

PENGARUH VARIASI TEMPERATUR NORMALIZING TERHADAP PERUBAHAN BUTIR STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MEKANIK PADA MATERIAL BAJA ST 42 ELEKTRODA E7018

Febrian Duta Erlangga¹⁾, Yoga Pratama²⁾, Ichlas Wahid³⁾
Teknik Mesin Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya¹⁾,
Teknik Mesin Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya²⁾,
Teknik Mesin Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya³⁾

febrian4385@gmail.com¹⁾, yougspratama@gmail.com²⁾,
ichlaswahid@untag-sby.ac.id³⁾

Abstrak— Pada penelitian ini untuk mengetahui perubahan butir struktur mikro dan sifat mekanik dari material baja ST 42 dimensi 200 x 100 mm x 10 mm dengan proses pengelasan SMAW (Shielded Metal Arc Welding). Penelitian ini menggunakan variasi temperatur normalizing 760°C, 785°C, 810°C dan elektroda filler E 7018 berdiameter 3,2 mm. Hasil penelitian diperoleh yaitu pengaruh proses normalizing mengalami penurunan terhadap nilai batas butir struktur mikro pada material baja karbon ST 42 dibandingkan material sebelum mengalami proses normalizing. pada daerah base metal material tanpa perlakuan normalizing mempunyai nilai batas butir sebesar 0,0067 mm dan pada material sesudah mengalami proses normalizing mempunyai nilai batas butir sebesar 0,0133 mm. Butir yang membesar mengakibatkan menurunnya nilai kekerasan pada material tersebut. Hasil pengujian kekerasan rockwell didapatkan nilai kekerasan pada material baja ST 42 tanpa perlakuan panas memiliki nilai kekerasan lebih tinggi pada daerah Base Metal dibandingkan material yang telah melalui proses Normalizing pada material tanpa perlakuan memiliki nilai kekerasan rata-rata sebesar 75,22 HRB dan 75,33 HRB. Pada pengujian tarik pada spesimen dengan pengelasan elektroda 2,6 di dapatkan nilai tegangan paling tinggi pada perlakuan normalizing suhu 810°C sebesar 41,40 N/mm² dengan regangan sebesar 13,75 % dan pada pengelasan elektroda 3,2 di dapatkan nilai tegangan dan regangan paling besar pada perlakuan normalizing suhu 760°C sebesar 50 N/mm² dengan nilai regangan sebesar 20 %.

Kata-kata kunci: Normalizing, Las SMAW, sifat mekanik, baja ST 42, dan struktur mikro

Abstract— This study is to determine changes in grain microstructure and mechanical properties of ST 42 steel material with dimensions of 200 x 100 mm x 10 mm by SMAW (Shielded Metal Arc Welding) welding process. This study used normalizing temperature variations of 760°C, 785°C, 810°C, and E 7018 filler electrodes with a diameter of 3.2 mm. The results of the study were obtained namely, the effect of the normalizing process decreased on the grain boundary value of the microstructure in ST 42 carbon steel material compared to the material before undergoing the normalizing process. in the base metal area the material without normalizing treatment has a grain boundary value of 0.0067 mm and in the material, after undergoing the normalizing process it has a grain boundary value of 0.0133 mm. Enlarged grains result

in a decrease in the hardness value of the material. The results of the Rockwell hardness test showed that the hardness value of the ST 42 steel material without heat treatment had a higher hardness value in the Base Metal area than the material that had gone through the Normalizing process in that the material without treatment had an average hardness value of 75.22 HRB and 75.33 HRB. In the tensile test on the specimen by welding the 2.6 electrodes, the highest stress value was obtained in the normalizing treatment at 810°C of 41.40 N/mm² with a strain of 13.75% and the 3.2 electrodes welding the stress value and the greatest strain in the normalizing treatment at 760°C is 50 N/mm² with a strain value of 20%.

Keywords: Normalizing, SMAW welding, mechanical properties, ST 42 steel, and micro structure

I. PENDAHULUAN

Dalam dunia industri tepatnya pada bidang konstruksi banyak yang menggunakan material baja karbon rendah. Hal tersebut diakibatkan pada material baja paduan karbon rendah mempunyai nilai mekanik yaitu sifat kekerasan dan sifat keuletan kurang pada kebutuhan. Material ST-42 ini tergolong dalam material yang mempunyai kandungan karbon paduan rendah, dimana material ini mempunyai kandungan kadar karbon yaitu tidak lebih dari 0,30 %. ST-42 ini memiliki kekuatan tarik sebesar ≤ 42 kg/mm².

Untuk memperoleh material bahan konstruksi yang keras dan sesuai pada permukaan (*Base Metal*) dan keuletan pada bagian inti material maka dilakukanlah proses *normalizing*. *Normalizing* mempunyai beberapa kegunaan yaitu untuk mengurangi tegangan sisa, meningkatkan keuletan, menurunkan ke tidak homogenan pada material baja ST 42 dengan variasi suhu temperatur *normalizing* 760°C, 785°C dan 810 °C dan dengan waktu penahanan pemanasan 15 menit. *Normalizing* yang didinginkan secara perlahan-lahan menggunakan media udara terbuka yang bertujuan untuk menghasilkan berupa *perlit* dan *ferrite* jauh lebih mulus.

Pada dunia industri dibidang konstruksi proses pengelasan adalah salah satu pekerjaan yang paling sering digunakan. Pengelasan sering digunakan pada proses penyambungan material logam, maupun maintenance pada alat-alat yang terbuat dari logam maupun stainless steel, ruang lingkup

penggunaan teknik proses pengelasan dalam dunia konstruksi sangatlah luas seperti pada ruanglingkup perkapalan, jembatan, rangka baja, saluran pipa dan lain sebagainya.

Metode pengelasan yang lebu sering di pergunakan pada bidang konstruksi maupun industri adalah pengelasan logam dengan memakai metode pengelasan SMAW (Shiled Metal Arc Welding) atau bisa disebut juga pengelasan busur listrik yang dimana proses pengelasannya memanfaatkan panas untuk melelehkan material logam pengisi dengan variasi elektroda E7018 Ø2,6 mm dan Ø3,2 mm sebagai bahan pengisi , dikarenakan pengelasan metode SMAW lebih efisien dan lebih mudah digunakan dengan berbagai macam sikap/posisi pengelasannya.

Pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui nilai sifat mekanik lebih tepatnya pada nilai kekerasan material ST-42 di daerah base metal (permukaan logam), daerah weld metal (permukaan las) dan daerah yang terpengaruh proses pengelasan (HAZ - Heat Affected Zone) serta menganalisa struktur mikro.

II. PENELITIAN TERDAHULU

G. D. Y. U. A. T. H. Huda Fathu Rohman, [9] melakukan penelitian yang berjudul "Pengaruh Proses *Heat Treatment Annealing* Terhadap Struktur Mikro Dan Nilai Kekerasan Pada Sambungan Las *Thermite* Baja NP-42," yang bertujuan untuk menghilangkan nilai tegangan sisa pada material, meningkatkan sifat keuletan pada material, menghilangkan sifat ketidak homogenan pada stuktur dan memperbaiki sifat ketangguhan pada daerah las dan HAZ. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah struktur ferrite dan pearlit pada semua specimen, akan tetaoi memiliki perbedaan yang mencolok yaitu perbedaan ukuran besar butir pada masing-masing suhu temperatur *annealing*.

D. S. M. M. D. R. Maula Nafi, [10] melakukan penelitian dengan judul "Analisa Kekerasan Rockwell dan Metalografi Hasil PWHT pada Pengelasan SMAW Baja ST41 dengan Variasi Temperatur dan Waktu Tahan" yang memiliki tujuan untuk mengetahui hasil variasi suhu dan holding time PWHT pada butiran struktur mikro, mengetahui hasil dari variasi temperatur dan waktu tahan PWHT, hasil proses dari PWHT pada nilai kekerasan hasil proses pengelasan pada material ST-41. Dari hasil penelitian tersebut disimpulkan bahwa pada perlakuan PWHT menyebabkan penurunan nilai kekerasan pada material hasil proses pengelasan,

G. D. H. Y. U. Adityo Ristyanto, [11] melakukan penelitian dengan judul "Pengaruh Proses Normalizing Terhadap Nilai Kekerasan dan Struktur Mikro Pada Sambungan Las *Thermite* Simillar Baja UIC-54, ". Penelitian ini memiliki tujuan mengetahui area kritis yaitu *Heat Affected Zone (HAZ)* terhadap material baja UIC-54 yang telah melalui proses pengelasan *thermite* dengan perlakuan proses normalizing, Mengetahui hasil dari pengaruh hasil proses perlakuan normalizing terhadap mikro struktur dan hasil nilai kekerasan yang diperoleh. Dari hasil pengujian didapatkan adanya penyetaraan nilai kekerasan pada *base metal*, *HAZ (Heat Affected Zone)*, dan *weld metal* yang diakibatkan adanya pengaruh dari proses *normalizing*

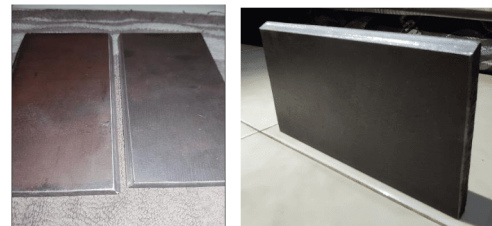
III. METODE

A. Persiapan Material



Gambar 1 Material ST 42

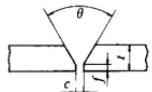
Pada penelitian ini menggunakan ST-42 (baja karbon paduan rendah) dengan dimensi 200 x 100 mm dengan tebal 10 mm. Sebelum dilakukannya proses pengelasan, material tersebut perlu dilakukannya persiapan dalam pengelasan. Proses pertama yang dilakukan adalah pemotongan terhadap material kemudian dilakukan pembuatan kampuh V groove dengan sudut rata 60°. Pembuatan sudut tiap spesimen di buat sudut 30° dan jarak pengelasan pada kampuh V ini 3 mm. Hal tersebut bertujuan untuk memudahkan proses pengerjaan pengelasan dan perencanaan dimensi material sesuai dengan kebutuhan dari spesimen yang akan dianalisa.



Gambar 2 Dimensi Material Sebelum di Las



BUKTI BAYAR TURNITIN FEBRIAN DUTA ERLANGGA 1421900056.

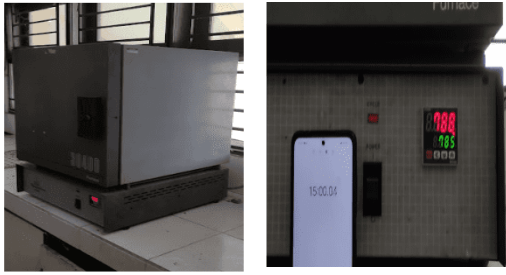
Alur bentuk V tunggal		4-25	≥ 1	$c \leq 3$ $f \leq 3$ $\theta = (60-110^\circ) \pm 5$	$c \leq 3$ $f \leq 3$ $\theta = (40-30) \pm 5$
-----------------------	--	------	-----	---	--

Gambar 3. V Groove 60°

(Sumber : Teknologi pengelasan logam, Harsono Wiryosumarto, Tohise Okumura-Cet.8-Jakarta : Pradnya Pramita, 2000)

B. Proses Perlakuan Normalizing

Pada penelitian ini proses perlakuan panas menggunakan proses *normalizing* variasi suhu 760°C, 785°C, 810°C serta penahanan waktu selama 15 menit dengan tujuan untuk mengetahui hasil dari pengaruh perlakuan *normalizing* terhadap butiran micro struktur dan pada sifat mekanik dengan sambungan las SMAW material baja ST 42.



Gambar 4 Tungku pemanas dan penahanan waktu

C. Proses Pengelasan SMAW

Pada tahap ini proses pengelasan akan dilakukan, dimana untuk pengerjaan pengelasan pada material tersebut menggunakan pengelasan SMAW. Adapun tahapan proses pengelasan secara umum, yaitu :

1. Pembuatan lasan pendek (*tack weld*) pada material yang bertujuan agar posisi material tidak bergeser. Pada penelitian ini menggunakan *butt joint*.



Gambar 5 Pembuatan Track Weld

2. Menghaluskan alur lasan menggunakan gerinda



Gambar 6 Alur Capping

3. Menyiapkan mesin las serta mengatur parameter arus dan voltase
4. Proses dimulai dengan melakukan pengelasan pada layer pertama. Setiap setelah proses pengelasan dilakukan pembersihan kerak menggunakan palu dan sikat baja. Kemudian dilanjutkan melakukan pengelasan pada layer 2 dan ketiga.

D. Pengujian Tarik (Tensile Test)

Definisi pengujian tarik (*tensile test*) merupakan metode untuk melakukan uji kekuatan dari suatu material dengan memberikan beban gaya yang searah (Askeland, 1985). Selain itu, uji tarik merupakan suatu metode pengujian yang dilakukan untuk mengetahui kekuatan yang terjadi pada suatu bahan/material pada gaya statis yang diberikan secara perlahan. Pengujian merusak ini dapat dilakukan dengan uji

mekanik yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan dari penyambungan hasil dari proses pengelasan dan kekuatan tarik dari suatu material, yang salah satunya dapat dilakukan dengan uji tarik yang sudah dikalibrasi.



Gambar 7. Pengujian tarik (*tensile test*)

Hasil nilai tegangan dan nilai elastisitas dari material yang telah dilakukan uji tarik dapat dilihat dari grafik uji tarik. Specimen di beri beban dengan adanya kenaikan beban sedikit demi sedikit hingga specimen tersebut mengalami kerusakan/patah, lalu sifat-sifat tegangan dan regangan dapat dilakukan perhitungan dengan menggunakan rumus senagai berikut:

$$\sigma_t = \frac{F}{A_0}$$

Keterangan :

σ_t = Tegangan (N/mm²)

F = Gaya (N)

A₀ = Luasan Awal (mm²)

Regangan :

$$\epsilon = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100\%$$

Dimana :

L₀ = Panjang awal dari batang uji (mm)

L = Panjang batang spesimen uji yang dibebani (mm)

$$SY_s = \frac{P_y}{A_0}$$

Keterangan :

Y_s = Besar Tegangan Luluh (kg/mm²)

P_y = Besar Beban di Titik Yield (kg)

A₀ = Luas Penampang Mula Benda Uji (mm²)

E. Pengujian Kekerasan Rockwell (Hardness Test)

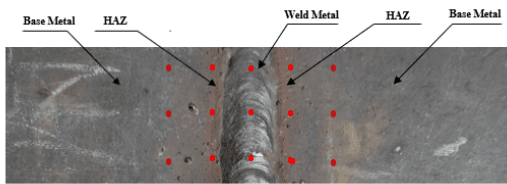
Pada penelitian ini menggunakan pengujian kekerasan dengan metode *rockwell*. Nilai kekerasan diperoleh dari hasil kedalaman dari proses indentasi pada specimen, akibat dari pemberian beban statik. Pada proses pengujian kekerasan dengan menggunakan metode *rockwell* dapat dipergunakan dua bentuk indentasi, yaitu indentasi dengan bentuk bola yang terbuat dari baja yang dikeraskan dengan berbagai ukuran diameter, dan berbentuk kerucut dari intan (diamond cone). Pada penelitian ini menggunakan pengujian kekerasan

rockwell menggunakan indentor bola baja (1/16 dan dengan beban seberat 100kg).



Gambar 8. Proses uji kekerasan dengan metode rockwell

Pengambilan data uji kekerasan ini sebanyak 9 titik yang di ambil pada daerah *Base Metal*, *HAZ* dan *Weld Metal*



Gambar 9. Titik pengambilan data pada uji kekerasan

F. Pengujian Metalography

Pada pengujian mikro mempunyai tujuan agar mengetahui hasil perubahan butir pada specimen uji dari proses pengelasan dan proses *normalizing*. Specimen dilakukan proses pengetsaan terlebih dahulu sehingga permukaan material yang halus serta terlihat bersih akan terlihat bentuk butiran dan besaran garis butirannya.



Gambar 10. Peralatan Uji Mikro

Pada pengambilan data struktur mikro yaitu pada tiap perlakuan hasil mikro struktur yang di ambil di area *Metal Base*, *HAZ* dan *Weld Metal*. Untuk menentukan hasil ukuran butir, penelitian ini menggunakan perhitungan rumus empiris sesuai dengan standart ASTM E-112 di bawah ini :

$$G = [-6,646 \log L_3] - 3,298$$

Keterangan :

$$L_3 = 1/P_L = \text{Panjang garis perpotongan}$$

$$P_L = P/(L_T/M)$$

Dimana :

P = Jumlah pertitik potongan batas butir dengan lingkaran

L_T = Panjang garis (keliling lingkaran)

M = Perbesaran yang digunakan

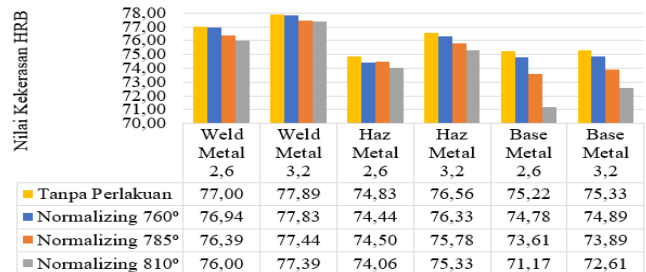
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A Hasil Dari Pengujian Kekerasan Rockwell

Material yang sudah melalui proses *normalizing* menggunakan berbagai variasi temperatur dan sudah melalui proses pengelasan dengan variasi elektroda maka dilakukannya pengujian kekerasan Rockwell untuk diamati nilai kekerasannya.

Tabel 8 Nilai Kekerasan Rata-rata dari pengelasan elektroda 2,6.Ø dan 3,2.Ø mm

Variasi	Titik Indentasi					
	Weld Metal Ø 2,6	Weld Metal Ø 3,2	HAZ Ø 2,6	HAZ Ø 3,2	Base Metal Ø 2,6	Base Metal Ø 3,2
Tanpa Perlakuan	77	77,89	74,83	76,56	75,22	75,33
Normalizing 760°C	76,94	77,83	74,44	76,33	74,78	74,89
Normalizing 785°C	76,39	77,44	74,5	75,78	73,61	73,89
Normalizing 810°C	76	77,39	74,06	75,33	71,17	72,61



Gambar 12. Diagram Nilai Kekerasan Rata-rata dari pengelasan elektroda 2,6.Ø dan 3,2.Ø mm

Berdasarkan tabel dan diagram rata-rata hasil pengujian kekerasan rockwel dari pengelasan dengan menggunakan elektroda Ø 2,6 dan Ø 3,2 diperoleh bahwa hasil data nilai kekerasan rata-rata paling besar didapat pada daerah base metal pada material tanpa perlakuan *normalizing* sedangkan daerah *HAZ* dan nilai kekerasan pada area *Weld Metal* paling besar diperoleh pada pengelasan dengan elektroda Ø 3,2 hal tersebut terjadi disebabkan perbedaan penggunaan ampere saat proses pengelasan dan perbedaan diameter elektroda.

B Hasil Dari Pengujian Tarik (Tensile Test)

Pada penelitian ini menggunakan 25 specimen berdasarkan pada variasi temperatur *normalizing* , elektroda dan *raw material* yaitu 3 spesimen untuk masing-masing suhu 760°, 785°, 810°C dan 1 spesimen *raw material* dengan

elektroda Ø 2,6 dan Ø 3,2. Untuk spesimen raw material didapatkan hasil dari pengujian tarik sebagai berikut :

Tabel 1 Data Uji Tarik Spesimen Raw Material

No	Spesimen Raw Material	Hasil Uji
1	Panjang Mula L_0 (mm)	80
2	Panjang Akhir L_f (mm)	105
3	Pertambahan Panjang ΔL (mm)	25
4	Panjang Spesimen Mula (mm)	180
5	Beban Luluh (Yield Point) (kg)	4940
6	Beban Maksimum (Ultimate Strength) (kg)	5775
7	Beban Putus (Fracture) (kg)	4636
8	ΔL (yield) (mm)	4,54
9	ΔL (max) (mm)	20,54
10	ΔL (putus) (mm)	25

Luas Penampang (A_0)

$$A_0 = t \times i = 10 \text{ mm} \times 12,5 \text{ mm} = 125 \text{ mm}^2$$

Tegangan dan Regangan Teknik

$$L_{yield} = L_0 + \Delta L_y = 80 + 4,54 = 84,54 \text{ mm}$$

$$L_{max} = L_0 + \Delta L_u = 80 + 20,54 = 100,54 \text{ mm}$$

$$L_{putus} = L_0 + \Delta L_{putus} = 80 + 25 = 105 \text{ mm}$$

Tegangan

$$\sigma_{(y)} = \frac{P_y}{A_0} = \frac{4940 \text{ kg}}{125 \text{ mm}^2} = 39,52 \text{ kg/mm}^2$$

$$\sigma_{(u)} = \frac{P_{(max)}}{A_0} = \frac{5775 \text{ kg}}{125 \text{ mm}^2} = 46,2 \text{ kg/mm}^2$$

$$\sigma_{(pts)} = \frac{P_{(pts)}}{A_0} = \frac{4636 \text{ kg}}{125 \text{ mm}^2} = 37,09 \text{ kg/mm}^2$$

Regangan

$$\epsilon_{yield} = \frac{L_y - L_0}{L_0} \times 100 \% = \frac{84,54 \text{ mm} - 80 \text{ mm}}{80 \text{ mm}} \times 100 \% = 5,68 \%$$

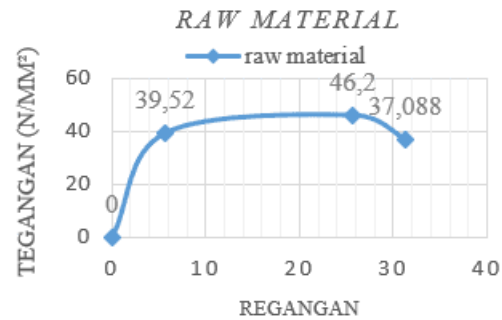
$$\epsilon_{max} = \frac{L_{max} - L_0}{L_0} \times 100 \% = \frac{100,54 \text{ mm} - 80 \text{ mm}}{80 \text{ mm}} \times 100 \% = 25,68 \%$$

$$\epsilon_{putus} = \frac{L_{pts} - L_0}{L_0} \times 100 \% = \frac{105 \text{ mm} - 80 \text{ mm}}{80 \text{ mm}} \times 100 \% = 31,25 \%$$

Tabel 2 Data Hasil perhitungan tegangan dan regangan pada uji tarik spesimen Raw Material

Perlakuan	Spesimen	Tegangan luluh kg/mm^2	Tegangan Maksimal kg/mm^2	Tegangan Putus kg/mm^2	ϵ_{yield} (%)	ϵ_{max} (%)	ϵ_{putus} (%)
Raw Material	1	39,52	46,2	37,09	5,68	25,68	31,25

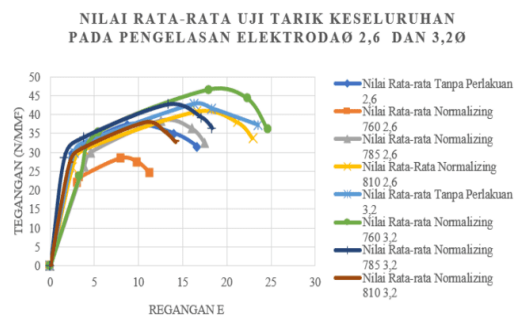
Gambar 13 Grafik Hasil pengujian tarik Raw Material



Dari hasil perhitungan diatas lalu dibuatlah grafik tegangan (N/mm²) dan regangan untuk mengetahui bahwa hasil perhitungan uji tarik pada raw material baja ST 42 mempunyai tegangan maksimum sebesar 46 kg/mm² dan regangan teknik maksimum sebesar 25,68 %.

Variasi Perlakuan	Keterangan	Tegangan (kg/mm ²)	Regangan (%)
Non-Normalizing Elektroda Ø 2,6	Luluh (Yield)	29,66	2,5
	Maksimum	37,33	8,75
	Putus	31,53	14
		22	3,06
Normalizing suhu 760°C elektroda Ø 2,6	Luluh (Yield)	23,37	3,33
	Maksimum	28,43	7,92
	Putus	24,65	11,25
		26,53	3,83
Normalizing suhu 785°C elektroda Ø 2,6	Luluh (Yield)	30,02	4,58
	Maksimum	38,4	12,5
	Putus	36,33	16
		32,55	17,5
Normalizing suhu 810°C elektroda Ø 2,6	Luluh (Yield)	30,64	3,75
	Maksimum	40,8	16,67
	Putus	38	21,17
		33,74	22,92
Non-Normalizing Elektroda Ø 3,2	Luluh (Yield)	30	2,6
	Maksimum	32,99	4,17
	Putus	42,87	16,25
		41,67	18,33
Normalizing suhu 760°C elektroda Ø 3,2	Luluh (Yield)	37,31	23,54
	Maksimum	23,66	3,3
	Putus	35,32	5,42
		46,67	17,92
Normalizing suhu 785°C elektroda Ø 3,2	Luluh (Yield)	44	22,53
	Maksimum	36,24	24,58
	Putus	28,66	1,6
		33,93	3,75
Normalizing suhu 810°C elektroda Ø 3,2	Luluh (Yield)	42,67	13,33
	Maksimum	39,33	17,07
	Putus	39,33	17,07
		39,33	17,07

Gambar 14. Tabel hasil pengujian tarik pada tiap perlakuan dan pengelasan elektroda Ø.2,6 dan Ø.3,2 mm



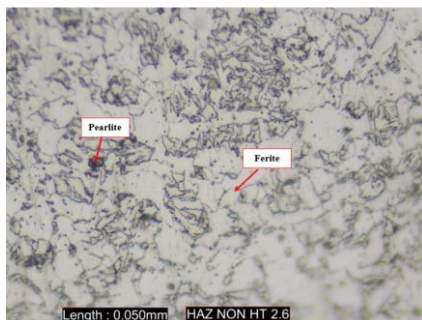
Gambar 15. Hasil grafik nilai rata-rata pengujian tarik pada tiap perlakuan dan pengelasan elektroda Ø.2,6 dan Ø.3,2 mm

Pada gambar grafik di atas adalah semua hasil tabel perhitungan uji tarik pada material baja karbon ST-42 tidak dilakukan perlakuan proses *normalizing* dan diperlakukan *normalizing* temperatur suhu 760°C, 785°C, 810°C dengan pengelasan elektroda Ø 2,6 dan Ø 3,2 lalu hasil perhitungan tersebut di rata-rata dari variasi suhu perlakuan *Normalizing* dan variasi elektroda spesimen maka dapat diketahui nilai kekuatan tarik terbesar pada spesimen baja ST-42 perlakuan *Normalizing* suhu 760°C dengan pengelasan elektroda Ø 3,2 (garis line hijau) mempunyai kekuatan tarik sebesar 46,67 (N/mm²) dan mempunyai nilai regangan sebesar 17,92 % dan nilai tegangan paling rendah didapat pada perlakuan *normalizing* suhu 760°C dengan pengelasan elektroda 2,6Ø sebesar 28,43 (N/mm²) dan mempunyai nilai regangan sebesar 7,92 %.

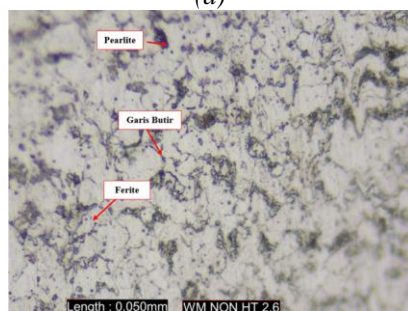
C Hasil Mikro

Tujuan dari uji metalografi ini untuk mengetahui hasil perubahan struktural butir-butiran mikro pada material ST-42 sesudah dan sebelum dilakukan proses *normalizing* pada area weld metal, HAZ, base metal. Pada pengambilan sampel dilakukan pada 3 daerah yaitu weld, HAZ, Base. Pada pengujian metalografi ini dalam pengambilan sampel foto mikro menggunakan perbesaran mikroskop 1000x, foto sampel struktur mikro yang diperoleh pada material ST-42 yang sebelum dan sesudah mengalami proses perlakuan *normalizing* didapatkan hasil sebagai berikut.

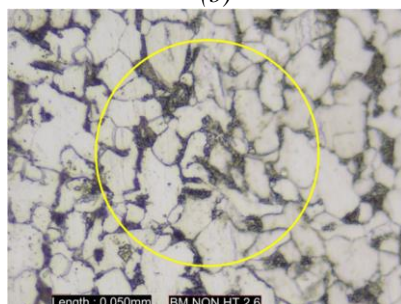
Foto sampel struktur mikro tanpa perlakuan



(a)



(b)



Length : 0.050mm BM NON HT 2.6

(c)

Gambar 16. Hasil foto sampel struktur mikro pada baja ST-42 tanpa perlakuan dengan pengelasan elektroda 2,6 (a); struktur mikro daerah HAZ, (b); struktur mikro pada daerah Weld, (c); struktur mikro pada daerah base (Etsa Nital 2%, Pembesaran 1000x)

Analisa dari foto struktur mikro di atas di dapatkan data :

$$P = 48 \text{ titik}$$

$$M = 1000x$$

$$L_T = (\text{Keliling lingkaran}) = (100 \times \pi) = 314 \text{ mm}$$

$$P_L = \frac{48}{(314/1000)} = 152,88/mm$$

$$L_3 = \frac{1}{N_L} = \frac{1}{P_L} = \frac{1}{152,88} = 0,006$$

$$G = [-6,646 \log L_3] - 3,298$$

$$G = [-6,646 \log 0,006] - 3,298$$

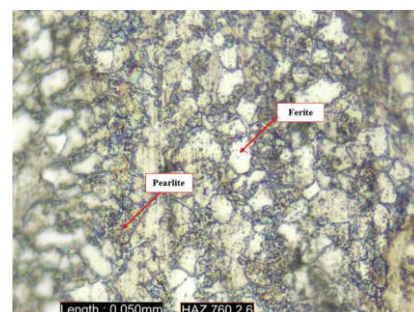
$$= 11,468 \approx 11,5$$

Semakin besar ukuran butir, maka diameter butir yang di peroleh semakin kecil, lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel dibawah ini Grain Size Number (Angka Besar Butir) ASTM E-112.

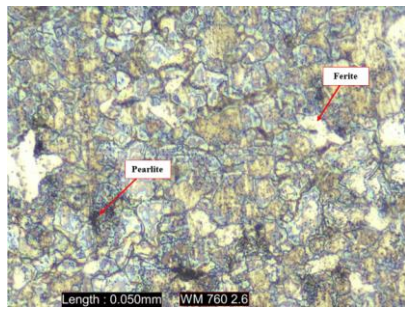
Grain Size No.	N_A Grains/Unit Area		\bar{A} Average Grain Area		\bar{D} Average Diameter		\bar{r} Mean Intercept		\bar{N}_i
	No./in. ² at 100X	No./mm ² at 1X	mm ²	µm ²	mm	µm	mm	µm	
0	0.25	3.98	0.2591	25904	0.5080	508.0	0.4525	452.5	2.21
0.5	0.50	7.95	0.1290	12932	0.3592	359.2	0.3200	320.0	3.12
1.0	1.00	15.90	0.0645	64616	0.2540	254.0	0.2263	226.3	4.42
1.5	1.41	21.92	0.0466	46620	0.2136	213.6	0.1903	190.3	5.26
2.0	2.00	31.00	0.0323	32258	0.1796	179.6	0.1600	160.0	6.25
2.5	2.83	43.94	0.0228	22810	0.1510	151.0	0.1345	134.5	7.43
3.0	4.00	62.00	0.0161	16129	0.1270	127.0	0.1131	113.1	8.84
3.5	5.66	87.68	0.0114	11405	0.1068	106.8	0.0951	95.1	10.51
4.0	8.00	124.00	0.0080	8065	0.0896	89.6	0.0800	80.0	12.50
4.5	11.31	175.36	0.00570	5703	0.0755	75.5	0.0673	67.3	14.87
5.0	16.00	240.00	0.00403	4032	0.0635	63.5	0.0566	56.6	17.88
5.5	22.63	339.73	0.00285	2851	0.0534	53.4	0.0476	47.6	21.02
6.0	32.00	496.00	0.00202	2016	0.0449	44.9	0.0400	40.0	25.00
6.5	45.25	701.45	0.00143	1426	0.0378	37.8	0.0336	33.6	29.73
7.0	64.00	992.00	0.00101	1009	0.0319	31.9	0.0283	28.3	35.36
7.5	90.51	1402.9	0.00071	713	0.0267	26.7	0.0238	23.8	42.04
8.0	128.00	1984.0	0.00050	504	0.0225	22.5	0.0200	20.0	50.00
8.5	181.02	2695.8	0.00036	366	0.0189	18.9	0.0168	16.8	59.46
9.0	256.00	3968.0	0.00025	252	0.0159	15.9	0.0141	14.1	70.71
9.5	362.04	5811.6	0.00018	178	0.0133	13.3	0.0119	11.9	84.09
10.0	512.00	8192.0	0.00013	126	0.0112	11.2	0.0100	10.0	100.00
10.5	724.08	11223.2	0.00009	89.1	0.0094	9.4	0.0084	8.4	118.9
11.0	1024.00	15872.0	0.00006	63.0	0.0079	7.9	0.0071	7.1	141.4
11.5	1448.15	22464.4	0.00004	44.6	0.0067	6.7	0.0060	6.0	169.2
12.0	2048.00	31744.1	0.00003	31.5	0.0056	5.6	0.0050	5.0	200.0
12.5	2896.21	44892.9	0.00002	22.3	0.0047	4.7	0.0042	4.2	237.8
13.0	4096.00	63488.1	0.000016	15.8	0.0040	4.0	0.0035	3.5	282.8
13.5	5762.62	89785.8	0.000011	11.1	0.0033	3.3	0.0030	3.0	336.4
14.0	8192.00	128976.3	0.000008	7.9	0.0028	2.8	0.0025	2.5	400.0

Dapat dilihat pada tabel ASTM E-112 diatas nilai hasil perhitungan besar butir pada material ST-42 dengan tanpa perlakuan *normalizing* didapatkan hasil nomor grain size number 11,5 dengan besar diameter butir 0,0067 mm bila di konversikan ke µm (mikrometer) maka nilai diameter besar butir sebesar 6,7 µm. Jadi ukuran diameter butir pada material tanpa perlakuan terlihat butiran lebih kecil.

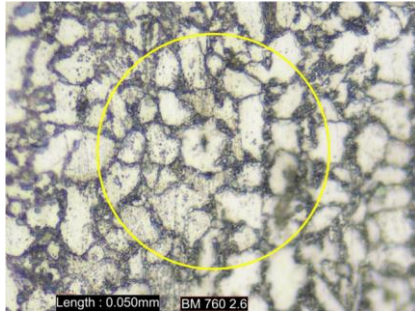
Foto sampel struktur mikro *Normalizing* 760°C



(a)



(b)



(c)

Gambar 17. Hasil foto sampel micro struktur pada baja ST-42 Normalizing 760°C Holding Time 15 menit dengan pengelasan elektroda 2,6 (a); micro struktur pada daerah HAZ, (b); micro struktur pada daerah weld, (c); micro struktur pada daerah base (Etsa Nital 2%, Pembesaran 1000x)

Analisa dari foto struktur mikro di atas di dapatkan data :

$$P = 40 \text{ titik}$$

$$M = 1000x$$

$$L_T = (\text{Keliling lingkaran}) = (100 \times \pi) = 314 \text{ mm}$$

$$P_L = 40 / (314/1000) = 127.38 / \text{mm}$$

$$L_3 = 1/N_L = 1/P_L = 1/127.38 = 0,007$$

$$G = [-6,646 \log L_3] - 3,298$$

$$G = [-6,646 \log 0,007] - 3,298$$

$$= 11,0,23 \approx 11$$

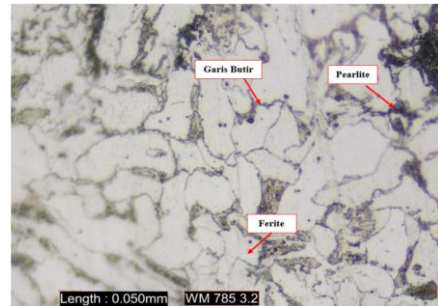
Semakin besar ukuran butir, maka diameter butir yang di peroleh semakin kecil, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 1. Grain Size Number (Angka Besaran Butir) ASTM E-112.

Grain Size No.	N_d Grains/Unit Area	A Average Grain Area	\bar{D} Average Diameter	\bar{T} Mean Intercept	N_d	
G	No./in. ² at 100X	No./mm ² at 1X	mm ²	mm	mm	No./mm ²
00	0.25	3.88	0.2591	259064	0.5000	5000
0	0.50	7.75	0.1290	129032	0.3992	3992
0.5	0.71	10.98	0.0912	91239	0.3021	3021
1.0	1.00	15.50	0.0645	64516	0.2540	2540
1.5	1.41	21.92	0.0468	46820	0.2136	2136
2.0	2.00	31.00	0.0333	33258	0.1796	1796
2.5	2.83	43.84	0.0238	23810	0.1510	1510
3.0	4.00	62.00	0.0161	16129	0.1270	1270
3.5	5.66	87.68	0.0114	11405	0.1068	1068
4.0	8.00	124.00	0.0080	8065	0.0899	899
4.5	11.31	175.36	0.00570	5703	0.0755	755
5.0	16.00	248.00	0.00403	4032	0.0635	635
5.5	22.63	350.73	0.00285	2851	0.0534	534
6.0	32.00	496.00	0.00202	2018	0.0449	449
6.5	45.25	701.45	0.00143	1426	0.0378	378
7.0	64.00	992.00	0.00101	1008	0.0318	318
7.5	90.51	1402.9	0.00071	713	0.0267	267
8.0	128.00	1984.0	0.00050	504	0.0225	225
8.5	181.02	2805.8	0.00036	356	0.0189	189
9.0	256.00	3968.0	0.00025	252	0.0159	159
9.5	362.04	5611.6	0.00018	178	0.0133	133
10.0	512.00	7936.0	0.00013	126	0.0112	112
10.5	724.08	11223.2	0.00009	89.1	0.0094	84
11.0	1024.00	15872.0	0.000063	63.0	0.0079	73
11.5	1448.15	22446.4	0.000045	44.8	0.0067	67
12.0	2048.00	31744.1	0.000032	31.5	0.0056	56
12.5	2896.31	44892.9	0.000022	22.3	0.0047	47
13.0	4096.00	63488.1	0.000016	15.8	0.0040	40
13.5	5762.62	89785.8	0.000011	11.1	0.0033	33
14.0	8192.00	126876.3	0.000008	7.9	0.0028	28

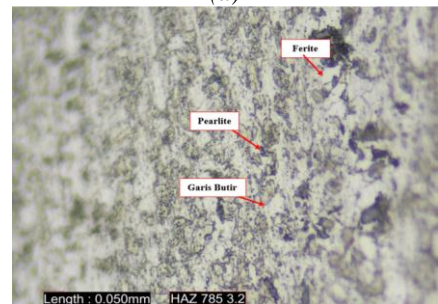
Dapat dilihat pada tabel ASTM E-112 diatas nilai hasil perhitungan besar butir pada material ST-42 dengan perlakuan normalizing variasi suhu 760° didapatkan hasil

nomor grain size number 11 dengan besar diameter butir 0,0079 mm bila di konversikan ke μm (mikronmeter) maka nilai diameter besar butir sebesar 79 μm . Jadi ukuran diameter butir pada suhu normalizing 760° semakin membesar yang didapat dibanding material tanpa perlakuan. Semakin tinggi temperatur suhu normalizing pada daerah austenite dapat menyebabkan pembesaran pada butir sebagai akibatnya nilai kekerasan material akan menurun.

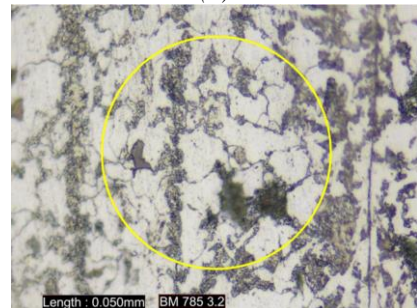
Foto sampel struktur mikro Normalizing 785°C



(a)



(b)



(c)

Gambar 18. Hasil foto sampel micro struktur pada baja ST-42 Normalizing 785°C Holding Time 15 menit dengan pengelasan elektroda 2,6 (a); micro struktur pada daerah HAZ, (b); micro struktur pada daerah weld, (c); micro struktur pada daerah base (Etsa Nital 2%, Pembesaran 1000x)

Analisa dari foto struktur mikro di atas di dapatkan data :

$$P = 36 \text{ titik}$$

$$M = 1000x$$

$$L_T = (\text{Keliling lingkaran}) = (100 \times \pi) = 314 \text{ mm}$$

$$P_L = 36 / (314/1000) = 114,65 / \text{mm}$$

$$L_3 = 1/N_L = 1/P_L = 1/114,65 = 0,009$$

$$G = [-6,646 \log L_3] - 3,298$$

$$G = [-6,646 \log 0,009] - 3,298$$

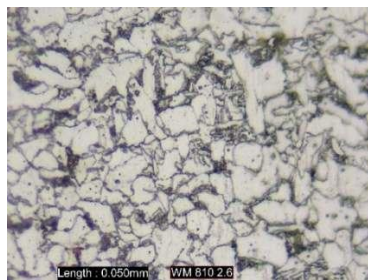
$$= 10,298 \approx 10$$

Semakin besar ukuran butir, maka diameter butir yang di peroleh semakin kecil, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 1. Grain Size Number (Angka Besaran Butir) ASTM E-112.

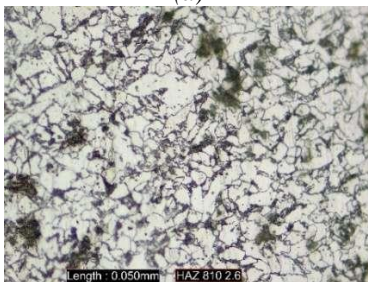
Grain Size No. G	N _G Grains/Unit Area		A Average Grain Area		D Average Diameter		T Mean Intercept		N _G
	No./in. ² at 100X	No./mm ² at 1X	mm ²	μm ²	mm	μm	mm	μm	
0.0	0.25	3.88	0.2581	25064	0.5080	508.0	0.4525	452.5	2.21
0	0.50	7.75	0.1280	12602	0.3592	359.2	0.3200	320.0	3.12
0.5	0.71	10.96	0.0912	9129	0.3021	302.1	0.2691	269.1	3.72
1.0	1.00	15.50	0.0645	64516	0.2540	254.0	0.2263	226.3	4.42
1.5	1.41	21.92	0.0456	45620	0.2136	213.6	0.1903	190.3	5.26
2.0	2.00	31.00	0.0323	32256	0.1796	179.6	0.1600	160.0	6.25
2.5	2.83	43.84	0.0228	22810	0.1510	151.0	0.1345	134.5	7.43
3.0	4.00	62.00	0.0161	16129	0.1270	127.0	0.1131	113.1	8.84
3.5	5.66	87.68	0.0114	11405	0.1066	106.6	0.0951	95.1	10.51
4.0	8.00	124.00	0.0086	8665	0.0898	89.8	0.0800	80.0	12.50
4.5	11.31	175.36	0.00670	5703	0.0755	75.5	0.0673	67.3	14.87
5.0	16.00	248.00	0.00493	4032	0.0635	63.5	0.0566	56.6	17.88
5.5	22.63	350.73	0.00365	2691	0.0534	53.4	0.0476	47.6	21.02
6.0	32.00	496.00	0.00262	2016	0.0449	44.9	0.0400	40.0	25.00
6.5	45.25	701.45	0.00193	1426	0.0378	37.8	0.0336	33.6	29.73
7.0	64.00	992.00	0.00141	1006	0.0319	31.9	0.0283	28.3	35.36
7.5	90.51	1402.9	0.00107	713	0.0267	26.7	0.0238	23.8	42.04
8.0	128.00	1984.0	0.00079	504	0.0225	22.5	0.0200	20.0	50.00
8.5	181.02	2805.9	0.00058	356	0.0189	18.9	0.0168	16.8	59.46
9.0	256.00	3968.0	0.00043	252	0.0159	15.9	0.0141	14.1	70.71
9.5	362.04	5611.6	0.00032	178	0.0133	13.3	0.0119	11.9	84.09
10.0	512.00	7936.0	0.00023	126	0.0112	11.2	0.0100	10.0	100.00
10.5	724.08	11223.2	0.00016	89.1	0.0094	9.4	0.0084	8.4	118.9
11.0	1024.00	15872.0	0.00011	63.0	0.0079	7.9	0.0071	7.1	141.4
11.5	1448.15	22446.4	0.00008	44.6	0.0067	6.7	0.0060	6.0	168.2
12.0	2048.00	31744.1	0.00006	31.5	0.0056	5.6	0.0050	5.0	200.0
12.5	2896.31	44892.9	0.00004	22.3	0.0047	4.7	0.0042	4.2	237.8
13.0	4096.00	63488.1	0.00003	15.8	0.0040	4.0	0.0035	3.5	282.8
13.5	5762.62	89785.8	0.00002	11.1	0.0033	3.3	0.0030	3.0	338.4
14.0	8192.00	126976.3	0.00001	7.9	0.0028	2.8	0.0025	2.5	400.0

Dapat dilihat pada tabel Grain size number ASTM E-112 nilai hasil perhitungan besar butir pada material ST-42 dengan perlakuan normalizing variasi suhu 785° didapatkan hasil nomor grain size number 10 dengan besar diameter butir 0,0112 mm bila di konversikan ke μm (mikronmeter) maka nilai diameter besar butir sebesar 11,2 μm. Jadi ukuran diameter butir pada suhu normalizing 785° semakin membesar yang didapat dibanding material tanpa perlakuan dan perlakuan normalizing suhu 760°.

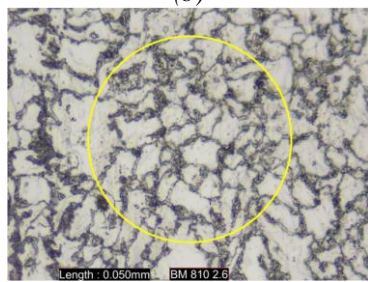
Foto sampel struktur mikro Normalizing 810°C



(a)



(b)



(c)

Gambar 19. Hasil foto sampel micro struktur pada baja ST-42 Normalizing 810°C Holding Time 15 menit dengan pengelasan elektroda 2,6 (a); micro struktur pada daerah HAZ, (b); micro struktur pada daerah weld, (c); micro struktur pada daerah base (Etsa Nital 2%, Pembesaran 1000x)

Analisa dari foto struktur mikro di atas di dapatkan data :

P = 29 titik
M = 1000x
L_T = (Keliling lingkaran) = (100 x π) = 314 mm
P_L = 29 / (314/1000) = 92,36/mm
L₃ = 1/N_L = 1/P_L = 1/N_L = 1/92,36 = 0,011

G = [-6,646 log L₃] - 3,298
G = [-6,646 log 0,011] - 3,298
= 9,718 ≈ 9,5

Semakin besar ukuran butir, maka diameter butir yang di peroleh semakin kecil, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 1. Grain Size Number (Angka Besaran Butir) ASTM E-112.

Grain Size No. G	N _G Grains/Unit Area		A Average Grain Area		D Average Diameter		T Mean Intercept		N _G
	No./in. ² at 100X	No./mm ² at 1X	mm ²	μm ²	mm	μm	mm	μm	
0.0	0.25	3.88	0.2581	25064	0.5080	508.0	0.4525	452.5	2.21
0	0.50	7.75	0.1280	12602	0.3592	359.2	0.3200	320.0	3.12
0.5	0.71	10.96	0.0912	9129	0.3021	302.1	0.2691	269.1	3.72
1.0	1.00	15.50	0.0645	64516	0.2540	254.0	0.2263	226.3	4.42
1.5	1.41	21.92	0.0456	45620	0.2136	213.6	0.1903	190.3	5.26
2.0	2.00	31.00	0.0323	32256	0.1796	179.6	0.1600	160.0	6.25
2.5	2.83	43.84	0.0228	22810	0.1510	151.0	0.1345	134.5	7.43
3.0	4.00	62.00	0.0161	16129	0.1270	127.0	0.1131	113.1	8.84
3.5	5.66	87.68	0.0114	11405	0.1066	106.6	0.0951	95.1	10.51
4.0	8.00	124.00	0.0086	8665	0.0898	89.8	0.0800	80.0	12.50
4.5	11.31	175.36	0.00670	5703	0.0755	75.5	0.0673	67.3	14.87
5.0	16.00	248.00	0.00493	4032	0.0635	63.5	0.0566	56.6	17.88
5.5	22.63	350.73	0.00365	2691	0.0534	53.4	0.0476	47.6	21.02
6.0	32.00	496.00	0.00262	2016	0.0449	44.9	0.0400	40.0	25.00
6.5	45.25	701.45	0.00193	1426	0.0378	37.8	0.0336	33.6	29.73
7.0	64.00	992.00	0.00141	1006	0.0319	31.9	0.0283	28.3	35.36
7.5	90.51	1402.9	0.00107	713	0.0267	26.7	0.0238	23.8	42.04
8.0	128.00	1984.0	0.00079	504	0.0225	22.5	0.0200	20.0	50.00
8.5	181.02	2805.9	0.00058	356	0.0189	18.9	0.0168	16.8	59.46
9.0	256.00	3968.0	0.00043	252	0.0159	15.9	0.0141	14.1	70.71
9.5	362.04	5611.6	0.00032	178	0.0133	13.3	0.0119	11.9	84.09
10.0	512.00	7936.0	0.00023	126	0.0112	11.2	0.0100	10.0	100.00
10.5	724.08	11223.2	0.00016	89.1	0.0094	9.4	0.0084	8.4	118.9
11.0	1024.00	15872.0	0.00011	63.0	0.0079	7.9	0.0071	7.1	141.4
11.5	1448.15	22446.4	0.00008	44.6	0.0067	6.7	0.0060	6.0	168.2
12.0	2048.00	31744.1	0.00006	31.5	0.0056	5.6	0.0050	5.0	200.0
12.5	2896.31	44892.9	0.00004	22.3	0.0047	4.7	0.0042	4.2	237.8
13.0	4096.00	63488.1	0.00003	15.8	0.0040	4.0	0.0035	3.5	282.8
13.5	5762.62	89785.8	0.00002	11.1	0.0033	3.3	0.0030	3.0	338.4
14.0	8192.00	126976.3	0.00001	7.9	0.0028	2.8	0.0025	2.5	400.0

Dapat dilihat pada tabel Grain size number ASTM E-112 nilai hasil perhitungan besar butir pada material ST-42 dengan perlakuan normalizing variasi suhu 810° didapatkan hasil nomor grain size number 9,5 dengan besar diameter butir 0,0133 mm bila di konversikan ke μm (mikronmeter) maka nilai diameter besar butir sebesar 13,3 μm. Jadi ukuran diameter butir pada suhu normalizing 810° semakin membesar yang didapat dibanding material tanpa perlakuan dan perlakuan normalizing suhu 760°, 785°. Semakin tinggi temperatur suhu pemanasan di daerah austenite akan menyebabkan pembesaran pada butir sebagai akibatnya nilai kekerasan material akan menurun

Pada pemanasan 810°C mengakibatkan butiran mulai adanya penambahan dari yang halus, kehalusan atau kasarnya butir dapat memengaruhi nilai kekerasannya. Pada foto sampel struktur mikro butiran mulai ada perubahan besar, butir yang membesar mengakibatkan menurunnya nilai kekerasan pada material tersebut. Penurunan kekerasan diakibatkan perlit yang masih menjaga tingginya angka nilai kekerasannya. Pada akhirnya butiran menjadi membesar seiring dengan naiknya temperatur suhu normalizing, semakin besarnya butiran yang dihasilkan semakin kecil nilai kekerasan pada baja.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari analisa data pada pengaruh variasi temperatur suhu *normalizing* terhadap perubahan butir struktur mikro dan sifat mekanik pada sambungan las SMAW kampuh V groove 60° material baja ST 42 dengan elektroda E7018 Ø 2,6 dan Ø 3,2 mm, maka didapatkan kesimpulan :

- 1 Dari hasil pengaruh proses *normalizing* didapatkan penurunan pada nilai batas butir micro struktur material baja karbon ST 42 dibandingkan material sebelum mengalami proses *normalizing*. pada daerah base metal material tanpa perlakuan *normalizing* mempunyai nilai batas butir sebesar 0,0067 mm dan pada material baja ST-42 yang sesudah mengalami proses *normalizing* mempunyai nilai batas butir sebesar 0,0133 mm. Butir yang membesar mengakibatkan menurunnya nilai kekerasan pada material tersebut.
- 2 Dari hasil pengaruh proses *normalizing* mengalami penurunan pada nilai kekerasan material baja karbon ST 42 dibandingkan material tanpa mengalami proses *normalizing*. hasil pengujian kekerasan rockwel dari pengelasan dengan menggunakan elektroda Ø 2,6 dan Ø 3,2 dapat diketahui bahwa nilai kekerasan pada material baja ST-42 tanpa perlakuan *normalizing* mempunyai nilai kekerasan lebih tinggi pada area *Base Metal* dibandingkan material yang telah melalui proses *normalizing* pada material tanpa perlakuan dengan pengelasan Ø 2,6 dan Ø 3,2 memiliki nilai kekerasan rata-rata sebesar 75,22 HRC dan 75,33 HRC. Pada pengujian tarik pada spesimen dengan pengelasan elektroda 2,6 di dapatkan nilai tegangan paling tinggi pada perlakuan *normalizing* suhu 810°C sebesar 41,40 N/mm² dengan regangan sebesar 13,75 % dan pada pengelasan elektroda 3,2 di dapatkan nilai tegangan dan regangan paling besar pada perlakuan *normalizing* suhu 760°C sebesar 50 N/mm² dengan nilai regangan sebesar 20 %. Dapat disimpulkan bahwa material baja ST 42 semakin lama spesimen mengalami perlakuan panas *normalizing*, maka nilai kekerasannya semakin berkurang hal tersebut diakibatkan oleh pengaruh pertambahan suhu yang semakin meningkat dan waktu penahanan. Selain itu pertambahan suhu pemanasan juga dapat memengaruhi hasil struktur mikro juga akan ikut berubah.

Adapun saran yang dapat dilakukan untuk penelitian lebih lanjut :

- 1 Pada proses perlakuan *normalizing* di penelitian ini hanya dilakukan pada suhu tertentu sesuai dengan kadar karbon material yang digunakan sehingga perlu dilakukan -perlakuan *normalizing* agar memperoleh data yang lebih akurat.
- 2 Penelitian ini hanya menggunakan proses pengelasan SMAW dengan variasi elektroda Ø 2,6 dan Ø 3,2

dilakukan hal serupa pada tiap variasi suhu *normalizing*, pengelasan dengan ampere yang lebih tinggi untuk mendapatkan hasil nilai data yang valid.

- 3 Pada penelitian ini mendapatkan banyak permasalahan pada proses pemolesan spesimen mikro dikarenakan kurangnya bahan dan cairan etsa yang tidak mengikuti ketentuan.

REFERENSI

- [1] H. & O. T. Wirjosumarto, Teknologi Pengelasan Logam, Cetakan kedelapan ed., Jakarta: Pradnya Paramit, 2000.
- [2] F. J. G. S. J. & G. R. Silva, "Dissolution of Grain Boundary Carbides by the Effect of Solution Annealing Heat Treatment and Aging Treatment on Heat-Resistant Cast Steel HK30," *Metals*, vol. vol. 7, no. no.2, p. pp. 1–12, (2017).
- [3] I. K. Rimpung, " Pengaruh perlakuan panas terhadap kekerasan Baja (St. 42) dengan temperatur pemanasan 800° C, metode brinell, di laboratorium uji bahan politeknik negeri bali," *Logic: Jurnal Rancang Bangun dan Teknologi*, vol. 16, no. 2, p. 87, 2017.
- [4] A. D. Khalid, "Analisa Pengaruh Beda Temperatur Pada Mikrostruktur Baja Carbon ST 42," *Jurnal INTEKNA*, pp. 102-209, 2014.
- [5] P. Trihutomo, "Pengaruh Proses Annealing Pada Hasil Pengelasan Terhadap Sifat Mekanik Baja Karbon Rendah," *JURNAL TEKNIK MESIN*, vol. 1, p. 22, 2015.
- [6] & S. S. Tata S., Pengetahuan Bahan Teknik, Edisi ketujuh ed., Jakarta: Pradya Paramita, 2013.
- [7] T. S. C. & A. S. Rajan, Heat Treatment: Principles and Techniques. Prentice-Hall of India., 1994.
- [8] G. D. Y. U. A. T. H. Huda Fathu Rohman, "Pengaruh Proses Heat Treatment Annealing Terhadap Struktur Mikro Dan Nilai Kekerasan Pada Sambungan Las Thermite Baja NP-42," *urnal Teknik Mesin S-1*, vol. Vol. 2, 2014.
- [9] D. S. M. M. D. R. Maula Nafi, "Analisa Kekerasan Rockwell dan Metalografi Hasil PWHT pada Pengelasan SMAW Baja ST41 dengan Variasi Temperatur dan Waktu Tahan," *MEKANIKA : JURNAL TEKNIK MESIN*, vol. Volume 8, 2022.
- [10] G. D. H. Y. U. Adityo Ristyanto, "Pengaruh Proses Normalizing Terhadap Nilai Kekerasan dan Struktur Mikro Pada Sambungan Las Thermite Simillar Baja UIC-54," *Jurnal Teknik Mesin S-1*, vol. 2, no. No 2, 2014.