

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN

Pada penelitian ini, baja HSLA 0,029% Nb dan baja karbon rendah digunakan sebagai benda uji. Benda uji dipanaskan ulang pada temperatur 1200 °C secara isothermal selama satu jam. Proses perlakuan panas ini akan menghasilkan ukuran butir yang berbeda.

Kemudian setelah itu benda uji dilakukan pengujian korosi dengan menggunakan metode sembur kabut garam. Hasil penelitian yang diperoleh berupa struktur mikro dan pertumbuhan butir ferit yang dinyatakan dalam diameter butir tersebut. Selain itu juga dihasilkan data hasil laju korosi dalam mpy.

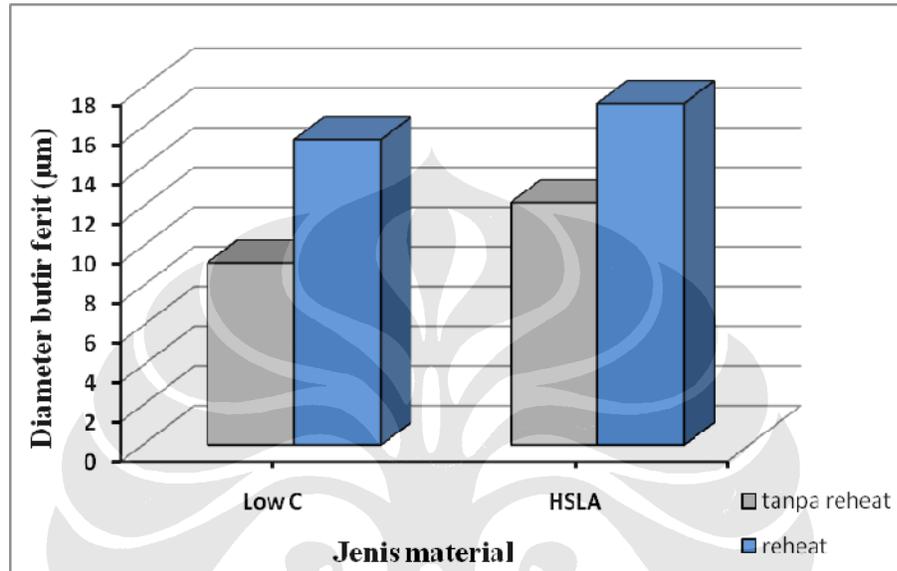
#### 4.1. BESAR BUTIR FERIT

Ukuran diameter butir ferit akan berubah setelah dilakukan pemanasan. Hal ini ditunjukkan oleh hasil perhitungan butir ferit dengan metoda planimetri *Jeffries* sesuai dengan ASTM E-112. Perbandingan besar butir ferit sebelum dan sesudah perlakuan pada baja HSLA dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Ukuran diameter butir ferit pada baja karbon rendah dan baja HSLA

Material	d Ferit ( $\mu\text{m}$ )
Low C bulk	$9.17 \pm 0.11$
Low C <i>quench</i>	$12.2 \pm 0.12$
Low C <i>air cooling</i>	$15.37 \pm 0.23$
HSLA bulk	$12.53 \pm 0.4$
HSLA <i>quench</i>	-
HSLA <i>air cooling</i>	$17.2 \pm 0.9$

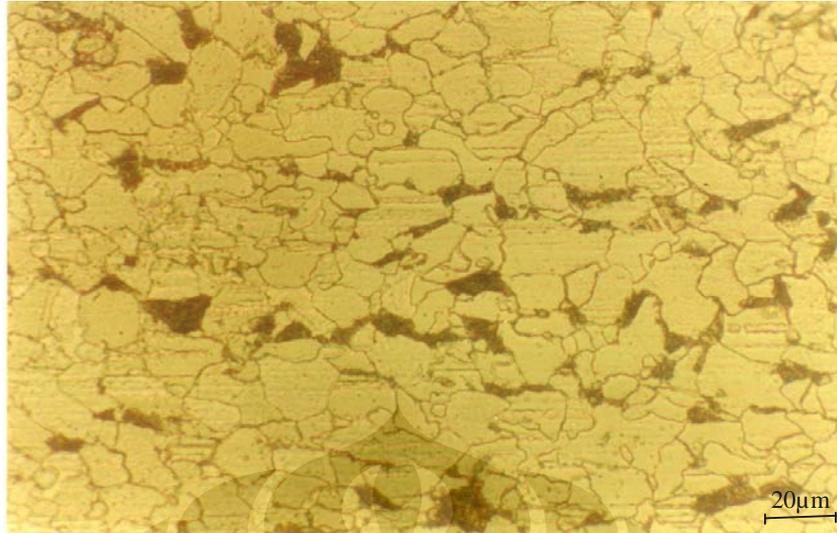
Untuk perhitungan ukuran butir ferit pada HSLA menggunakan data percobaan saudara Nandyo<sup>[21]</sup>, dimana pendinginan yang digunakan adalah pendinginan udara, dikarenakan tidak terbentuknya fasa ferit pada HSLA *as quench*.



Gambar 4.1 Perbandingan besar butir ferit baja karbon rendah dengan baja HSLA

#### 4.2. PENGAMATAN STRUKTUR MIKRO

Struktur mikro benda uji diamati dengan menggunakan metode metalografi. Hasil foto pengamatan struktur mikro ditampilkan pada gambar 4.2 sampai 4.7.



Gambar 4.2. Foto struktur mikro ferit baja HSLA 0,029 % Nb tanpa perlakuan, etsa Nital 2%



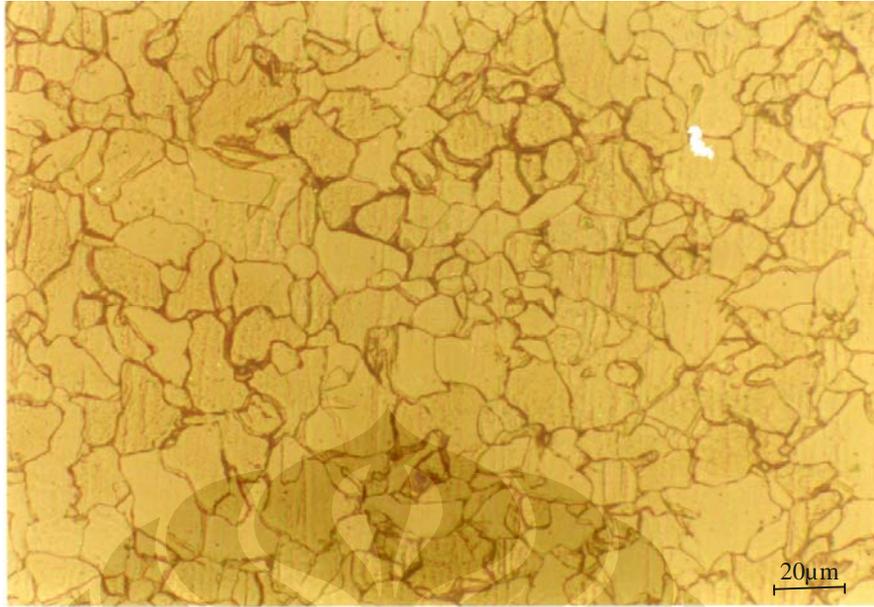
Gambar 4.3 Foto struktur mikro baja HSLA 0,029 % Nb *reheat* pada 1200 °C selama 1 jam celup air, etsa Nital 2%, *quench* air



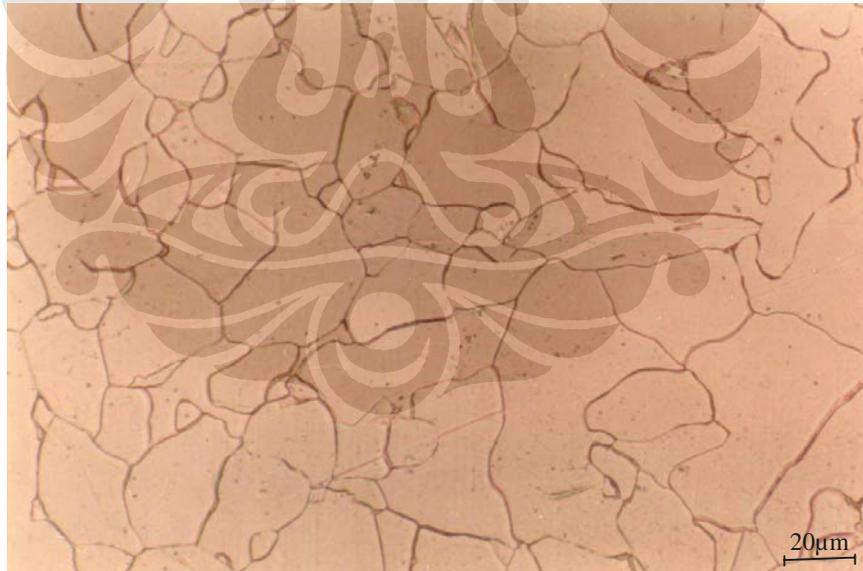
Gambar 4.4 Foto struktur mikro butir ferit baja HSLA 0,029 % Nb setelah *reheat* pada 1200 °C selama 1 jam, etsa Nital 2%, pendinginan udara



Gambar 4.5 Foto struktur mikro ferit baja karbon rendah tanpa perlakuan, etsa Nital 2%



Gambar 4.6 Foto struktur mikro butir ferit baja karbon rendah setelah reheat 1200 °C selama 1 jam, etsa Nital 2%, *quench* air



Gambar 4.7 Foto struktur mikro butir ferit baja karbon rendah setelah reheat 1200 °C selama 1 jam, etsa Nital 2%, pendinginan udara.

### 4.3 PENGUJIAN KOROSI

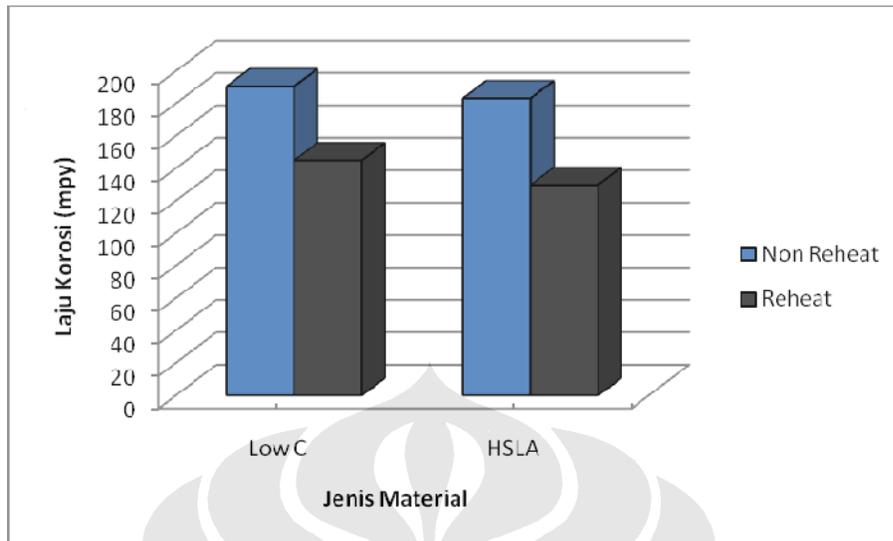
Hasil yang diperoleh dari proses sembur kabut garam berupa selisih pengurangan berat logam sebelum proses pemanasan dengan berat logam sesudah proses pemanasan. Perhitungan laju korosi menggunakan persamaan 2.2.

$$\text{mpy} = \frac{k.W}{D.A.T} \dots\dots\dots (2.2)$$

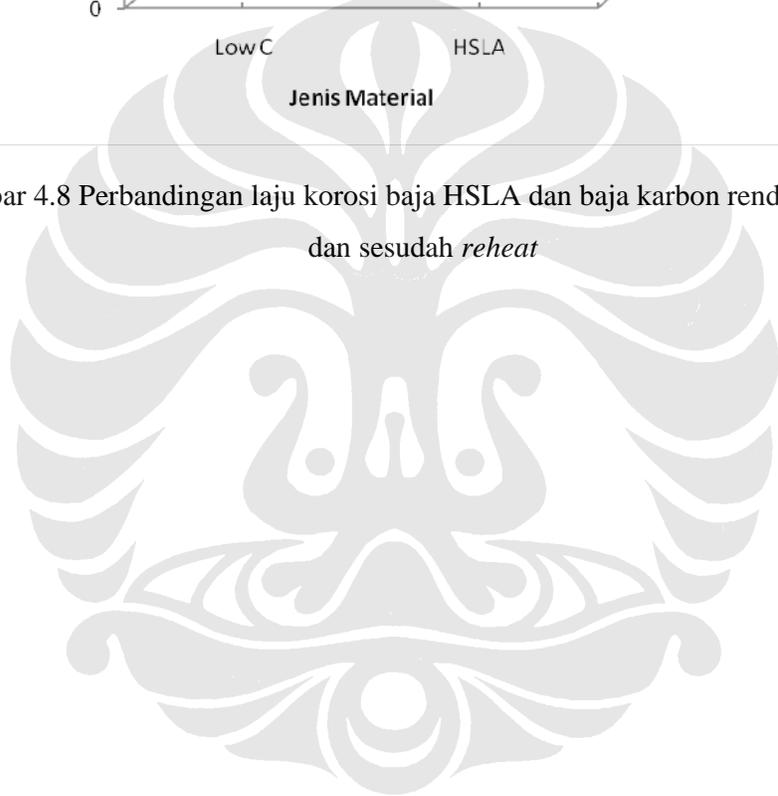
Hasil pengujian sembur kabut garam dapat dilihat pada tabel 4.2 dan gambar 4.8.

Tabel 4.2 Hasil pengujian sembur kabut garam

Material	Waktu (Jam)	Luas (cm <sup>2</sup> )	ΔW (g)	Laju Korosi (mpy)	Laju Korosi Rata-rata
Low C <i>non-reheat</i>	48	4	0.17	388.6371	190.5084
	48	4	0.04	91.4440	
	48	4	0.04	91.4440	
Low C <i>quench</i>	48	4	0.07	160.0270	144.7864
	48	4	0.06	137.1660	
	48	4	0.06	137.1660	
HSLA <i>non-reheat</i>	48	4	0.08	183.121	183.121
	48	4	0.1	228.9013	
	48	4	0.06	137.3408	
HSLA <i>quench</i>	48	4	0.07	160.2309	129.7107
	48	4	0.06	137.3408	
	48	4	0.04	91.5605	



Gambar 4.8 Perbandingan laju korosi baja HSLA dan baja karbon rendah sebelum dan sesudah *reheat*



## BAB V

### PEMBAHASAN

Besarnya ukuran butir ferit pada baja HSLA dipengaruhi oleh melarutnya presipitat Nb(CN) yang berfungsi sebagai pengunci pergerakan batas butir. Larutnya presipitat diawali dengan terjadinya pengkasaran butir pada temperatur pengkasaran butir. Temperatur pelarutan presipitat Nb(CN) dapat ditentukan dengan persamaan berikut ini<sup>[6]</sup>:

$$\text{Log [Nb][C + 12/14 N]} = 2,26 - 6770/T_s \quad (5.1)$$

Dengan memasukkan %berat dari komposisi yaitu Nb=0,029, C=0,087, N=0,01 maka didapatkan temperatur pelarutan presipitat Nb(CN) yaitu  $T_s = 1137 \text{ }^\circ\text{C}$ . Sedangkan untuk mengetahui temperatur pengkasaran butir ditentukan melalui persamaan berikut<sup>[6]</sup>:

$$T_c = 460 + 0,569(T_s - 273) \quad (5.2)$$

Dengan memasukkan nilai  $T_s$  hasil perhitungan 5.2, 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.

## **5.1 MORFOLOGI MIKROSTRUKTUR BAJA KARBON RENDAH DAN BAJA HSLA 0,029% Nb SETELAH PROSES PEMANASAN ULANG**

### **5.1.1 Morfologi Mikrostruktur Baja Karbon Rendah Sebelum dan Sesudah Dipanaskan**

#### **5.1.1.1 Ukuran butir**

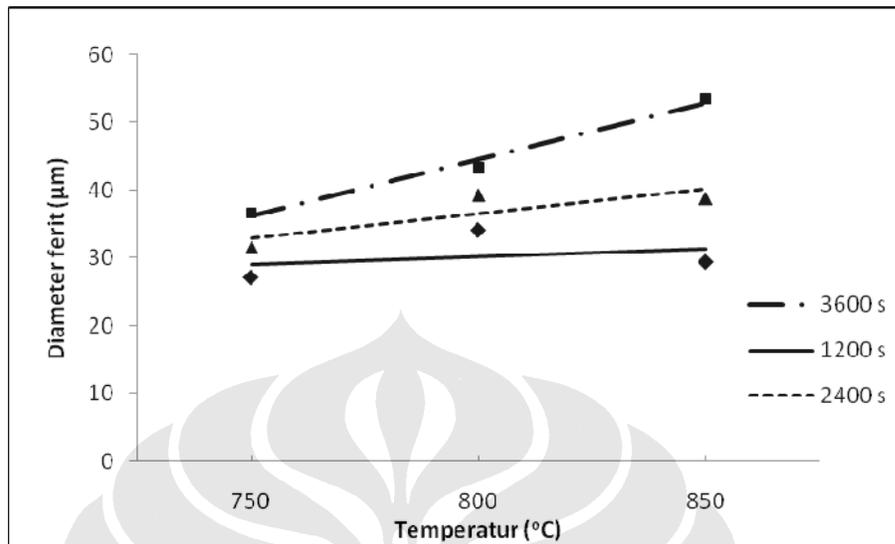
Berdasarkan data yang ada proses pemanasan menyebabkan ukuran butir baja karbon rendah menjadi lebih besar dari  $9.17 \pm 0.11 \mu\text{m}$  menjadi  $12.2 \pm 0.12 \mu\text{m}$  dengan menggunakan *quench* air, begitu juga dengan pendinginan udara ukuran diameter butir feritnya bertambah besar menjadi  $15.37 \pm 0.23 \mu\text{m}$ . Secara teoritis hal ini disebabkan karena dengan meningkatnya temperatur akan meningkatkan migrasi batas butir austenit sehingga butir ferit yang dihasilkan menjadi lebih besar<sup>[10]</sup>. Selain itu lamanya waktu penahanan (1 jam) juga berpengaruh terhadap difusi matrik austenit dari butir kecil ke butir yang besar<sup>[10]</sup>.

### **5.1.2 Pengaruh Unsur Niobium Terhadap Morfologi Mikrostruktur**

#### **5.1.2.1. Ukuran butir**

Ukuran butir ferit pada baja karbon rendah sebelum dilakukan pemanasan memiliki ukuran yang lebih kecil daripada baja HSLA 0,029% Nb. Dari gambar 2.3 menunjukkan bahwa penambahan 0,029 % Nb pada baja HSLA belum memberikan efek penghalusan butir baik sesudah maupun sebelum pemanasan.

Pada gambar 4.1 ditunjukkan bahwa butir ferit baja HSLA menjadi lebih besar setelah dilakukan pemanasan ulang. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Aris<sup>[6]</sup> dimana temperatur mempengaruhi ukuran butir seperti diperlihatkan pada gambar 5.1. Hal ini terjadi disebabkan oleh laju pertumbuhan butir yang besar karena migrasi batas butir makin mudah dengan meningkatnya temperatur.



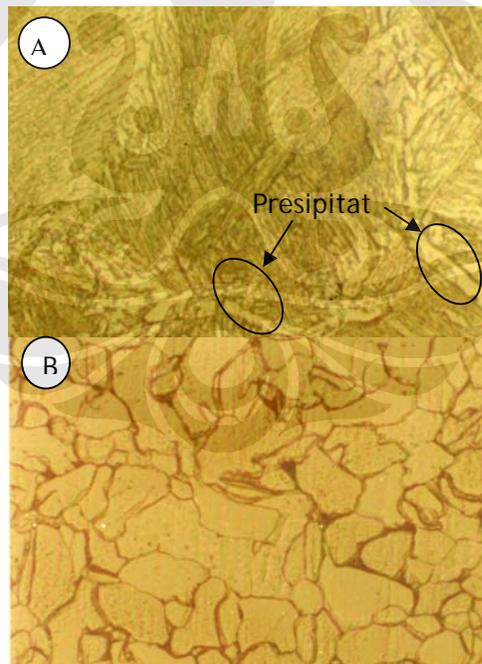
Gambar 5.1 Hubungan temperatur terhadap besar butir ferit<sup>[6]</sup>

Baja karbon rendah juga mengalami penambahan besar butir ferit setelah pemanasan ulang. Namun diameter butir ferit dari baja HSLA memiliki ukuran yang lebih besar apabila dibandingkan dengan baja karbon rendah. Perbedaan besar butir ini antara lain dipengaruhi oleh perbedaan komposisi kimia dari kedua benda uji dimana baja HSLA mengandung paduan *microalloy* (Nb, Ti, V) yang tidak terdapat pada baja karbon rendah. Paduan rendah yang dikandung baja HSLA berfungsi sebagai penghalus butir dan juga sebagai tempat pertumbuhan ferit (nukleasi ferit) dengan membentuk fasa kedua. Baja HSLA memiliki butir yang lebih halus pada temperatur di bawah 1200 °C seperti ditunjukkan pada gambar 2.2. Namun pada percobaan ini baja HSLA dipanaskan diatas temperatur pelarutan presipitat (1200 °C) sehingga presipitat Nb(CN) tidak berfungsi lagi sebagai pengunci batas butir austenit prior karena sudah melarut seluruhnya. Melarutnya presipitat Nb(CN) pada temperatur pelarutan presipitat (1137 °C) menyebabkan pertumbuhan butir austenit prior menjadi abnormal serta berkurangnya tempat ferit untuk bernukleasi sehingga butir ferit HSLA yang dihasilkan menjadi lebih besar.

Ukuran butir ferit dari baja HSLA yang lebih besar disebabkan pula oleh kandungan karbon yang dimiliki baja HSLA (0,087 wt% C) lebih rendah daripada baja karbon rendah (0,12 wt% C). Semakin meningkatnya kadar C dan Mn dalam baja, akan dapat menghaluskan butir<sup>[13]</sup>. Hal ini dikarenakan semakin banyaknya kadar karbon maka akan semakin banyaknya tempat ferit untuk bernukleasi.

#### 5.1.2.2 Pembentukan presipitat

Setelah dilakukan pemanasan pada gambar 4.3 menunjukkan adanya presipitat yang terbentuk pada batas butir austenit. Adanya presipitat antar fasa yang mengitari dan membingkai daerah antar muka dari batas butir austenit pada pendinginan cepat, disebabkan karena baja HSLA mengandung niobium sebagai pembentuk karbida yang kuat. Seperti terlihat pada gambar bahwa karbida bernukleasi dan tumbuh pada antar muka antara austenit dan ferit, menghasilkan presipitat antar fasa. Pertumbuhan koloni presipitat antar fasa ini berasal dari perpanjangan *ledge* dengan arah sejajar terhadap antar muka austenit-ferit<sup>[10]</sup>.



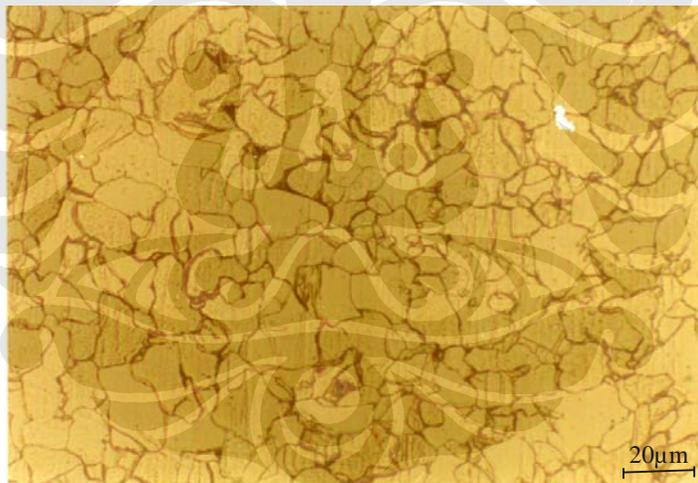
Gambar 5.2 Pengaruh penambahan unsur niobium pada pembentukan presipitat.

Gambar A menunjukkan mikrostruktur baja HSLA dan gambar B menunjukkan mikrostruktur baja karbon rendah.

## 5.2 PENGARUH PEMANASAN DENGAN QUENCHING TERHADAP MORFOLOGI MIKROSTRUKTUR

### 5.2.1 Baja Karbon Rendah

Pada baja karbon rendah, mikrostruktur yang terbentuk setelah proses *reheat* didominasi oleh butir ferit dengan ukuran butir yang terlihat tidak seragam. Dari gambar 5.3 terlihat bahwa butir ferit yang terbentuk memiliki diameter butir yang besar namun cenderung tidak seragam ukurannya. Tidak terbentuknya martensit pada baja karbon rendah (0,12 wt% C) diakibatkan kurangnya kadar karbon yang dimiliki baja karbon rendah untuk dapat membentuk martensit. Kadar karbon yang semakin rendah akan menggeser kurva C pada diagram TTT ke arah sebelah kiri yang mengakibatkan berkurangnya kemungkinan untuk terbentuknya martensit.



Gambar 5.3 Foto struktur mikro butir ferit baja karbon rendah setelah reheat, etsa Nital 2%, quench air

### 5.2.2 Baja HSLA

Setelah proses pemanasan ulang, mikrostruktur baja HSLA 0,029% Nb yang semula terdiri dari ferit dan pearlit dengan ukuran butir yang relatif halus

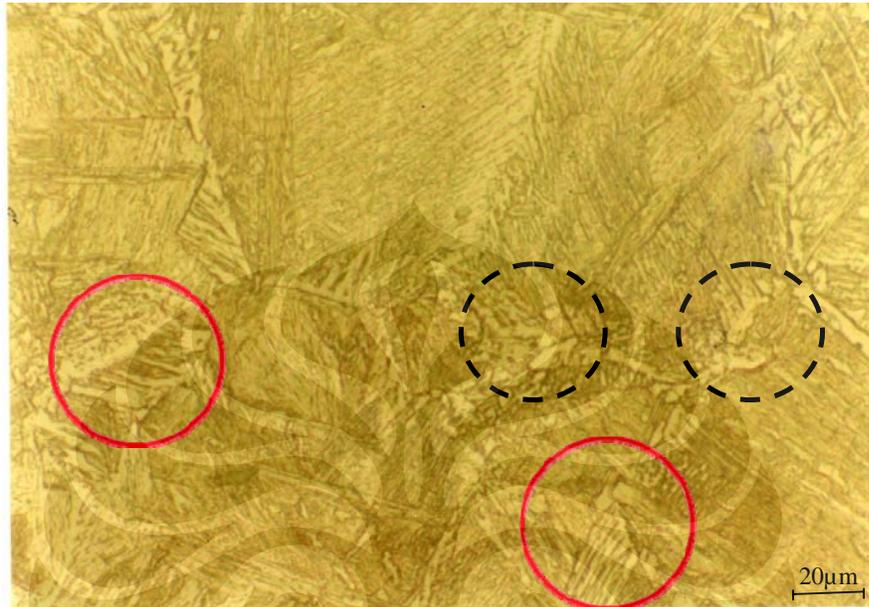
(gambar 4.2) mengalami transformasi menjadi struktur *lath* martensit yang disertai dengan adanya struktur widmanstatten ferit (gambar 4.3).

Terbentuknya martensit pada mikrostruktur baja HSLA disebabkan pendinginan yang cepat yang menyebabkan atom-atom karbon tidak sempat berdifusi keluar dan terperangkap dalam struktur oktahedral dari BCC sehingga membentuk kristal baru dengan struktur BCT<sup>[9]</sup>. Berdasarkan kadar karbon yang dikandung baja HSLA 0,029% Nb, sekitar 0,087 wt% C, mikrostruktur yang terbentuk ialah *lath* martensit ( terbentuk pada baja dengan kadar < 0,6% C). Karakteristik utama dari struktur *lath* martensit ini ialah adanya kecendrungan dari banyaknya *lath* yang berbaris secara paralel satu sama lain di daerah butir austenit yang luas. Dikarenakan rendahnya kadar karbon yang terdapat pada baja HSLA terbentuknya martensit pada HSLA dipengaruhi oleh unsur-unsur paduan yang terkandung. Kandungan paduan rendah menyebabkan diagram TTT baja bergeser ke arah kanan sehingga kemungkinan terbentuknya martensit bertambah besar<sup>[9]</sup>.

Struktur widmanstatten yang terjadi memiliki bentuk butir yang panjang seperti pelat dan berwarna putih yang tumbuh dari perpanjangan batas butir austenit yang disertai pula dengan adanya presipitat antar fasa. Widmanstatten (gambar 5.4) terbentuk akibat pendinginan yang cepat dan di bawah temperatur  $A_3$ . Sehingga adanya gaya penggerak yang besar untuk mengubah austenit menjadi fasa proeutektoid namun difusi karbon menjadi lebih terbatas yang menyebabkan karbon berdifusi di sekitar ujung-ujung sisi pertumbuhan pelat<sup>[10]</sup>. Meningkatnya gaya penggerak menyebabkan perubahan terhadap mekanisme yang membantu pasangan kristalografi yang berdekatan antara austenit dan fasa eutektoid dan beberapa pergerakan atom besi menjadi susunan produk kristal. Dengan tingkat pendinginan yang tinggi menyebabkan difusi sulit terjadi sehingga perpindahan batas butir yang tidak teratur mungkin dibatasi, dan gaya penggerak yang besar dapat menyebabkan ferit dengan batas butir yang berdekatan pada butir lain dapat berpropagasi, menghasilkan pelat widmanstatten ferit.

Adanya presipitat antar fasa yang mengitari dan membingkai daerah antar muka dari batas butir austenit disebabkan karena baja HSLA mengandung pembentuk karbida yang kuat seperti vanadium, niobium, titanium dan molybdenum. Seperti terlihat bahwa karbida bernukleasi dan tumbuh pada antar

muka antara austenit dan ferit, menghasilkan presipitat antar fasa. Pertumbuhan koloni presipitat antar fasa ini berasal dari perpanjangan *ledge* dengan arah sejajar terhadap antar muka austenit-ferit<sup>[10]</sup>.



Gambar 5.4 Struktur widmanstatten ferit (lingkaran solid) dan presipitat antar fasa pada baja HSLA 0,029% Nb (lingkaran putus-putus).

### 5.3 KETAHANAN KOROSI BAJA HSLA 0,029% Nb DAN BAJA KARBON RENDAH SETELAH PENGUJIAN SEMBUR KABUT GARAM

Ketahanan korosi suatu material ditentukan oleh besar laju korosinya. Laju korosi dapat dihitung dengan metode kehilangan berat, Dalam penelitian ini perhitungan laju korosi menggunakan persamaan 2.2. Laju korosi juga ditentukan oleh faktor-faktor metalurgis suatu material seperti proses pemanasan dan penambahan paduan.

#### 5.3.1 Pengaruh Pemanasan Terhadap Laju Korosi

Hasil pengujian sembur kabut garam dapat dilihat pada tabel 4.2 dan gambar 4.9. Data penelitian yang didapat berupa data kehilangan berat material

yang merupakan selisih dari berat sampel sebelum pemanasan ulang dengan berat sampel setelah dipanaskan ulang.

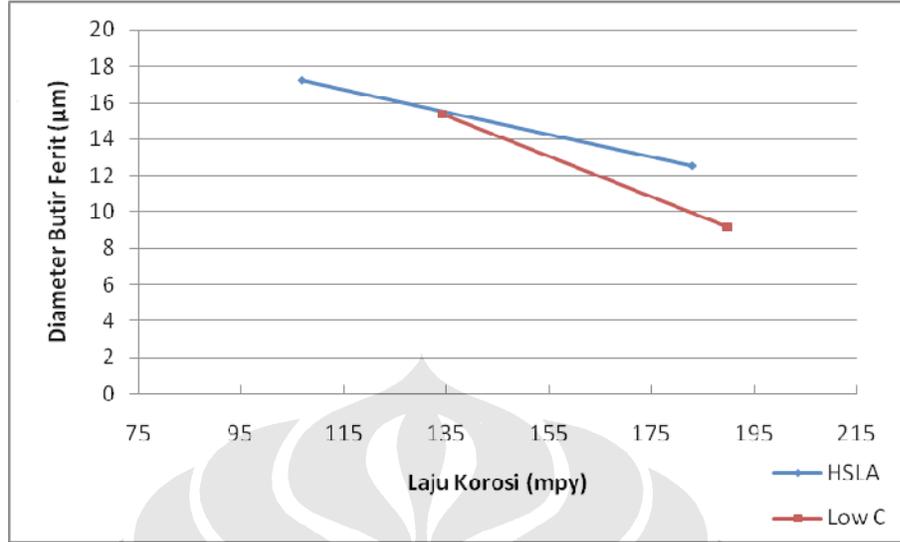
Dari gambar 4.9 diperlihatkan bahwa laju korosi baja sebelum dilakukan pemanasan lebih besar dibandingkan setelah dilakukan pemanasan. Hal ini berlaku untuk baja karbon rendah maupun baja HSLA. Untuk baja HSLA sebelum dilakukan proses pemanasan ulang memiliki laju korosi sebesar 183.121 mpy namun setelah dilakukan proses pemanasan ulang terjadi penurunan laju korosi menjadi 129.71 mpy. Sedangkan untuk baja karbon rendah, laju korosinya menurun dari 190.50 mpy menjadi 144.78 mpy setelah dilakukan pemanasan ulang. Hasil ini menandakan bahwa laju korosi dari baja karbon rendah maupun baja HSLA mengalami penurunan setelah dilakukan proses pemanasan ulang.

Hal ini memiliki kecenderungan yang sama dengan penelitian yang dilakukan oleh Dwi Sapdiyanto<sup>[11]</sup> dimana ketahanan korosi dari baja karbon rendah akan meningkat setelah dilakukan proses perlakuan panas.

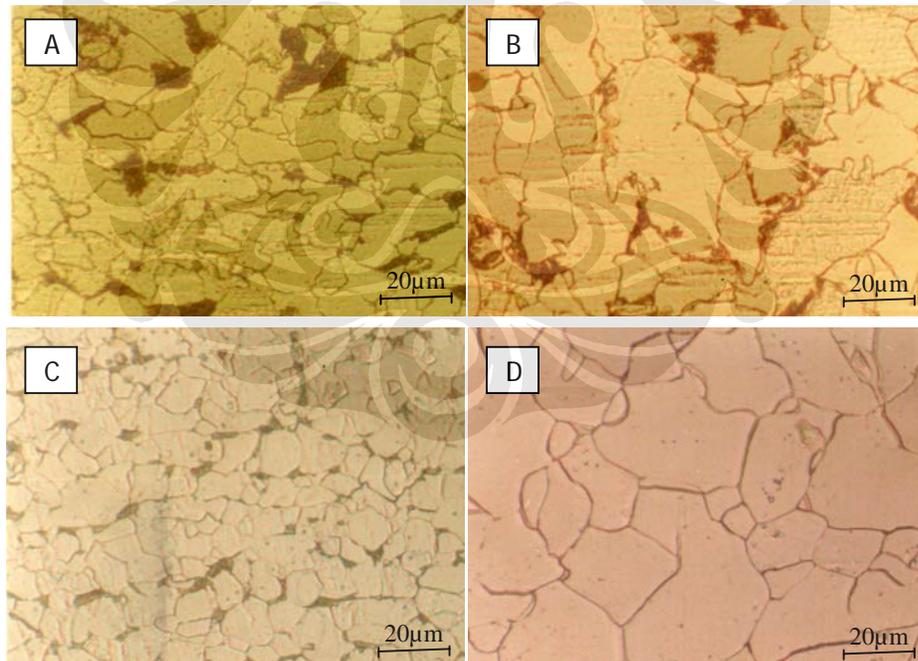
Menurunnya tingkat laju korosi ini disebabkan oleh beberapa hal antara lain dari aspek metalurgis seperti ukuran butir ferit dari baja HSLA maupun baja karbon rendah yang menjadi lebih besar setelah dipanaskan ulang dibandingkan dengan sebelum perlakuan. Dengan ukuran butir yang lebih besar maka batas butir yang dimiliki akan semakin berkurang. Batas butir memiliki tingkat energi yang lebih besar daripada butir sehingga daerah ini sangat rentan terjadi peristiwa korosi. Dengan ukuran butir yang lebih besar mengakibatkan batas butir menjadi berkurang sehingga laju korosi pun menjadi turun<sup>[11]</sup>. Dengan data perbandingan ukuran diameter butir ferit dari percobaan Nandyo<sup>[21]</sup> pada tabel 5.1 dapat dibuat hubungan antara besar ukuran butir ferit terhadap laju korosi yang dimiliki seperti diperlihatkan pada gambar 5.5.

Tabel 5.1 Ukuran diameter butir ferit dan laju korosi baja HSLA dan baja karbon rendah setelah pemanasan dengan pendinginan udara<sup>[21]</sup>.

Material	d Ferit ( $\mu\text{m}$ )	Laju Korosi (mpy)
Low C air cooling	$15.37 \pm 0.23 \mu\text{m}$	134.12
HSLA air cooling	$17.2 \pm 0.9$	106.82



Gambar 5.5 Hubungan diameter butir ferit terhadap laju korosi pada baja HSLA 0,029% Nb dan baja karbon rendah

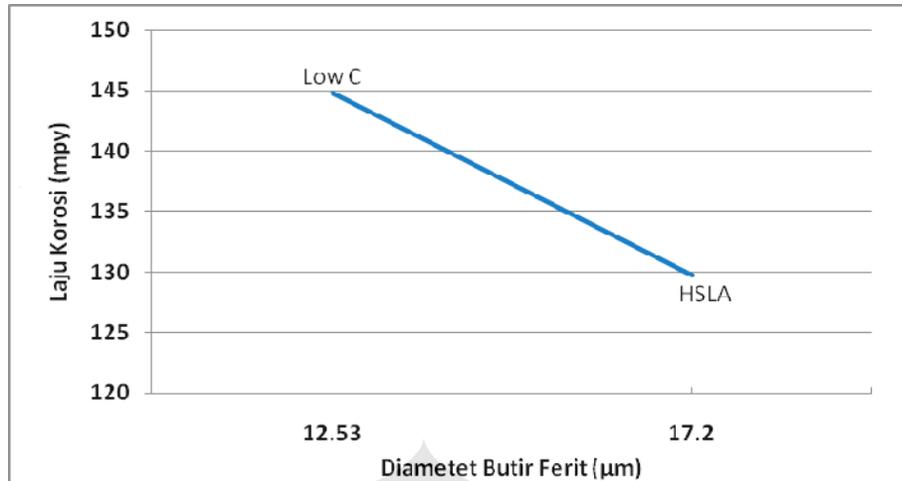


Gambar 5.6 Perbandingan besar butir baja HSLA dan baja karbon rendah setelah dan sebelum pemanasan. (a) HSLA, (b) HSLA pendinginan udara, (c) baja karbon rendah, (d) baja karbon rendah pendinginan udara.

Dari grafik pada gambar 5.5 terlihat adanya perbedaan perubahan tingkat laju korosi pada baja HSLA dan baja karbon rendah. Berdasarkan perhitungan kemiringan antara garis baja HSLA dan baja karbon rendah (pada lampiran), didapatkan bahwa baja HSLA memiliki kemiringan yang lebih landai yaitu sebesar 0,06. dibandingkan baja karbon rendah sebesar 0,11. Hal ini menunjukkan bahwa baja HSLA mengalami penurunan laju korosi yang lebih drastis daripada baja karbon rendah. Penurunan laju korosi yang drastis ini dikarenakan adanya unsur paduan pada baja HSLA sehingga mempengaruhi ketahanan korosinya.

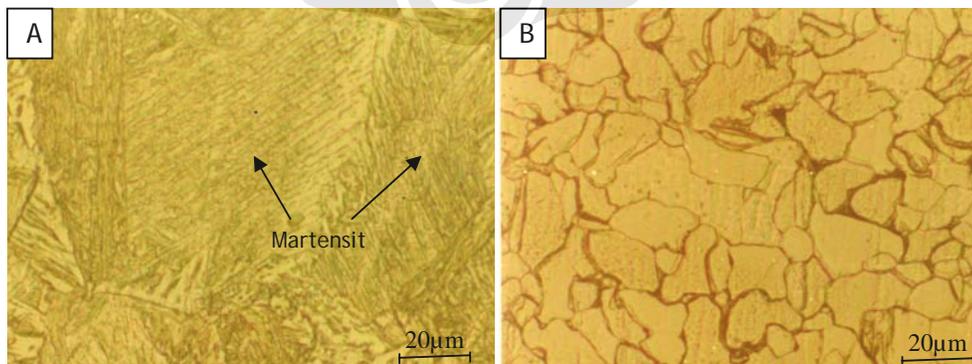
### **5.3.2 Pengaruh Penambahan Niobium (*microalloyed*) Terhadap Laju Korosi**

Penambahan unsur niobium pada baja HSLA memiliki peranan sebagai pengunci batas butir yang dapat menghaluskan butir ferit yang dihasilkan. Namun kadar niobium sekitar 0,029% pada baja HSLA belum mempengaruhi hal tersebut (gambar 2.3). Sehingga dengan tidak adanya efek penguncian batas butir oleh Nb menyebabkan HSLA memiliki butir yang besar. Pada gambar 4.9 diperlihatkan bahwa baja HSLA memiliki tingkat laju korosi yang lebih rendah (129.71 mpy) dibandingkan dengan baja karbon rendah (144.78 mpy) setelah dilakukan proses pemanasan. Hal ini karena pada baja HSLA terbentuk fasa tunggal martensit yang mengakibatkan ketahanan korosinya lebih baik dibandingkan baja karbon rendah yang memiliki mikrostruktur ferit dan perlit. Terbentuknya martensit pada HSLA selain dikarenakan pendinginan cepat juga dipengaruhi oleh unsur-unsur paduan rendah yang dikandungnya.



Gambar 5.7 Pengaruh diameter butir ferit terhadap laju korosi pada baja karbon rendah dibandingkan dengan baja HSLA

Selain itu juga proses pemanasan ulang disertai dengan proses celup air telah mengakibatkan terbentuknya fasa tunggal yaitu martensit pada baja HSLA (gambar 5.8a). Sedangkan pada baja karbon rendah terbentuk fasa ferit dengan ukuran yang tidak seragam. Fasa tunggal memiliki ketahanan korosi yang lebih baik dibandingkan dengan multi fasa dikarenakan pada multi fasa akan terbentuk fasa yang bersifat anodik dan katodik sehingga dapat memicu korosi galvanik<sup>[12]</sup>. Bentuk butir ferit yang tidak seragam juga mengakibatkan terbentuknya daerah katodik dan anodik dengan butir kecil berperan sebagai anodik dan terkorosi terlebih dahulu. Selain itu adanya komposisi kimia yang tidak homogen yang diakibatkan terjadinya segregasi unsur-unsur paduan pada waktu pembekuan dapat menimbulkan bagian butir yang bersifat lebih katodik atau inert<sup>[12]</sup>.



Gambar 5.8 Mikrostruktur baja setelah mengalami pemanasan dengan pencelupan air. (a) baja HSLA, (b) baja karbon rendah