

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN

Pada penelitian ini, baja HSLA 0.03% Nb digunakan sebagai benda uji. Proses pemanasan dilakukan pada benda uji tersebut dengan temperatur 1200<sup>0</sup> C, yang didapat dari persamaan 2.1.

#### IV.1. HASIL DEFORMASI ROLLING

Pengujian dilakukan tepat setelah pemanasan ulang masing-masing benda uji. Pengujian dilakukan dengan mesin rolling yang ada di Departemen Metalurgi dan Material Universitas Indonesia. Data yang didapat berupa perubahan ketebalan.

$$\% Deformation = Ln \frac{H_0}{H_f} \quad (4.1)$$

% Deformation = Besar prosentase perubahan ketebalan yang diinginkan

H<sub>0</sub> = Ketebalan Awal

H<sub>f</sub> = Ketebalan Akhir

**Tabel 4.1 Hasil Canai Panas**

	30%	40%	50%
Ketebalan Awal (H <sub>0</sub> )	10 mm	10 mm	10 mm
Ketebalan Akhir (H <sub>f</sub> )	7.1 mm	6.2 mm	6 mm
Real % Deformation	34%	47%	51%

Deformasi yang direncanakan sebesar 30%, 40%, dan 50% untuk benda uji, dengan adanya faktor *spring back* setelah canai, maka *roll gap* diperbesar 10% dari besar deformasi yang diinginkan. Walaupun demikian hasil deformasi yang

didapatkan tidak tepat sesuai dengan yang diinginkan yaitu 30%, 40%, dan 50% tetapi cenderung lebih besar dari yang diinginkan yaitu 34%, 47%, dan 51%, Ini dikarenakan adanya deformasi plastis pada mesin rolling. Deformasi benda kerja dihitung tanpa menghitung terbentuknya oksida, hal ini juga menyebabkan tebal benda uji sebenarnya lebih kecil daripada yang diperkirakan.

Selama proses benda uji tetap dihubungkan dengan *thermocouple* untuk memonitor siklus termal benda uji selama proses pemanasan ulang, deformasi panas, dan pendinginan udara

## **IV.2. MORFOLOGI MIKROSTRUKTUR BAJA HSLA 0.029%wt Nb DENGAN VARIASI DERAJAT DEFORMASI**

Untuk mendapatkan foto struktur mikro dari benda uji dilakukan terlebih dulu proses-proses preparasi metalografi. Data yang didapat berupa penampakan benda uji skala mikro.

### **IV.2.1. Ukuran Butir**

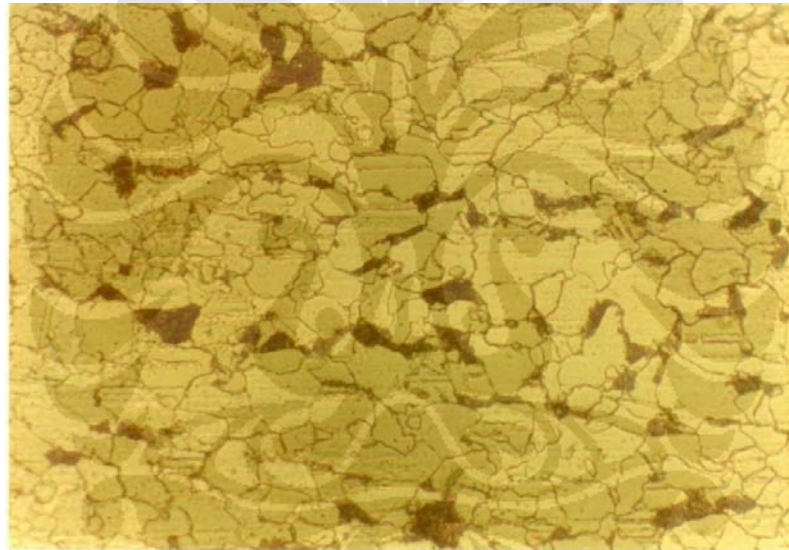
Butir ferit yang terbentuk pada deformasi 30% seperti terlihat pada gambar 4.3 terlihat lebih besar dibandingkan dengan yang ada pada gambar 4.4 dimana mengalami deformasi sebesar 40%, berkurangnya besar diameter butir ferit yang terbentuk juga terjadi pada deformasi 50% seperti yang terlihat pada gambar 4.7.

Begitu juga besar butir austenit yang terbentuk seiring dengan penambahan besar deformasi besar butir austenit akan mengalami penurunan. Seperti terlihat pada gambar 4.4 dimana merupakan hasil deformasi 30% memiliki besar butir yang lebih besar dibandingkan dengan gambar 4.6 dan 4.8 yang mengalami deformasi sebesar 40% dan 50%

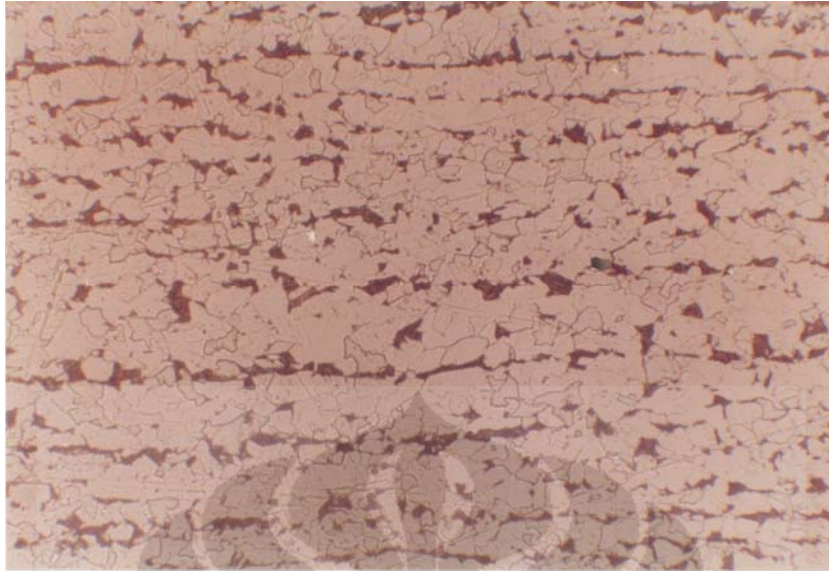
#### **IV.2.2. Bentuk Butir Ferit**

Bentuk butir ferit seperti terlihat pada gambar 4.3 adalah berbentuk *equiaxed* dengan ukuran yang lebih besar daripada gambar 4.5 yang juga berbentuk *equiaxed* begitu pula pada gambar 4.7 hasil deformasi 50% butir ferit yang terbentuk berupa *equiaxed*. Terlihat berbeda daripada mikrostruktur HSLA yang tidak mengalami perlakuan yang feritnya berbentuk lebih lancip sesuai dengan gambar 4.1.

##### **IV.2.2.1 Non Deformasi**

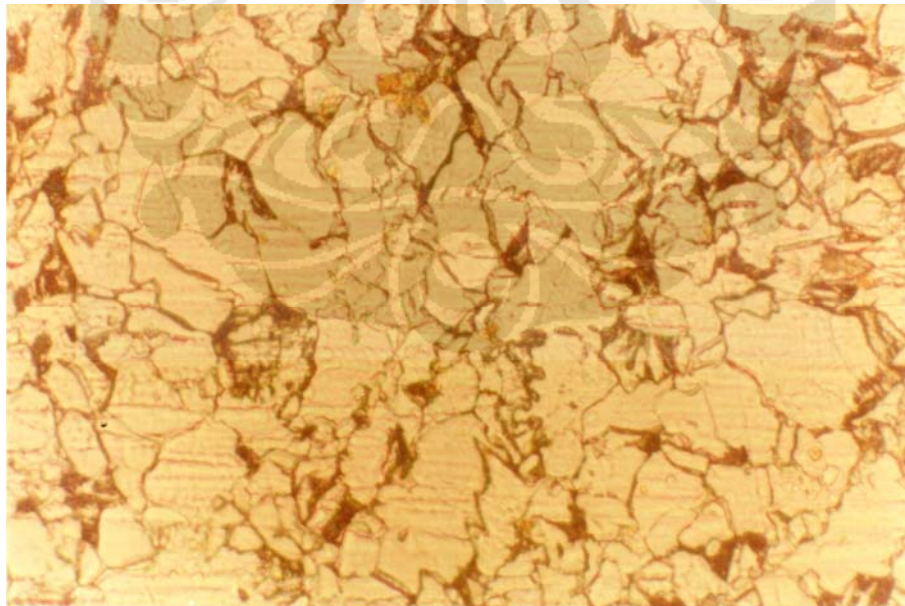


**Gambar 4.1. Mikrostruktur Baja HSLA 0.029% Nb Tanpa deformasi perbesaran 500x dan etsa nital**

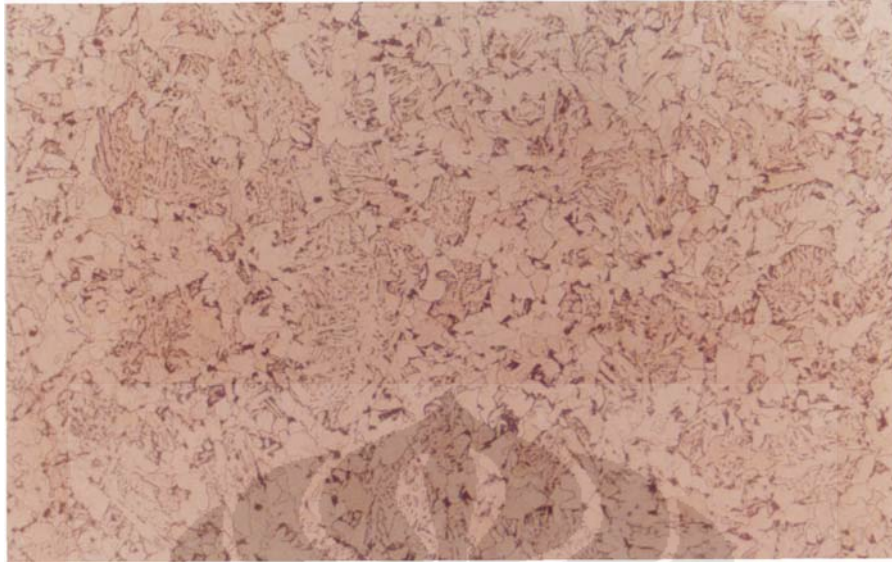


**Gambar 4.2. Mikrostruktur Baja HSLA 0.029% Nb Tanpa deformasi 500x perbesaran etsa picral**

#### **IV.2.2.2 Deformasi 30%**

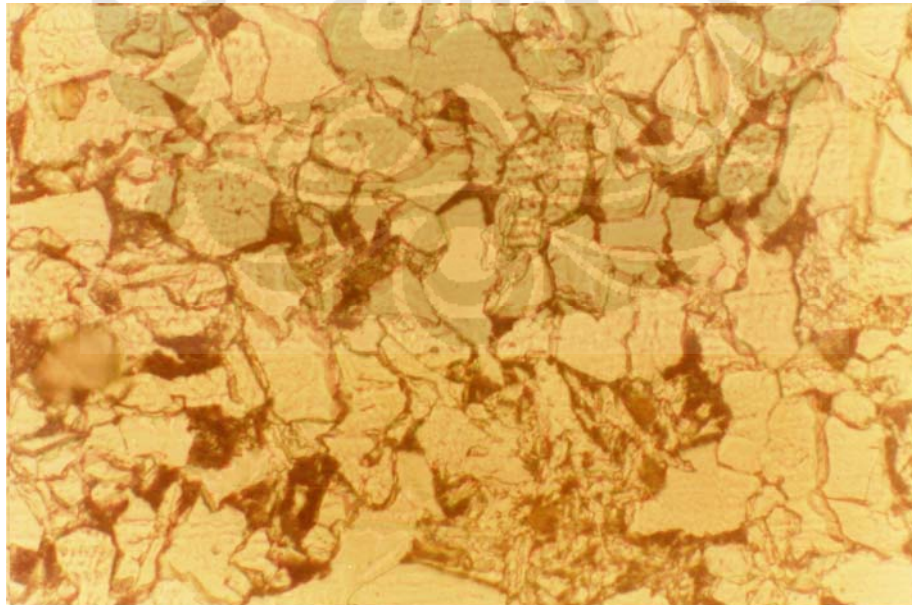


**Gambar 4.3 Deformasi 30% Baja HSLA dengan pemanasan 1200<sup>0</sup> C waktu tahan selama 1 jam. Perbesaran 500X zat etsa Nital**

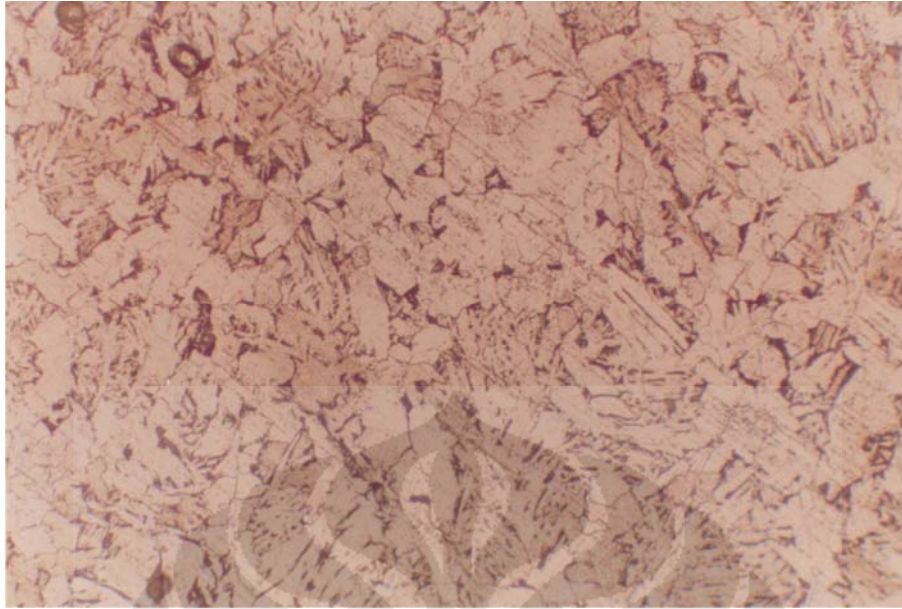


**Gambar 4.4 Deformasi 30% Baja HSLA dengan pemanasan 1200<sup>0</sup> C waktu tahan selama 1 jam. Perbesaran 500X zat etsa Picral**

#### **IV.2.2.3 Deformasi 40%**

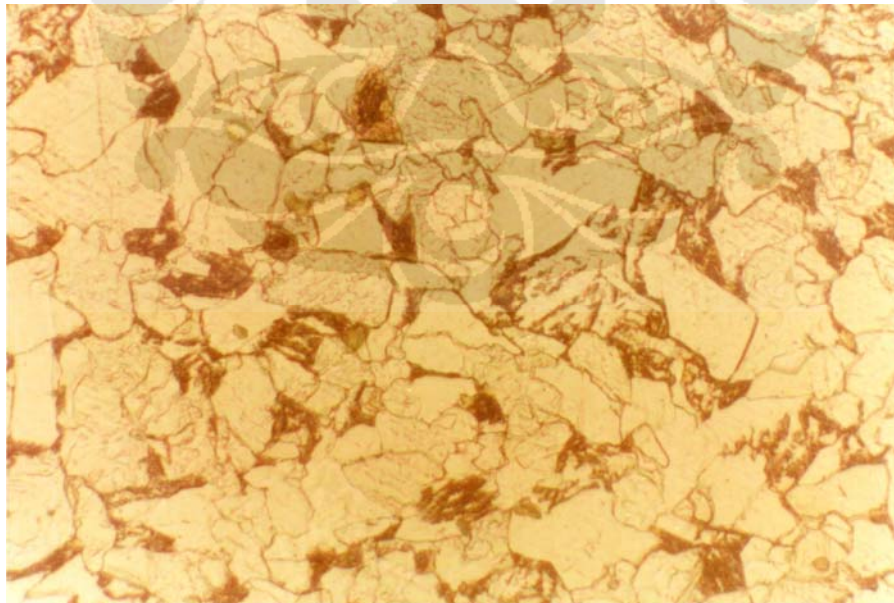


**Gambar 4.5 Deformasi 40% Baja HSLA dengan pemanasan 1200<sup>0</sup> C waktu tahan selama 1 jam. Perbesaran 500X zat etsa Nital**



**Gambar 4.6 Deformasi 40% Baja HSLA dengan pemanasan 1200<sup>0</sup> C waktu tahan selama 1 jam. Perbesaran 500X zat etsa Picral**

#### **IV.2.2.4. Deformasi 50%**



**Gambar 4.7 Deformasi 50% Baja HSLA dengan pemanasan 1200<sup>0</sup> C waktu tahan selama 1 jam. Perbesaran 500X zat etsa Nital**



**Gambar 4.8 Deformasi 50% Baja HSLA dengan pemanasan 1200<sup>0</sup> C waktu tahan selama 1 jam. Perbesaran 50X zat etsa Picral**

### **IV.3. PERHITUNGAN BESAR BUTIR**

#### **IV.3.1. Besar Butir Ferit**

Perhitungan besar butir ferit dilakukan menggunakan metode planimetri (*jefferies*) dan contoh perhitungannya dapat dilihat pada lampiran. Untuk baja-baja HSLA yang telah dilakukan pemanasan ulang dan kemudian mengalami proses canai panas adalah sebagai berikut:

**Tabel 4.2 Besar Butir Ferit HSLA Sebelum Deformasi**

<b>Material</b>	<b>N<sub>A</sub></b>	<b>d</b>	<b>d rata-rata</b>	<b>Standar Deviasi</b>	<b>Hasil (µm)</b>
<b>HSLA 0.029 % Nb sebelum deformasi</b>	3050	18.26	17.2	0.92	17.2 ± 0.92
	6000	12.94			
	7075	11.97			

**Tabel 4.3 Besar Butir Ferit HSLA Deformasi 30%**

<b>Benda Uji</b>	<b>N<sub>A</sub></b>	<b>d</b>	<b>d rata-rata</b>	<b>Standar Deviasi</b>	<b>Hasil (μm)</b>
<b>HSLA Deformasi 30%</b>	4300	15.37	15.45	0.17	15.45 ± 0.17
	4100	15.69			
	4350	15.29			

Rata-rata besar diameter untuk HSLA deformasi 30% adalah 15.45, didapatkan dari tiga kali pengukuran pada daerah acak.

**Tabel 4.4 Besar Butir Ferit HSLA Deformasi 40%**

<b>Benda Uji</b>	<b>N<sub>A</sub></b>	<b>d</b>	<b>d rata-rata</b>	<b>Standar Deviasi</b>	<b>Hasil (μm)</b>
<b>HSLA Deformasi 40%</b>	4975	15.61	14.62	0.23	14.62 ± 0.23
	4625	16.14			
	4725	17.23			

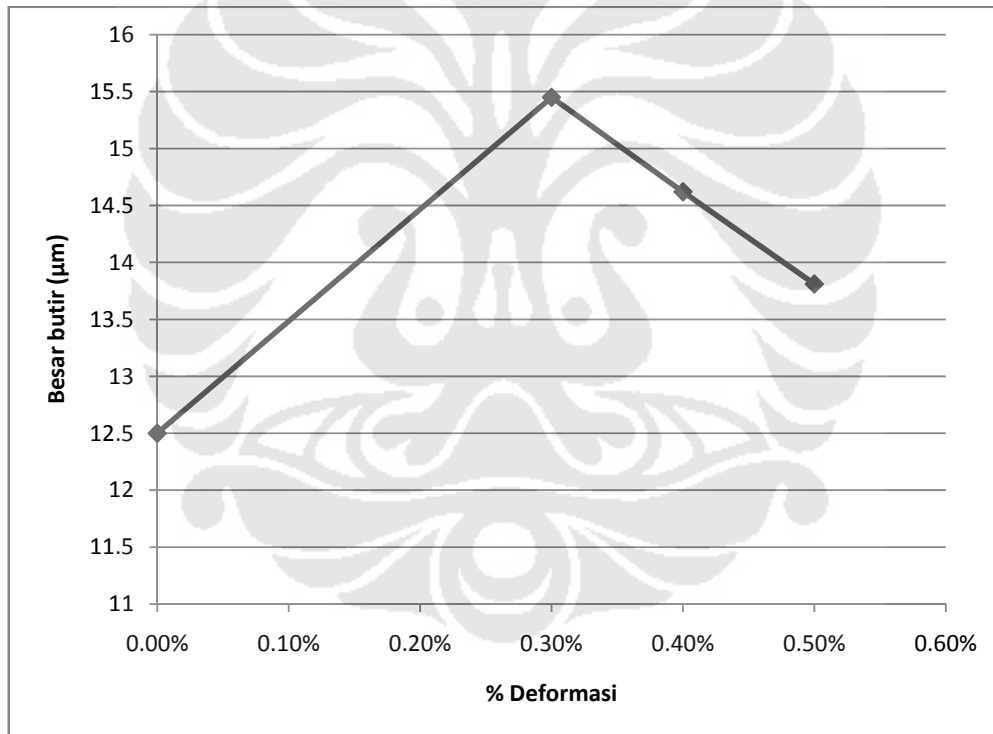
Rata-rata besar diameter untuk HSLA deformasi 40% adalah 14.62, didapatkan dari tiga kali pengukuran pada daerah acak.



**Tabel 4.5 Besar Butir Ferit HSLA Deformasi 50%**

Benda Uji	$N_A$	d	d rata-rata	Standar Deviasi	Hasil ( $\mu\text{m}$ )
<b>HSLA Deformasi 50%</b>	5100	14.1	13.8	0.57	13.8 $\pm$ 0.57
	4950	14.34			
	5925	13.01			

Rata-rata besar diameter untuk HSLA deformasi 50% adalah 13.8, didapatkan dari tiga kali pengukuran pada daerah acak.



**Gambar 4.9 Perbandingan Besar Butir Ferit Tiap Benda Uji**

Dari data yang didapatkan menunjukkan kecenderungan besar butir ferit yang semakin menurun dengan bertambahnya deformasi yang diberikan pada benda uji.

### IV.3.2. Besar Butir Austenit

Seperti halnya pengukuran butir ferit butir austenit juga dihitung menggunakan metode planimetri (*jefferies*). Berikut adalah hasil perhitungan besar butir untuk beberapa perlakuan.

Untuk baja-baja HSLA yang telah dilakukan pemanasan ulang dan kemudian mengalami proses canai panas adalah sebagai berikut:

**Tabel 4.6. Besar Butir Austenit HSLA Sebelum Deformasi**

Material	$N_A$	d	d rata-rata	Standar Deviasi	Hasil ( $\mu\text{m}$ )
HSLA 0.029 % Nb sebelum deformasi	12.75	283.13	268.50	17.0	268.5 $\pm$ 17.0
	13.25	277.83			
	17	244.56			

**Tabel 4.7 Besar Butir Austenit HSLA Deformasi 30%**

Benda Uji	$N_A$	d	d rata-rata	Standar Deviasi	Hasil ( $\mu\text{m}$ )
HSLA Deformasi 30%	104	99.16	104.46	3.92	104.46 $\pm$ 3.92
	90	105.71			
	84	108.52			

Rata-rata besar diameter butir austenit untuk HSLA deformasi 30% adalah 104.46, didapatkan dari tiga kali pengukuran pada daerah acak.

**Tabel 4.8 Besar Butir Austenit HSLA Deformasi 40%**

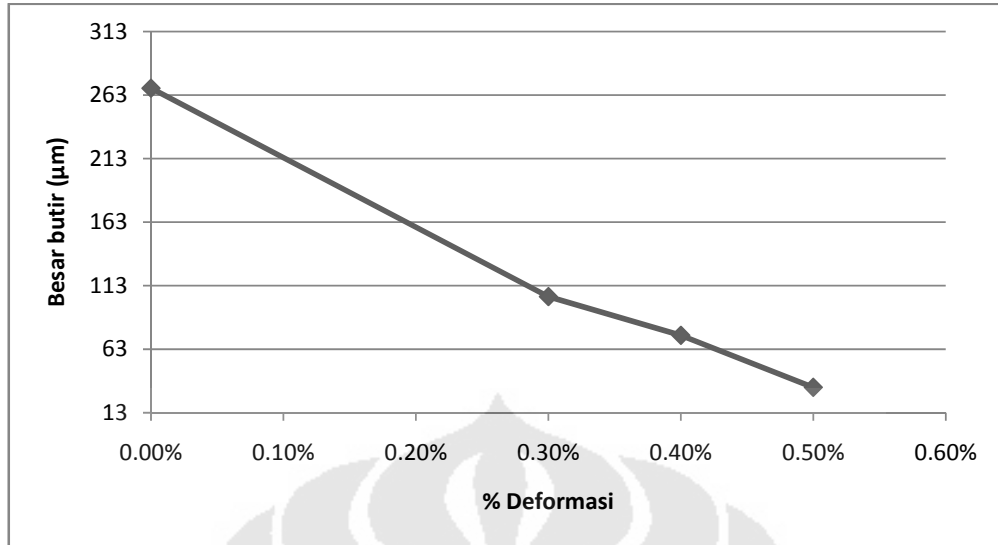
<b>Benda Uji</b>	<b>N<sub>A</sub></b>	<b>d</b>	<b>d rata-rata</b>	<b>Standar Deviasi</b>	<b>Hasil (μm)</b>
<b>HSLA Deformasi 40%</b>	208	70.1	73.9	3.03	73.9 ± 3.03
	184	74.072			
	168	77.54			

Rata-rata besar diameter butir austenit untuk HSLA deformasi 40% adalah 73.9, didapatkan dari tiga kali pengukuran pada daerah acak.

**Tabel 4.9 Besar Butir Austenit HSLA Deformasi 50%**

<b>Benda Uji</b>	<b>N<sub>A</sub></b>	<b>d</b>	<b>d rata-rata</b>	<b>Standar Deviasi</b>	<b>Hasil (μm)</b>
<b>HSLA Deformasi 50%</b>	900	33.69	32.99	1.37	32.99 ± 1.37
	1050	31.07			
	875	34.21			

Rata-rata besar diameter butir austenit untuk HSLA deformasi 50% adalah 32.99, didapatkan dari tiga kali pengukuran pada daerah acak.



**Gambar 4.10 Perbandingan Besar Butir Austenit Tiap Benda Uji**

Dari data yang didapatkan menunjukkan kecenderungan besar butir austenit yang semakin menurun dengan bertambahnya deformasi yang diberikan pada benda uji.

#### **IV.4. PERHITUNGAN LAJU KOROSI**

Data nilai laju korosi yang didapatkan adalah berupa nilai mpy (*mills per year*). Data-data ini didapat dari pengurangan berat (*weight loss*) yang terjadi pada pengujian *salt spray*.

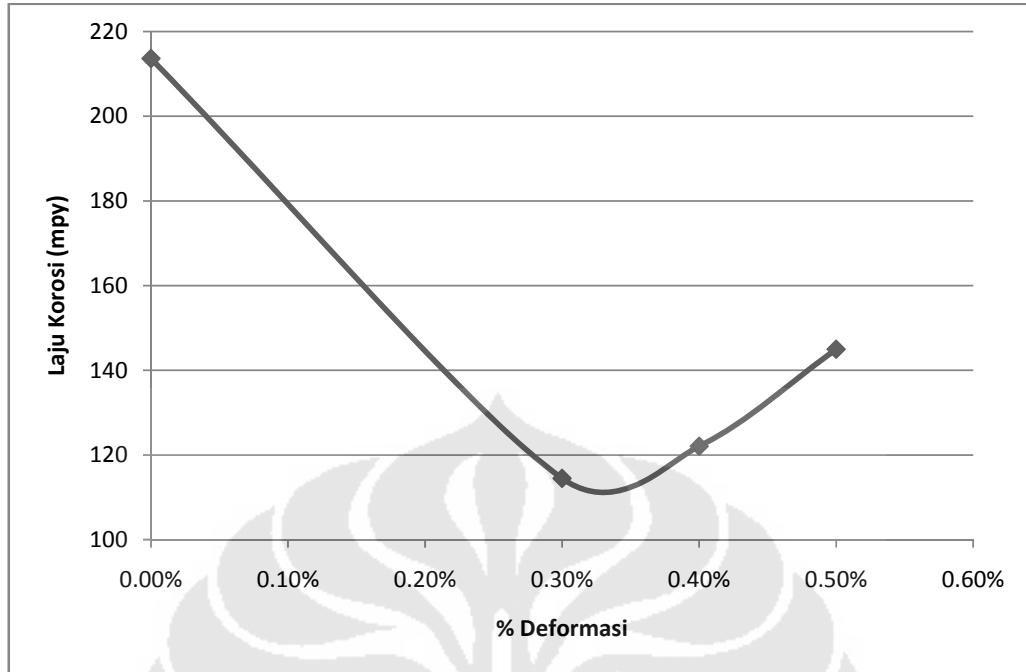
Data-data tersebut diolah dengan persamaan 2.10 untuk mengetahui perubahan berat yang terjadi dan juga menggunakan persamaan 2.11 untuk mengetahui besar laju korosi yang terjadi.

**Tabel 4.10 Data Perubahan Berat dan Laju Korosi**

<b>Benda Uji HSLA 0.029% Nb</b>	<b>Waktu Papar (Jam)</b>	<b>Berat Awal (gram)</b>	<b>Berat Akhir (gram)</b>	<b>Potensial vs Ag.AgCl (Volt)</b>	<b>Laju Korosi (mpy)</b>	<b>Laju Korosi Rata- rata</b>
<b>Deformasi 30%</b>	48	41.47	41.4	-0.478	160.23	114.45
	48	41.4	41.35		114.45	
	48	41.35	41.32		68.67	
<b>Deformasi 40%</b>	48	40.93	40.85	-0.482	183.12	122.08
	48	40.85	40.8		114.45	
	48	40.8	40.77		68.67	
<b>Deformasi 50%</b>	48	31.5	31.42	-0.495	183.12	144.97
	48	31.42	31.37		114.45	
	48	31.37	31.31		137.34	

Dari data yang didapatkan terlihat bahwa kisaran berat yang hilang selama proses *salt spray* tidaklah begitu signifikan hanya berbeda sekitar  $\pm 0.02$  saja. Contoh perhitungan laju korosi terdapat pada lampiran.

Besar potensial yang dimiliki oleh tiap benda uji juga menurun seiring dengan meningkatnya derajat deformasi yang diberikan. Pada deformasi 30% besar potensial yang ada sebesar -0.478 V, pada derajat deformasi 40% besar potensial yang dimiliki sebesar -0.482 V, dan pada deformasi sebesar 50% besar potensial yang dimiliki sebesar -0.495 V.



**Gambar 4.11. Grafik Laju Korosi vs Besar Deformasi**

Dari gambar 4.11 bisa dilihat bahwa kecenderungan laju korosi yang terjadi pada benda uji adalah semakin meningkatnya laju korosi dengan peningkatan besaran deformasi. Terlihat dengan pemberian deformasi sebesar 30% laju korosi berkisar dinilai 114 mpy dan akan naik jika nilai besaran deformasi juga ditingkatkan seperti terlihat pada deformasi 40% dan 50% dimana laju korosi meningkat.

## **BAB V**

### **PEMBAHASAN**

Dalam bab ini akan dibahas mengenai pengaruh besar derajat deformasi sebesar 30%, 40%, dan 50% terhadap pertumbuhan butir ferit dan laju korosi baja HSLA 0.029% Nb.

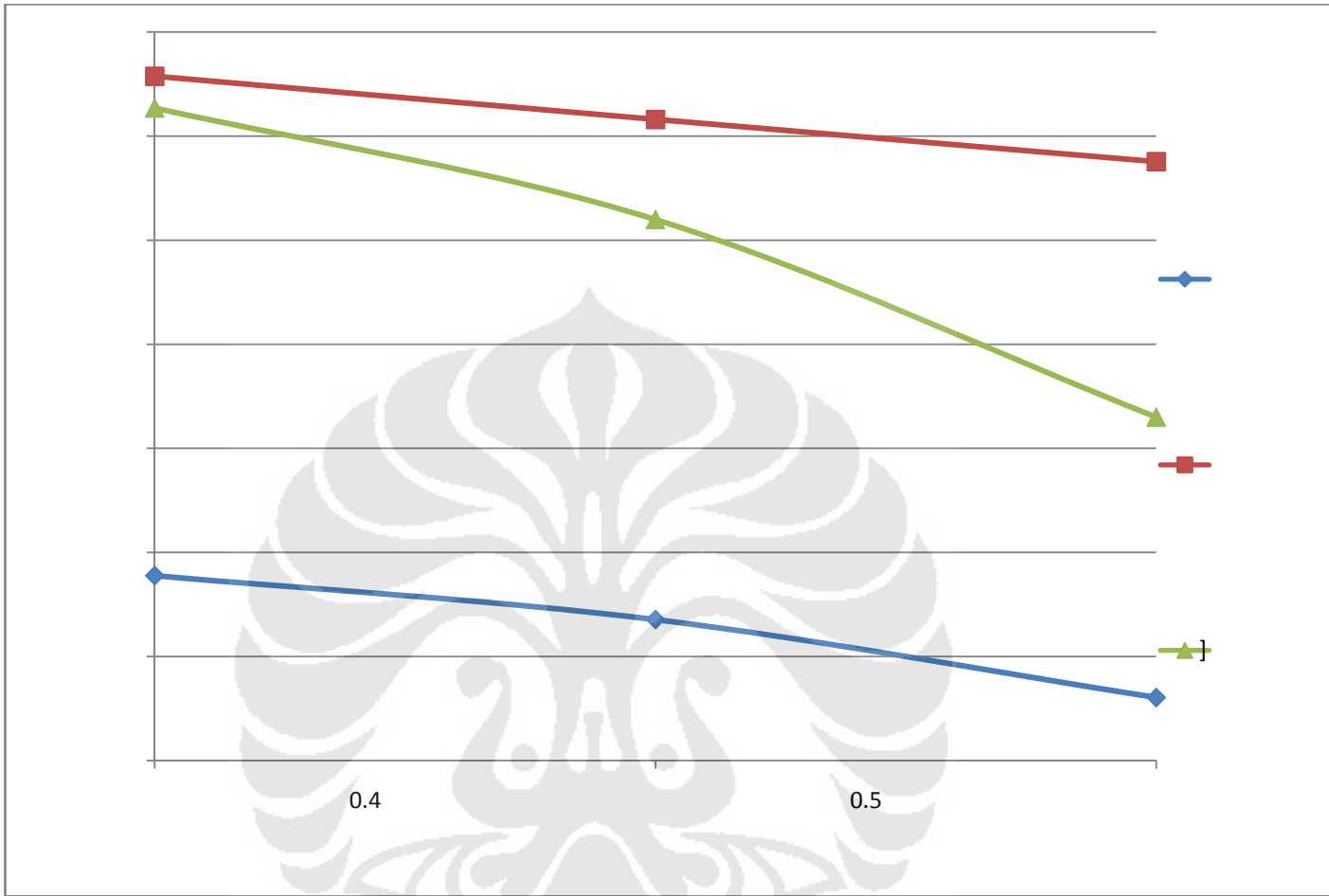
#### **V.1. HUBUNGAN ANTARA DIAMETER BUTIR DENGAN DEFORMASI**

Deformasi pada proses canai panas terjadi diatas temperatur austenisasi, karena pada temperatur tersebut seluruh atom dalam kisi kristal menjadi tidak stabil dan mudah bergerak secara difusi menuju tempat lain membentuk daerah kosong. Pada saat inilah terjadi pertumbuhan butir dan perubahan bentuk butir. Dengan demikian semakin tingginya temperatur maka deformasi yang terjadi semakin mudah. Ketika pendinginan terjadi pembentukan butir baru atau pertumbuhan butir seiring dengan penurunan temperatur. Apabila dilakukan deformasi lebih besar maka butir semakin kecil.

Pada gambar 4.10 yang memperlihatkan kecenderungan hubungan secara linear antara besar butir austenit dengan deformasi, dimana diameter butir austenit akan semakin kecil dengan bertambahnya deformasi. Demikian pula yang terjadi pada gambar 4.9 yang memperlihatkan hubungan secara linear antara besar butir ferit dengan besar deformasi

#### **V.2. TRANSFORMASI AUSTENIT-FERIT DENGAN PENGARUH DEFORMASI**

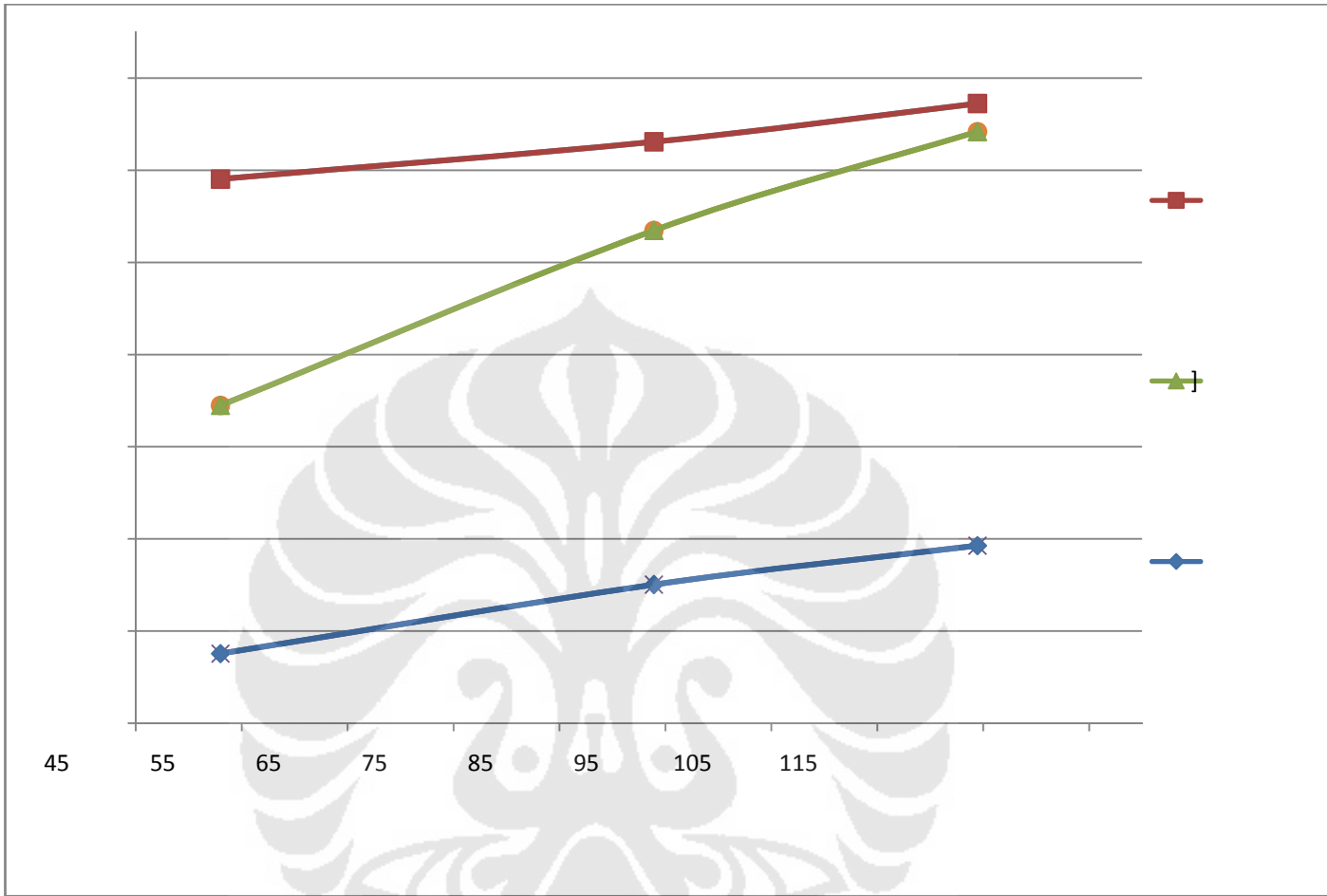
Perubahan ukuran butir ferit yang terjadi pada penelitian ini terlihat jelas pada gambar 4.9, dimana terlihat semakin tinggi deformasi yang diberikan maka hasil akhir butir ferit yang didapatkan menjadi lebih kecil secara linier.



**Gambar 5.1 Hubungan Antara Besar Deformasi Terhadap Butir Ferit**



Dari kecenderungan diatas terlihat bahwa kecenderungan antara kedua model dan hasil penelitian sama, perbandingan ini digunakan karena model saito<sup>[13]</sup> memberikan hubungan antara besar butir ferit terhadap besar awal butir austenit dan juga merupakan fungsi dari regangan deformasi yang dialami benda uji serta laju pendinginan. Sedangkan model saito modifikasi<sup>[14]</sup> merupakan modifikasi model saito yang dilakukan oleh Siradj<sup>[14]</sup> komposisi yang digunakan dalam metode tersebut ialah 0.031%wt Nb. Tetapi dari kedua model tersebut menunjukkan kecenderungan yang sama, yaitu terjadinya penurunan besar butir ferit dengan pemberian deformasi yang meningkat diakibatkan dengan lebih besarnya derajat deformasi yang akan membuat presipitat mengendap kembali, presipitat inilah yang akan mencegah pertumbuhan butir austenit. Pencegahan pertumbuhan butir austenit ini terjadi akibat perlakuan deformasi dilakukan diatas temperatur  $A_{r3}$ (temperatur transformasi austenit menjadi ferit), karena presipitat akan mengendap kembali akibat adanya penurunan temperatur yang berakibat pada terjadinya penurunan kelarutan presipitat<sup>[5]</sup>. Dengan menurunnya ukuran butir austenit berarti meningkatnya luas daerah batas butir austenit yang akan memberikan kemudahan tempat terbentuknya nukleasi fasa ferit. Dengan bertambah kecilnya ukuran awal butir austenit dan makin banyaknya batas butir austenit akibat deformasi, maka setelah transformasi butir ferit yang terbentuk menjadi lebih halus<sup>[14]</sup>.



**Gambar 5.2 Hubungan Antara Butir Austenit Terhadap Butir Ferit**

### V.3. HUBUNGAN LAJU KOROSI HSLA 0.029%wt Nb DENGAN BESAR BUTIR AUSTENIT-FERIT

Hubungan antara besar butir ferit dengan laju korosi terletak pada jumlah batas butir yang terjadi. Sebagaimana diketahui bahwa dengan melakukan penghalusan butir berarti kita telah memperbanyak daerah batas butir, sedangkan pada daerah batas butir inilah banyak berkumpul dislokasi-dislokasi. Banyaknya batas butir dengan banyaknya dislokasi menyebabkan daerah batas butir memiliki energi yang tinggi. Teori tentang energi bebas pada batas butir bisa menjelaskan mengapa nilai laju korosi seiring dengan kenaikan derajat deformasi ikut meningkat. Energi bebas pada batas butir memiliki nilai yang tinggi, sehingga apabila jumlah batas butir semakin banyak maka nilai energi bebasnya pun akan meningkat<sup>[15]</sup>.

Jika dilihat dari persamaan Gibbs Free Energy :

$$\Delta G = -nFE$$

$\Delta G$  = Energi bebas (Kjoule/mol)

n = Elektron yang terlibat

F = 96500

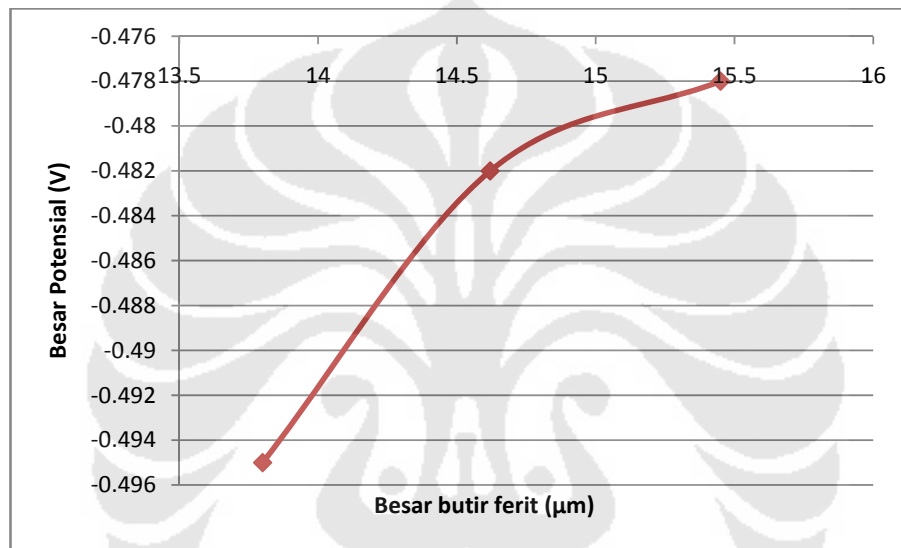
E = Potensial (Volt)

Laju korosi baja HSLA 0.029%wt Nb terlihat jelas pada gambar 4.11 dimana laju korosi meningkat seiring dengan kenaikan derajat deformasi.

Nilai potensial dengan deformasi pada pengujian kali ini adalah, untuk benda uji dengan derajat deformasi sebesar 30% memiliki nilai potensial sebesar -0.478 V vs Ag/AgCl, sedangkan pada pengujian dengan derajat deformasi sebesar 40% nilai potensial yang dimiliki menurun dibandingkan dengan yang dimiliki oleh pengujian dengan deformasi 30% dimana nilai untuk pengujian deformasi 40% adalah -0.482 V vs Ag/AgCl, kecenderungan untuk turunnya nilai potensial akibat pemberian deformasi terus berlanjut pada deformasi 50% dimana nilai potensial yang didapatkan sebesar -0.495 V vs Ag/AgCl.

Maka semakin positif energi bebas maka reaksi akan berjalan tidak spontan, dan kebalikannya semakin negatif energi bebas maka reaksi akan berjalan spontan.

Dengan besar butir ferit sebesar 15.45  $\mu\text{m}$  maka laju korosi yang didapatkan sebesar 114.51 mpy, dan pada perlakuan dengan deformasi sebesar 50% besar butir ferit yang didapatkan sebesar 13.8  $\mu\text{m}$  dan laju korosinya sebesar 144.97 mpy. Terlihat jelas bahwa dengan semakin kecilnya diameter butir maka laju korosi juga akan semakin meningkat.



**Gambar 5.3 Hubungan Antara Butir Ferit Terhadap Nilai Potensial Korosi Baja HSLA 0.029% Nb**

Maka terlihat bahwa jika energi bebas memiliki nilai yang tinggi maka akan berbanding lurus dengan nilai potensial dari benda uji tersebut. Dimana dengan makin negatifnya nilai potensial maka laju korosi akan lebih mudah terjadi.