0.029 % Nb sebelum mengalami perlakuan.

Material	N_A	d	d rata-rata	Standar Deviasi	Hasil (μm)
HSLA 0.029 % Nb tanpa perlakuan (Bulk)	6275	12.7	12.5	0.41	12.5 \pm 0.41
	6000	12.94			
	7075	11.97			

Sedangkan hasil perhitungan untuk baja HSLA 0.029 % Nb yang hanya mengalami pemanasan ulang (*reheat*) dan didinginkan dengan udara tanpa mengalami proses deformasi diperlihatkan oleh tabel 4.4.

Tabel 4.4. Hasil Pengukuran besar butir ferit setelah transformasi untuk baja HSLA 0.029 % Nb sebelum mengalami 30 % deformasi.

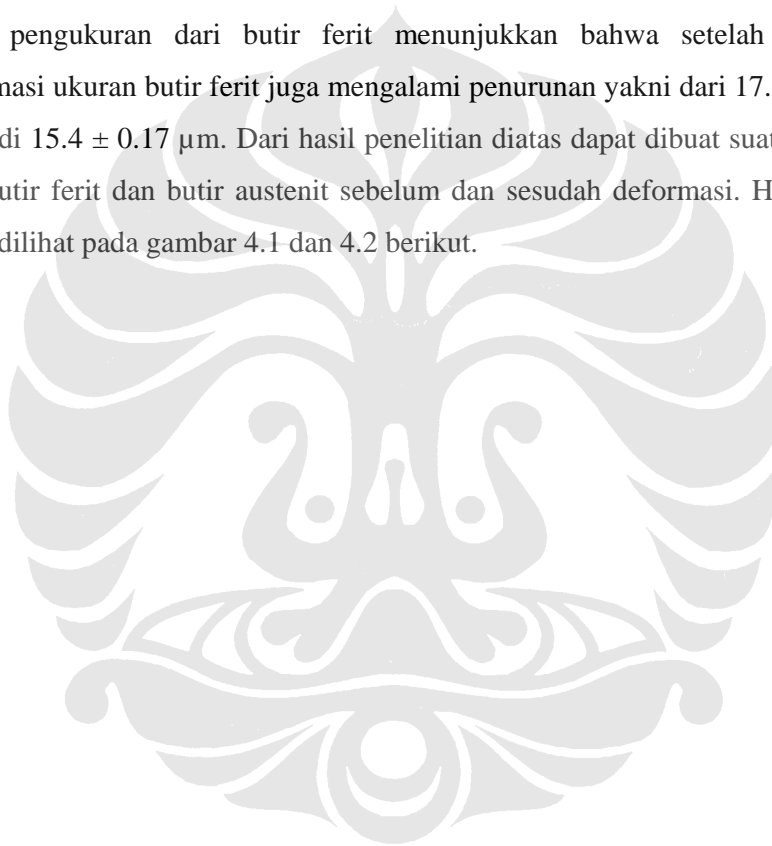
Material	N_A	d	d rata-rata	Standar Deviasi	Hasil (μm)
HSLA 0.029 % Nb (HT, tanpa 30% ϵ)	3050	18.26	17.2	0.92	17.2 \pm 0.92
	3925	16.011			
	3425	17.3			

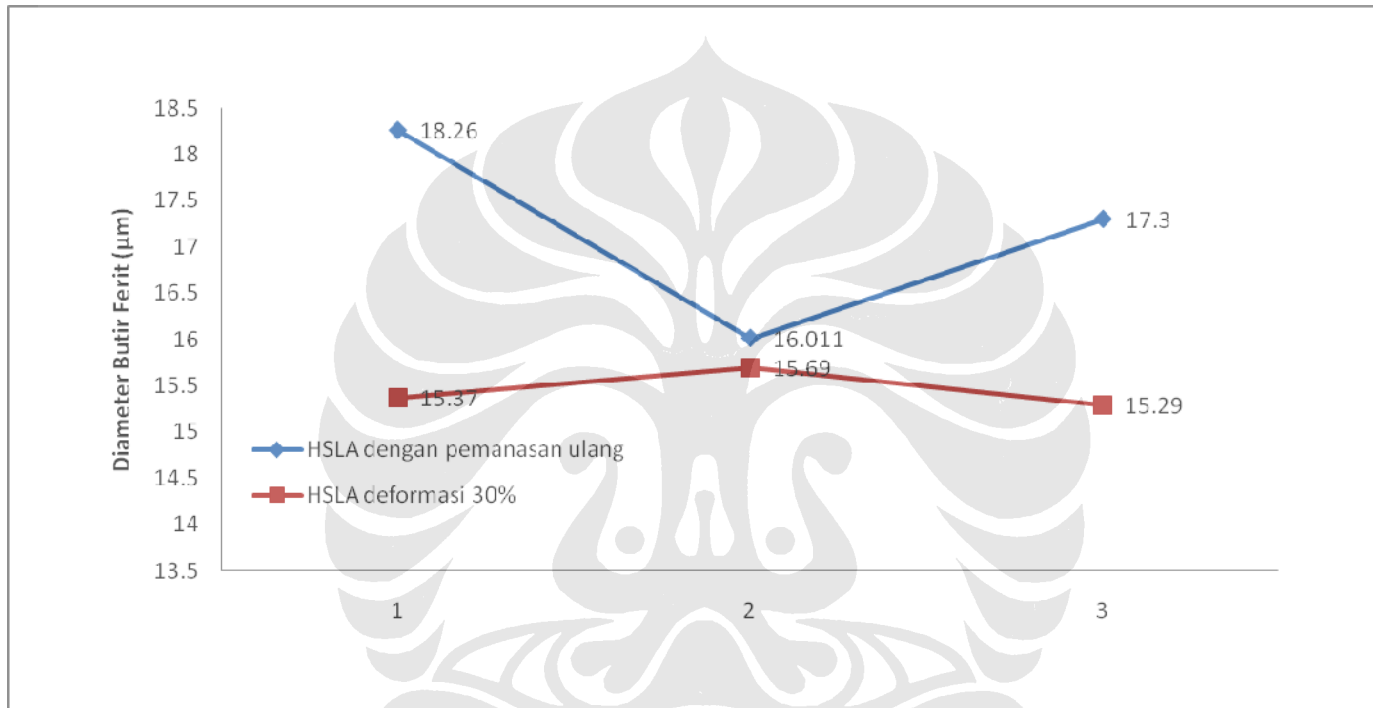
Hasil perhitungan butir ferit dari baja HSLA 0.029 % Nb yang mengalami proses pemanasan ulang dan kemudian mengalami deformasi sebesar 30 % diperlihatkan oleh tabel 4.5

Tabel 4.5. Hasil Pengukuran besar butir ferit setelah transformasi untuk baja HSLA 0.029 % Nb setelah mengalami 30 % deformasi.

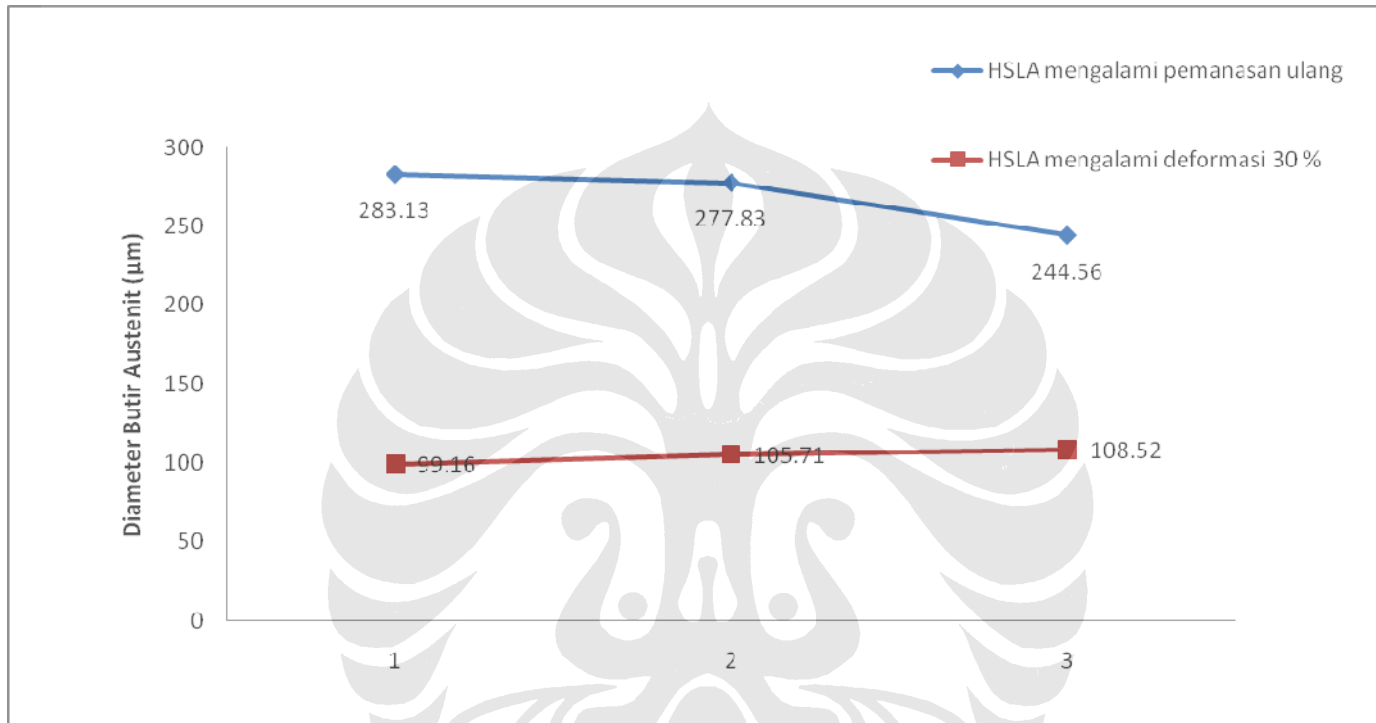
Material	N_A	d	d rata-rata	Standar Deviasi	Hasil (μm)
HSLA 0.029 % Nb (HT, dengan 30% ϵ)	4300	15.37	15.45	0.17	15.4 \pm 0.17
	4100	15.69			
	4350	15.29			

Hasil pengukuran dari butir ferit menunjukkan bahwa setelah mengalami deformasi ukuran butir ferit juga mengalami penurunan yakni dari $17.2 \pm 0.92 \mu\text{m}$ menjadi $15.4 \pm 0.17 \mu\text{m}$. Dari hasil penelitian diatas dapat dibuat suatu hubungan dari butir ferit dan butir austenit sebelum dan sesudah deformasi. Hubungan ini dapat dilihat pada gambar 4.1 dan 4.2 berikut.





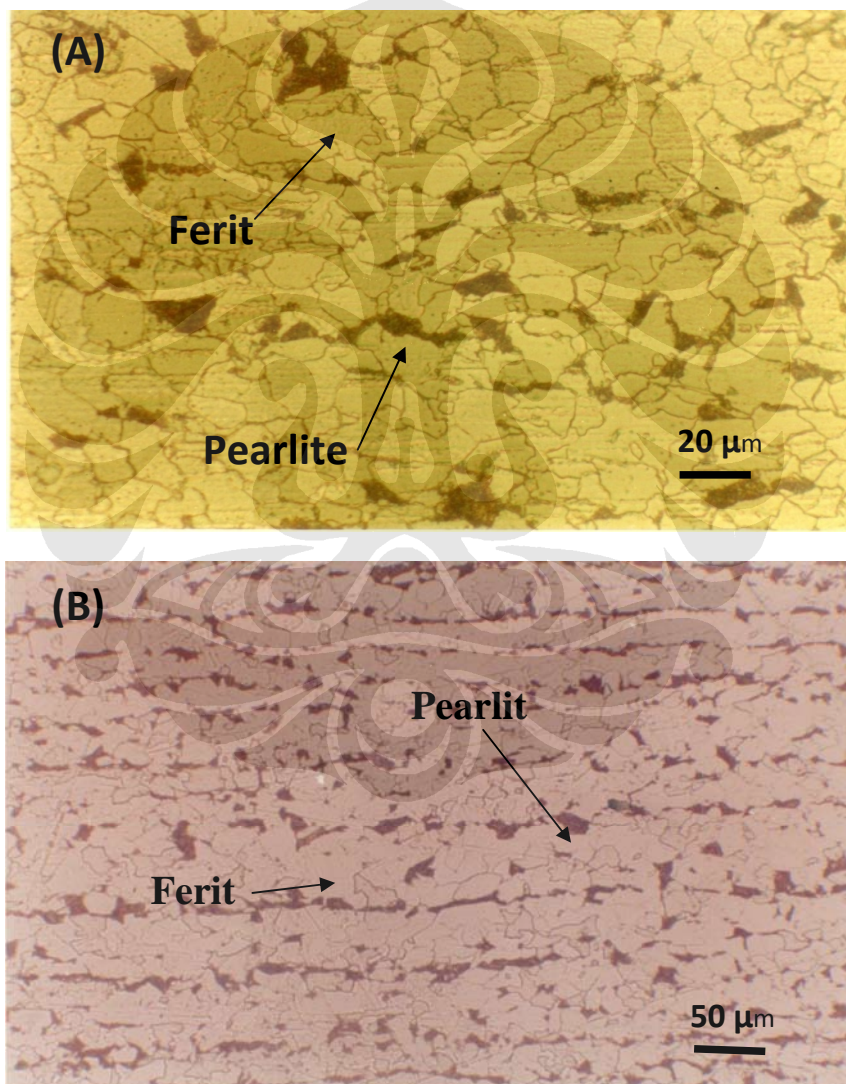
Gambar 4.1. Besar butir ferit baja HSLA 0.029 % Nb sebelum dan sesudah deformasi



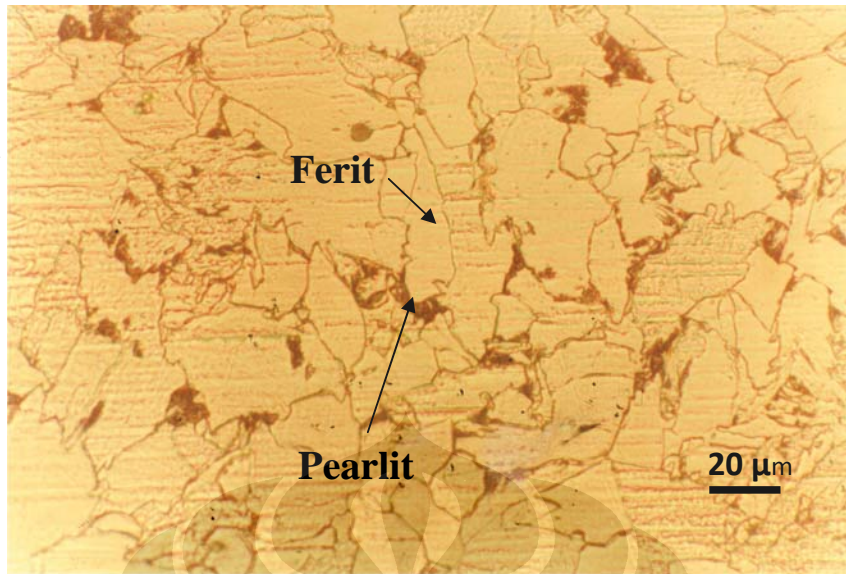
Gambar 4.2. Besar butir austenit baja HSLA 0.029 % Nb sebelum dan sesudah deformasi

IV.2. DATA DAN PENGAMATAN STRUKTUR MIKRO

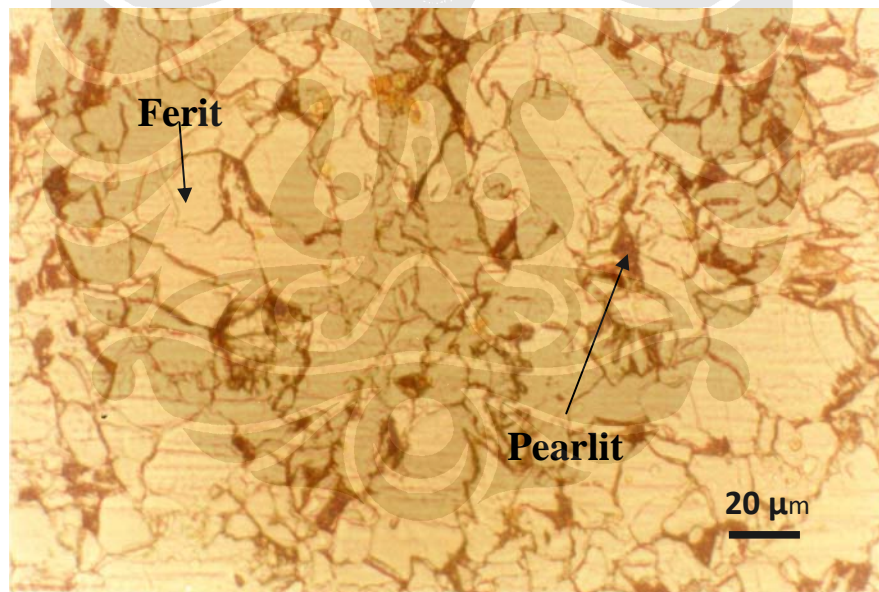
Pengujian metalografi dilakukan terhadap benda uji sebelum dan sesudah deformasi. Dalam penelitian ini dilakukan pengamatan terhadap butir ferit dan batas butir austenit. Untuk memunculkan fasa ferit digunakan etsa nital 2%. Benda uji dicelupkan ke dalam larutan etsa selama 15 – 20 detik, kemudian dibersihkan dengan air dan alkohol. Sementara untuk mengukur batas butir austenit digunakan larutan etsa picral. Hasil pengamatan struktur mikro dapat dilihat pada gambar hingga gambar 4.3 hingga 4.7.



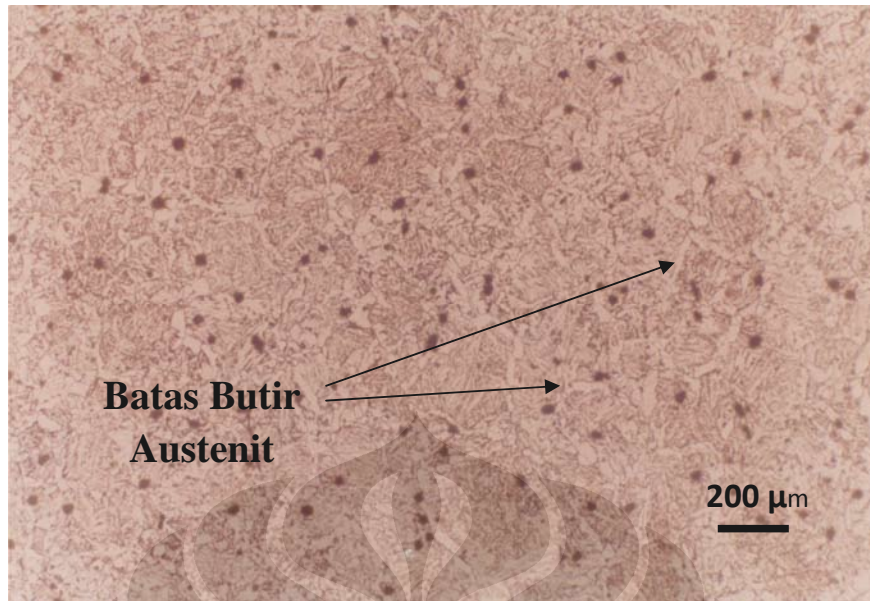
Gambar 4.3. Struktur mikro awal HSLA 0.029 % Nb (500 X). a) etsa nital 2 %, b) etsa picral.



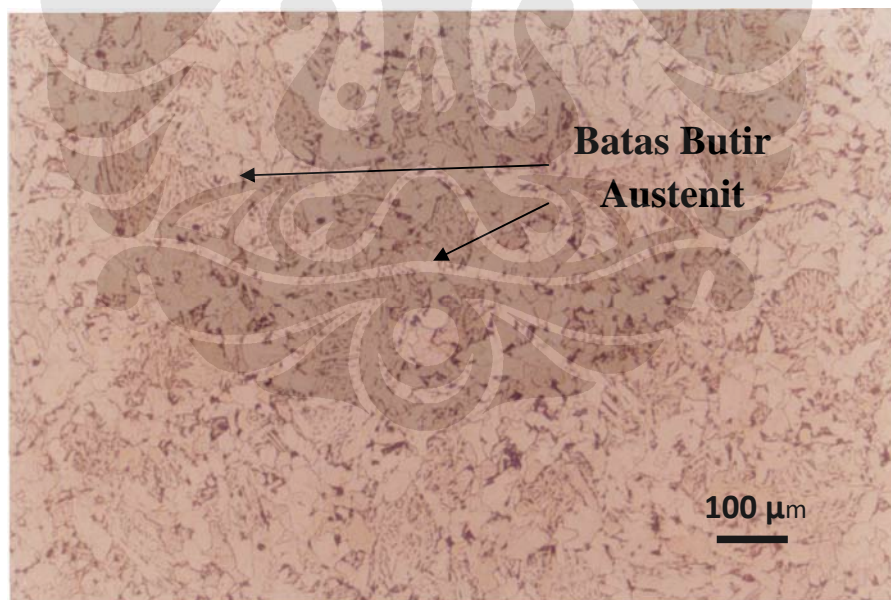
Gambar 4.4. Butir ferit dari baja HSLA 0.029 % Nb sebelum deformasi (500 X, etsa nital 2%).



Gambar 4.5. Butir ferit dari baja HSLA 0.029 % Nb setelah deformasi (500X)



Gambar 4.6. Batas butir austenit dari baja HSLA 0.029 % Nb sebelum deformasi (50 X).



Gambar 4.7. Batas butir austenit dari baja HSLA 0.029 % Nb Setelah deformasi (100 X).

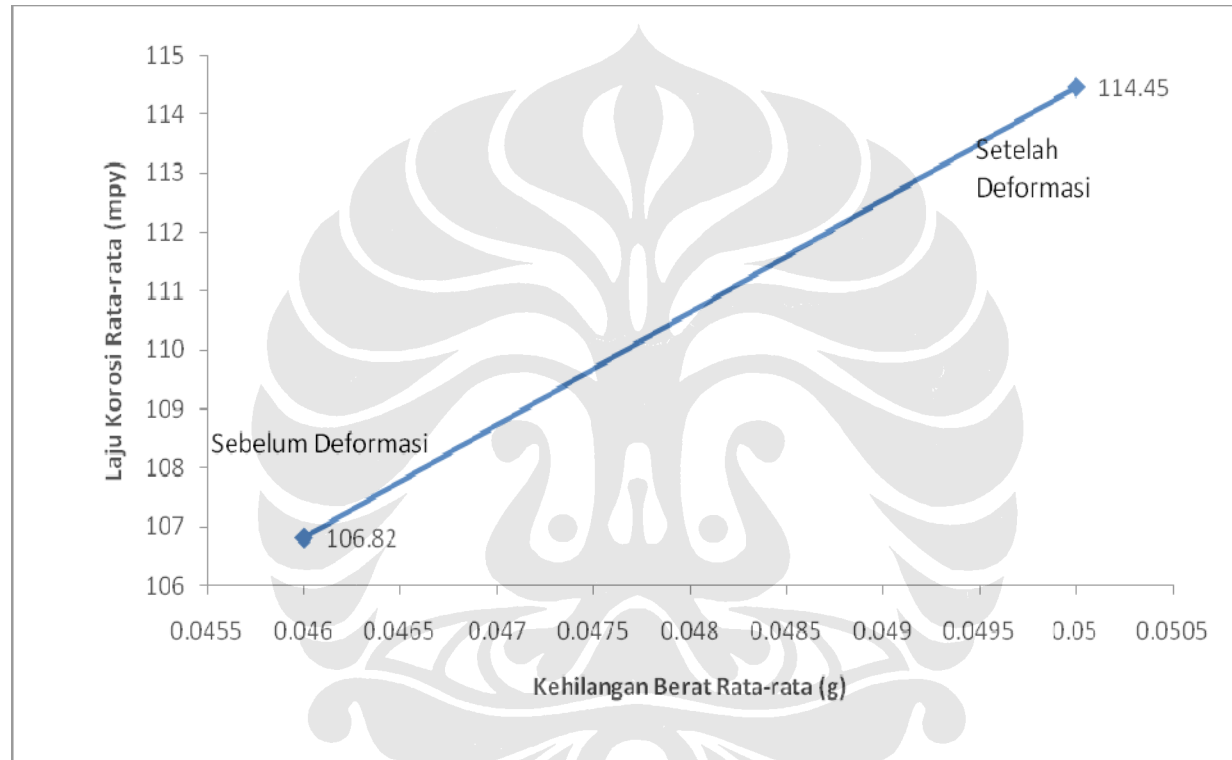
IV.3 PENGUJIAN KOROSI

Hasil dari pengujian sembur kabut garam dari baja HSLA 0.029 % Nb diperlihatkan oleh tabel 4.6 berikut ini.

Tabel 4.6. Hasil Pengujian korosi menggunakan pengujian *salt spray* (sembur kabut garam)

Material	Waktu (Jam)	A _o (cm ²)	W _o (g)	W ₁ (g)	W _L (g)	Laju Korosi (mpy)
HSLA 0.029 % Nb sebelum deformasi	48 (1)	4	45.37	45.31	0.06	137.3
	48 (2)	4	45.31	45.26	0.05	114.4
	48 (3)	4	45.26	45.23	0.03	68.67
Material	Waktu (Jam)	A _o (cm ²)	W _o (g)	W ₁	W ₁	Laju Korosi
HSLA 0.029 % Nb setelah deformasi	48 (1)	4	41.47	41.4	0.07	160.2
	48 (2)	4	41.4	41.35	0.05	114.5
	48 (3)	4	41.35	41.32	0.03	68.7

A_o = Luas permukaan benda uji, W_L = Kehilangan berat benda uji (W_o – W₁)



Gambar 4.8. Hubungan kehilangan berat dengan laju korosi dari benda uji sebelum dan sesudah deformasi

IV.4 PENGUKURAN POTENSIAL

Hasil pengukuran potensial dari baja HSLA 0.029 % Nb dapat ditunjukkan oleh tabel 4.7 berikut:

Tabel 4.7. Hasil Pengukuran Potensial

Benda Uji	Potensial vs Ag/AgCl (mV)
Baja HSLA 0.029 % Nb sebelum deformasi	-420
Baja HSLA 0.029 % Nb sebelum deformasi	-478

BAB V

PEMBAHASAN

V.1 PENDAHULUAN

Ukuran butir ferit pada baja HSLA dipengaruhi oleh melarutnya presipitat yang berfungsi sebagai pengunci pergerakan batas butir. Larutnya presipitat diawali dengan terjadinya pengkasaran butir austenit pada temperatur pengkasaran butir. Untuk mengetahui temperatur pengkasaran butir ditentukan melalui persamaan berikut.

$$T_c = 460 + 0,569(T_s - 273) \quad (5.1)$$

Sedangkan temperatur kelarutan presipitat (T_s) dapat ditentukan dengan persamaan berikut ini.

$$\log [Nb][C + 12/14 N] = 2,26 - 6770/T_s \quad (5.2)$$

Dengan memasukan % berat dari komposisi yaitu Nb=0,029%, C=0,087%, N=0,01% maka didapatkan temperatur pelarutan presipitat Nb(CN) yaitu $T_s = 1137 \text{ }^\circ\text{C}$ (lihat LAMPIRAN). Dengan memasukan nilai T_s hasil perhitungan 5.2 dan menggunakan konstanta yang ada pada tabel 2.1, maka diperoleh temperatur pengkasaran butir $T_c = 1106 \text{ }^\circ\text{C}$. Pada temperatur pengkasaran butir terjadi pelarutan sebagian presipitat yang menyebabkan tidak seragamnya ukuran butir yang dihasilkan. Apabila telah mencapai temperatur pelarutan, presipitat akan melarut seluruhnya sehingga presipitat tidak berfungsi lagi sebagai pengunci batas butir dan menghasilkan butir austenit yang kasar.

V.1 HUBUNGAN BESAR BUTIR FERIT SETELAH TRANSFORMASI DENGAN BUTIR AWAL AUSTENIT

Dari data pada tabel 4.1, 4.2, 4.4, dan 4.5 terlihat hubungan ukuran butir ferit dan austenit yang dapat ditunjukkan oleh beberapa model⁽⁹⁾:

Hodgson dkk⁽²²⁾ menyatakan model hubungan butir austenit dengan butir ferit yang dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$d_{\alpha} = (1 - 0.8 \epsilon^{0.15}) [29 - 5R^{-0.5} + 20 (1 - \exp(-0.15d_{\gamma}))] \quad (5.3)$$

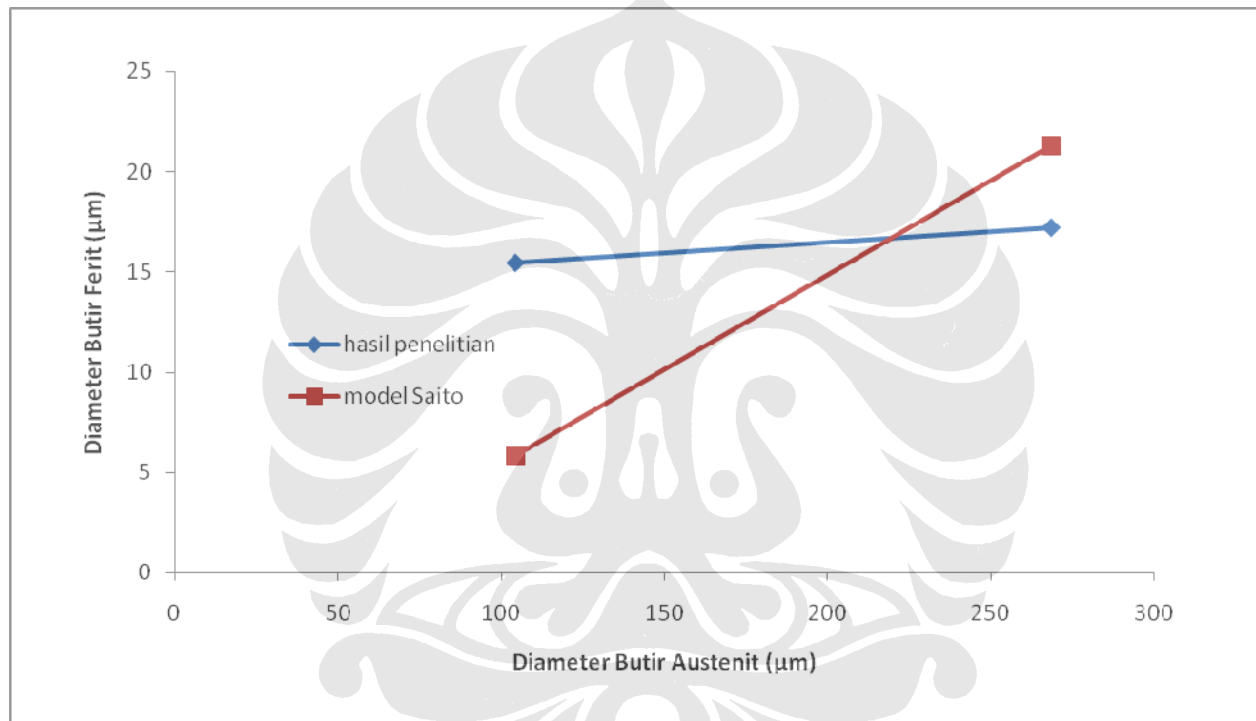
Saito dkk⁽²¹⁾ menyatakan model hubungan butir austenit dengan butir ferit yang dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$\ln d_{\alpha} = 0.92 + 0.44 \ln d_{\gamma} - 0.17 \ln R - 0.88 \tanh(10\epsilon) \quad (5.4)$$

Lehnert dkk⁽²³⁾ menyatakan model hubungan butir austenit dengan butir ferit yang dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$d_{\alpha} = 3.75 + 0.18 d_{\gamma} + 1.4 R^{-0.5} \quad (5.5)$$

Namun pada penelitian ini, hubungan besar butir austenit awal dan besar butir ferit dibuat dengan membandingkan hasil penelitian dengan model yang dibuat oleh Saito dkk. Hal ini disebabkan model persamaan yang dibuat oleh Saito memiliki variabel deformasi sedangkan model lain tidak memiliki variabel deformasi. Tetapi pada umumnya ketiga model tersebut akan memperlihatkan suatu kecenderungan yang sama⁽⁹⁾. Adapun hubungan tersebut dapat dilihat pada gambar 5.1.



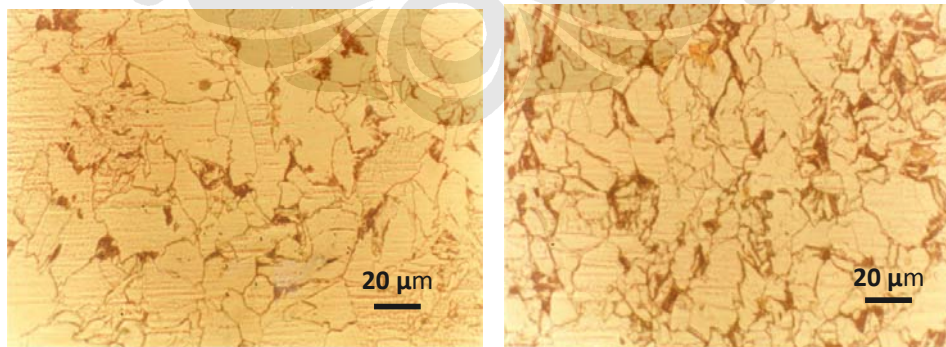
Gambar 5.1. Hubungan ukuran butir ferit dengan diameter butir austenit hasil percobaan dibandingkan dengan model yang dibuat oleh Saito dkk⁽²¹⁾.

Berdasarkan gambar 5.1 terlihat bahwa semakin besar butir austenit awal, maka akan menghasilkan ukuran butir ferit setelah mengalami transformasi yang besar pula. Kecenderungan yang sama juga ditunjukkan oleh hubungan yang dibuat oleh Saito dkk. Secara teoritis tempat nukleasi butir ferit pada batas butir austenit dan partikel presipitat yang tidak larut meningkat sehingga butir ferit menjadi lebih kecil.

V.2. PENGAMATAN STRUKTUR MIKRO

Pengujian metalografi dilakukan terhadap benda uji sebelum dan sesudah deformasi. Dalam penelitian ini dilakukan pengamatan terhadap butir ferit dan batas butir austenit. Untuk memunculkan fasa ferit digunakan etsa nital 2%. Benda uji dicelupkan ke dalam larutan etsa selama 15 – 20 detik, kemudian dibersihkan dengan air dan alkohol. Sementara untuk mengukur batas butir austenit digunakan larutan etsa picral.

Hasil pengamatan struktur mikro dapat dilihat pada gambar 4.3 hingga 4.7. Dari hasil pengamatan struktur mikro terlihat bahwa butir ferit sebelum mengalami deformasi (gambar 4.4) memiliki bentuk yang agak lancip jika dibandingkan dengan butir ferit sesudah mengalami deformasi (gambar 4.5).



Gambar 5.2. Perbandingan bentuk butir ferit sebelum (ref Gbr 4.3) dan sesudah deformasi (ref Gbr.4.4)

Ukuran butir yang dimiliki oleh benda uji setelah mengalami deformasi terlihat lebih kecil jika dibandingkan dengan butir ferit dari benda uji sebelum mengalami deformasi. Dari hasil pengamatan terhadap mikrostruktur yang dilakukan terlihat fasa yang terbentuk adalah ferit dan perlit, fasa lain seperti *acicular ferrite* dan *widmanstatten ferrite* tidak ditemukan. Acicular ferrite hanya dapat terbentuk jika dilakukan penahanan (*holding time*) pada temperatur dibawah temperatur transformasi ^(ming c Zao).

V.3 HUBUNGAN UKURAN BUTIR FERIT DENGAN DEFORMASI

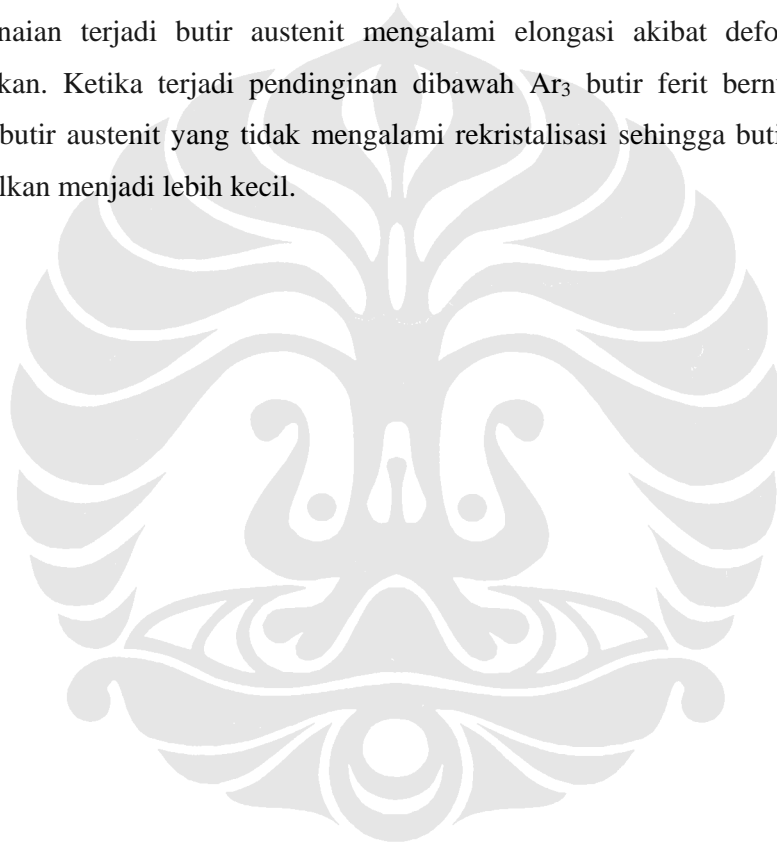
Untuk menunjukkan hubungan ukuran butir ferit dengan deformasi dapat dipergunakan model Saito yang telah ditunjukkan oleh persamaan 5.4. Tetapi pada persamaan 5.4 belum terlihat jelas hubungan antara ukuran butir ferit (d_a) dengan deformasi (ϵ). Untuk mendapatkan hubungan yang lebih jelas antara deformasi dan ukuran butir ferit, maka model persamaan (pers 5.4) yang telah dibuat oleh Saito harus disederhanakan menjadi:

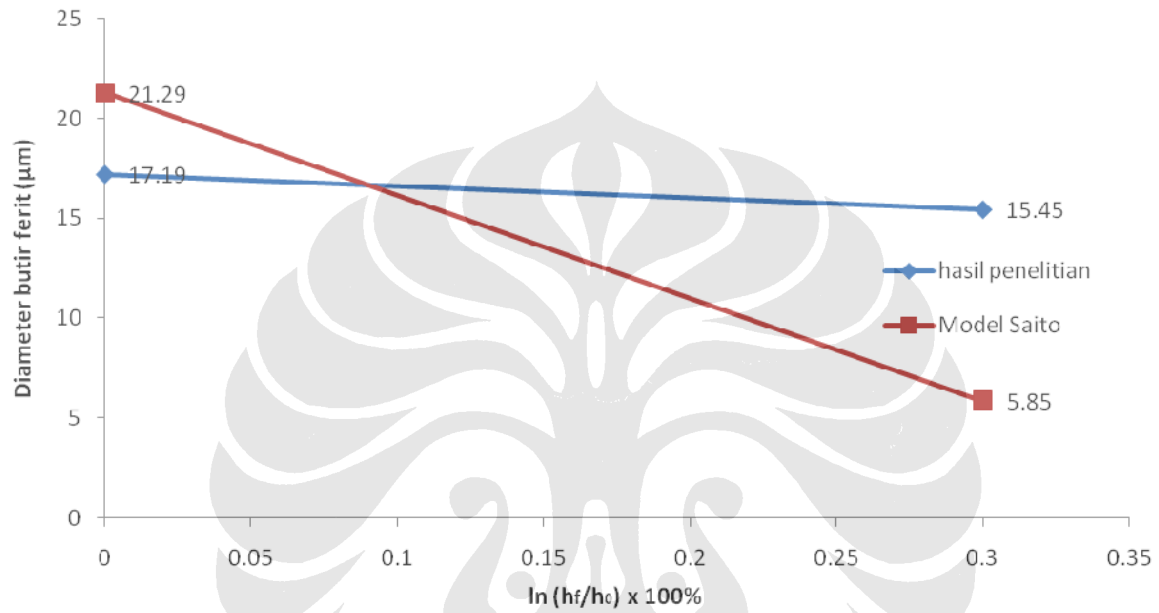
$$0.88 \tanh(10\epsilon) = \ln k - \ln d_a \quad (5.7)$$

Berdasarkan persamaan 5.7 diatas terlihat jelas bahwa berdasarkan model persamaan yang dibuat oleh Saito (pers 5.4), maka peningkatan deformasi akan menyebabkan penurunan ukuran butir ferit secara eksponensial. Hubungan ini diperlihatkan oleh gambar 5.3. Hasil percobaan menunjukkan kecenderungan penurunan ukuran butir ferit sesudah deformasi, begitu juga dengan model yang dibuat oleh Saito menunjukkan kecenderungan yang sama. Proses TMCP memiliki tujuan meningkatkan nilai kekuatan dan kekerasan dari suatu material dengan cara melakukan kontrol terhadap mikrostruktur. Tujuan ini dapat tercapai jika mikrostruktur yang terbentuk setelah deformasi adalah berupa butir ferit yang halus. Butir ferit yang halus dapat dicapai dengan terlebih dahulu melakukan kontrol terhadap butir austenit sebelum temperatur transformasi. Oleh karena itu austenit yang terekristalisasi sempurna dengan melakukan deformasi diatas temperatur transformasinya akan mengakibatkan butir ferit yang dihasilkan lebih

kecil. Pada saat pengerjaan panas rekristalisasi dan pertumbuhan butir terjadi secara berkelanjutan.

Namun demikian, jika proses pencanaan akhir dilakukan diatas temperatur A_{r3} (temperatur transformasi austenit menjadi ferit). Presipitat akan mengendap kembali akibat menurunnya kelarutan presipitat dalam butir austenit akibat penurunan temperatur. Partikel presipitat ini mencegah pertumbuhan butir austenit bahkan rekristalisasi. Proses penghalusan butir ini dipengaruhi oleh jumlah paduan, derajat deformasi dan temperatur pencanaan. Pada saat proses pencanaan terjadi butir austenit mengalami elongasi akibat deformasi yang diberikan. Ketika terjadi pendinginan dibawah A_{r3} butir ferit bernukleasi dari batas butir austenit yang tidak mengalami rekristalisasi sehingga butir ferit yang dihasilkan menjadi lebih kecil.





Gambar 5.3. Hubungan ukuran butir ferit dengan regangan deformasi hasil percobaan dibandingkan dengan model yang dibuat oleh Saito dkk⁽²¹⁾

V.4 HUBUNGAN UKURAN BUTIR FERIT TERHADAP KETAHANAN KOROSI BAJA HSLA 0.029 % Nb.

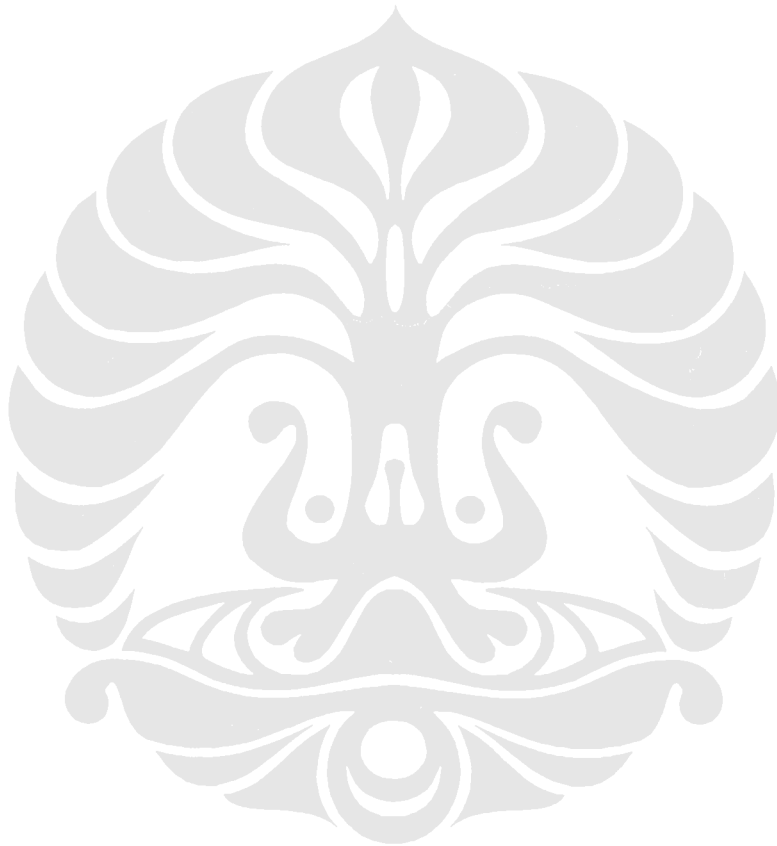
Ketahanan korosi suatu material dapat ditunjukkan oleh besar laju korosinya. Berdasarkan gambar 4.8 terlihat bahwa laju korosi benda uji yang terdeformasi lebih besar daripada benda uji yang tidak terdeformasi. Proses deformasi menyebabkan ukuran butir ferit dari benda uji menjadi lebih kecil sebagaimana diperlihatkan oleh gambar 5.3. Pada gambar 5.4 terlihat bahwa semakin kecil ukuran butir ferit maka laju korosi akan meningkat. Hal ini disebabkan semakin kecilnya ukuran butir akan berakibat terhadap meningkatnya jumlah batas butir dalam suatu struktur material. Batas butir merupakan suatu daerah antarmuka antara butir yang satu dengan butir yang lain dengan arah kristalografi yang berbeda. Pada batas butir ini pula biasanya dislokasi terakumulasi, secara termodinamika korosi keadaan ini membuat energi pada batas butir menjadi lebih tinggi sehingga akan meningkatkan reaksi korosi. Sesuai dengan persamaan Gibbs (pers 2.5.) yaitu:

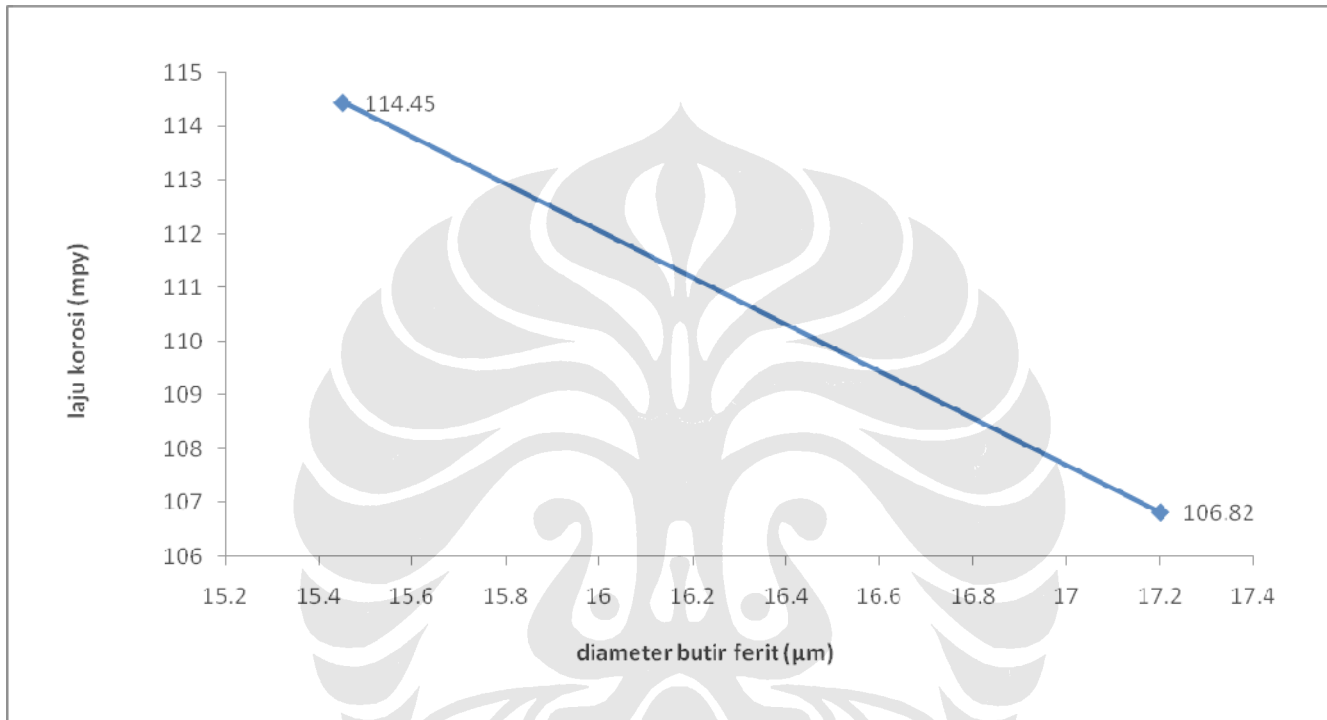
$$\Delta G = -nFE \quad (2.5)$$

Maka semakin positif energi bebas maka reaksi akan berjalan tidak spontan, dan kebalikkannya semakin negatif energi bebas maka reaksi akan berjalan spontan. Dari data pengukuran nilai potensial benda uji setelah deformasi (Tabel 4.7) terlihat bahwa setelah mengalami deformasi, benda uji memiliki nilai potensial (E) sebesar -478 mV vs Ag/AgCl sedangkan sebelum mengalami deformasi potensial yang dimiliki benda uji adalah sebesar -420 mV vs Ag/AgCl . Jika nilai tersebut disubstitusikan ke dalam persamaan 2.5 diatas, maka terlihat bahwa energi bebas dari benda uji setelah deformasi lebih negatif dibandingkan energi bebas dari benda uji sebelum deformasi. Dengan demikian benda uji dengan ukuran butir lebih kecil cenderung lebih mudah terkorosi dibandingkan benda uji dengan butir ferit yang lebih kasar.

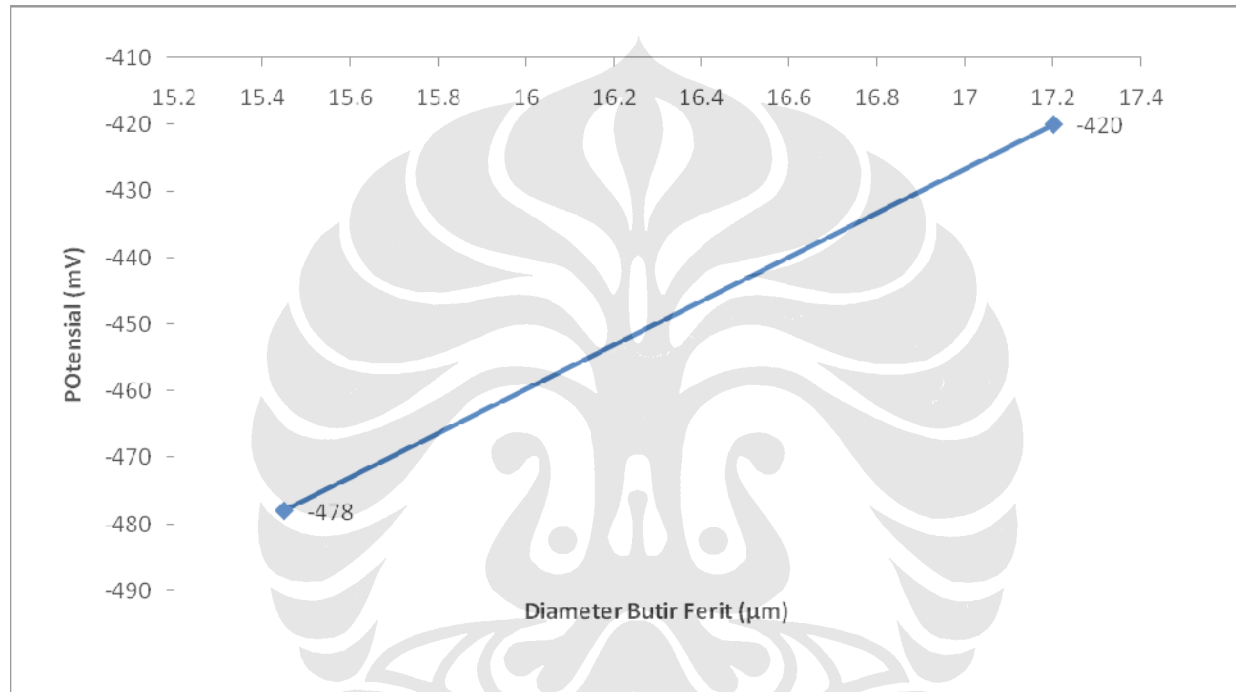
Proses pengerolan terkendali (TMCP) merupakan salah satu cara untuk meningkatkan kekuatan dan kekerasan suatu material. Material yang memiliki nilai kekerasan dan kekuatan yang tinggi biasanya mengakibatkan turunnya

ketahanan korosi dari material tersebut⁽³⁾. Berdasarkan literatur ⁽³⁾ , struktur martensit yang keras misalnya, memiliki ketahanan korosi yang lebih buruk dibandingkan dengan baja feritik maupun austenitik. Deformasi yang diberikan terhadap baja HSLA 0.029% Nb menyebabkan butir austenit terdeformasi menjadi lebih keras dan dapat menurunkan ketahanan korosi⁽³⁾.





Gambar 5.4. Hubungan ukuran butir ferit hasil percobaan dengan laju korosi



Gambar 5.5. Hubungan ukuran butir ferit hasil percobaan dengan potensial