

ANALISA PENGARUH VARIASI SUDUT KAMPUH V DAN KUAT ARUS TERHADAP KEKUATAN TARIK, STRUKTUR MIKRO, DAN CACAT LAS PADA MATERIAL BAJA SS 400 DENGAN PROSES PENGELASAN SMAW

Andriyas Novi Saputra¹⁾, Bayu Adi Firmansyah²⁾, Edi Santoso³⁾
Teknik Mesin Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya¹⁾,
Teknik Mesin Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya²⁾
Teknik Mesin Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya³⁾

andriyasns@gmail.com¹⁾, Bayuadifirmansyah20@gmail.com²⁾
edisantoso@untag-sby.ac.id³⁾

Abstrak— Las busur listrik atau biasanya disebut las listrik merupakan proses penyambungan dua buah logam yang sumber panasnya didapatkan oleh tenaga listrik. Pada penelitian kali ini proses pengelasan yang akan digunakan adalah pengelasan SMAW dengan memvariasikan besar sudut-sudut kampuh las V dan kuat arus. Tujuannya yaitu untuk mengetahui kekuatan tarik material baja SS 400 hasil dari pengelasan dengan memvariasikan besar sudut-sudut kampuh las V dan kuat arus. Besar sudut kampuh V yang akan divariasikan yaitu 70°, 80°, 90° dan kuat arus yang akan divariasikan yaitu 80A, 90A, 100A dengan elektroda E 7018. Metode penelitian yang akan digunakan yaitu, pertama pengambilan data spesimen, data yang didapatkan atau diteliti akan dijadikan petunjuk awal dalam penelitian. Kedua metode status, sampel yang dipilih nantinya akan dianalisa karakteristiknya dan hasil dari pengelasan diuji untuk mengetahui nilai kekuatan tarik, stuktur mikro dan kecacatan las. Dan yang ketiga metode evaluasi, data yang sudah didapatkan akan dievaluasi bertujuan agar mendapatkan hasil maksimal. Hasil dari penelitian yang diperoleh untuk pengujian tarik baja ss 400 nilai kekuatan paling tinggi yaitu di variasi sudut kampuh V 70° kuat arus 100A dengan nilai tegangan maksimum rata-rata 52,29 kg/mm² dan untuk nilai tegangan terendah yaitu di variasi sudut kampuh V 80° kuat arus 90A dengan nilai tegangan maksimum rata-rata 44,01 kg/mm². Begitu juga pada pengujian struktur mikro, nilai dari hasil perhitungan besar butiran di area weld metal dengan nilai nomor Grain size paling besar 11,2 dengan besar diameter butir 0,0112 mm berada di sudut kampuh V 80° kuat arus 90A dan didapatkan juga hasil nomor Grain size paling kecil 6,7 dengan besar diameter butir 0,0067 mm berada di sudut kampuh V 70° kuat arus 100A. Hal ini berarti butiran yang membesar mengakibatkan menurunnya nilai kekuatan pada material tersebut

Kata kunci : Pengelasan SMAW, Sudut kampuh V, Kuat Arus.

Abstract— A metal joining method employing electricity as a heat source is known as electric arc welding or simply electric welding. The seam's angle V and the current strength will both be changed in this investigation by the authors. By adjusting the seam angle V and current strength while utilizing SS 400 steel, the goal is to find the strength of the mechanical characteristics of the material produced by welding using the SMAW method. With E 7018 electrodes, the seam angle V should be fixed to 70°, 80°, or

90°, and the current should be employed at 80A, 90A, or 100A. The first gathering of sample data, where the data collected or studied is utilized as a guide in research, will be the methodology applied in this study. The second status approach involves examining the properties of the chosen sample before testing the welds for tensile strength, microstructure, and errors. The third approach is the assessment technique, in which the data is assessed to produce the best outcomes. The results of the tensile test on SS 400 steel show that the variation of seam angle V 70° yields the highest strength value, with a current strength of 100A and an average maximum stress value of 52.29 kg/mm², and the variation of seam angle V 80° yields the lowest stress value, with a current strength of 90A and an average maximum voltage value of 44.01 kg/mm². Similar to the microstructure test, the value of the calculation of the grain size in the weld metal area with the maximum grain size number value is 11.2 with a grain dimension of 0.0112 mm at the corner of the V seam 80° current strength 90A. At the corner of the V 70° seam with a current of 100A, the smallest grain size is 6.7 with a grain diameter of 0.0067 mm. This indicates that the material's strength value decreases as a result of the larger grain.

Keywords : SMAW, groove v, current strength.

I. PENDAHULUAN

Teknologi pengelasan busur elektroda telah banyak digunakan di bangunan baja dan konstruksi mesin. Pengelasan merupakan sarana untuk mencapai tujuan desain bangunan yang efektif dan efisien. Oleh karena itu, dalam struktur pengelasan dan metode pengelasan, ada beberapa yang harus diperhatikan pada kesesuaian sifat mekanik dan fisik bagian yang dilas dengan struktur dan kondisi setempat.

Pada proses las SMAW digunakan kawat las (elektroda) untuk memperoleh panas dari nyala api busur yang menyala antara kawat las dan benda kerja. Elektroda E 7018 merupakan elektroda low hydrogen yang dapat digunakan untuk semua posisi pengelasan dan mengandung serbuk besi kurang lebih 25-40% untuk digunakan pada peralatan las AC maupun DC. Beberapa faktor yang mempengaruhi kualitas hasil las yang baik, seperti sudut jahitan dan kekuatan arus las. Ukuran las dan kekuatan arus mempengaruhi sifat mekanik las. Untuk itu akan dilakukan

penelitian yaitu mevariasikan sudut kampuh las dan kuat arus.

Dalam hal ini penulis akan menggunakan sudut kampuh yang berbentuk V dan besar sudut yang digunakan adalah 70°, 80°, dan 90°. Untuk variasi kuat arus yang digunakan penulis menggunakan besar kuat arus adalah 80A, 90A, dan 100A. Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui sifat material baja SS 400 melalui pengujian tarik untuk melihat berapa besar kekuatan tarik pada baja tersebut, struktur mikro untuk melihat ukuran butir yang nanti akan berpengaruh pada kekuatan dari baja tersebut dan juga cacat las untuk mengetahui cacat yang terjadi pada saat selesai pengelasan dengan memvariasikan besar sudut kampuh V dan besar kuat arus.

II. PENELITIAN TERDAHULU

Rizky Bagas, dkk. [1], melakukan penelitian tentang “pengaruh variasi sudut kampuh dan kuat arus terhadap kekuatan dan kekerasan ST 60 pada pengelasan SMAW ” dengan tujuan untuk pengaruh besar sudut kampuh dan kuat arus pada pengelasan SMAW dalam pengujian kekerasan dan kekuatan baja ST 60.

Ranu Yudistira, dkk. [2], dalam penelitian “variasi arus pengelasan SMAW untuk posisi pengelasan 1G pada material baja kapal SS 400 terhadap cacat pengelasan” menjelaskan bahwa adanya idikasi pada cacat pengelasan.

Yoga, dkk. [3], melakukan penelitian tentang “Pengaruh variasi temperatur normalizing terhadap perubahan butir struktur mikro” dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh dari jumlah butiran dan besar butiran pada material baja karbon rendah.

III. METODE

A. Proses Pengelasan

Proses pengelasan yang akan dilakukan dalam penelitian ini menggunakan las SMAW dengan 3 variasi arus yaitu arus 80A, 90A, 100A. Jenis elektroda yang di gunakan E 7018 Ø2,6mm. Untuk langkah-langkah yang harus dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Mempersiapkan mesin las SMAW.
2. Material yang digunakan adalah baja SS 400 dan Kampuh yang digunakan jenis kampuh V dengan variasi sudut 70°, 80°,90°, dan celah 3mm.
3. Posisi Pengelasan dimulai dengan tack weld agar material tetap dalam posisinya.



Gambar 1 material yang telah diberi tack weld

4. Posisi pengelasan menggunakan posisi 1G (Mendatar).
5. Setelah dilakukan proses pengelasan, benda kerja didinginkan dengan udara bebas.

B. Metode pengujian Cacat Las

Pengujian tidak merusak (Non Destructive Test)

proses pengujian suatu objek yang nantinya dapat mendeteksi cacat, retakan atau diskontinuitas lainnya tanpa merusak objek yang diuji. NDT dilakukan tidak lebih dari dua kali. Yang pertama dilakukan selama dan pada akhir proses produksi untuk menentukan apakah komponen tersebut dapat diterima pada tahap produksi.

Penetrant Test

Jenis pengujian non-destruktif. Pengujian penetrant adalah suatu metode yang dapat digunakan untuk mengetahui adanya cacat las pada permukaan benda kerja akibat dari proses pengelasan, dengan menggunakan suatu jenis cairan kimia yang bekerja atas dasar rongga atau kapilaritas, jenis cacat las :

1. Cacat Las Porosity
2. Cacat Las Crack/Retak
3. Cacat Las Undercut
4. Cacat Las Spatter



Gambar 2 penyemprotan cairan red penetrant



Gambar 3 penyemprotan cairan developer

C. Metode Pengujian Tarik

Uji tarik adalah suatu usaha untuk mengetahui sifat-sifat suatu bahan dengan cara memberikan gaya atau tegangan tarik pada bahan tersebut, yang bertujuan untuk mengetahui atau mengamati kekuatan dari bahan tersebut.

Tegangan diperoleh dengan cara membagi beban dengan luas penampang asli benda uji. Tegangan yang digunakan adalah tegangan rata-rata yang diperoleh dengan membagi panjang benda ukur dengan panjangnya.

Dirumuskan seperti berikut:

- (Tegangan Mekanis) :
 $\sigma = F/A$,
- (Regangan) :
 $\varepsilon = \Delta L/L$,

Keterangan : F = gaya tarikan
A = luas penampang
 ΔL = pertambahan panjang

Didapatkan rumus sebagai berikut:

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

Keterangan : ε = regangan (%)
L = panjang akhir (mm)
L₀ = panjang awal (mm)

D. Metode Pengujian Struktur Mikro

Mikrostruktur atau metalografi adalah susunan bentuk struktur yang terbuat dari bahan logam yang ukurannya sangat kecil dan tidak beraturan. bentuknya bervariasi sesuai dengan unsur dan proses yang dialami selama pembentukan.



Gambar 4 Proses Pengujian Struktur Mikro

Hasil pemeriksaan struktur mikro dapat menunjukkan penyimpangan struktur logam atau jenis cacat yang ada pada daerah HAZ dan Weld Metal, seperti retakan, inklusi, dan rongga. Secara umum dapat diartikan bahwa keadaan mikrostruktur logam dapat menentukan bentuk dan ukuran butiran kristal, homogenitas, komposisi mikro, inklusi, proses preparasi yang dapat menyebabkan kerusakan seperti pengelasan, peleburan, penempaan, korosi, dll. Penelitian ini menggunakan rumus yang mengacu pada ASTM E-112 dibawah ini :

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

Keterangan :

$L_3 = 1/P_L$ = panjang garis perpotongan

$P_L = P/(L_T/M)$

Dimana

P = Jumlah titik potong batas butir dengan lingkaran

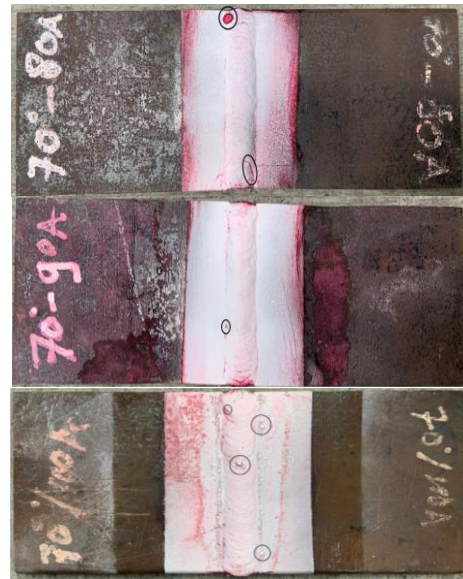
L_T = Panjang garis total (Keliling lingkaran)

M = Perbesaran yang digunakan

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Uji Kecacatan (Dye Penetrant)

Pengujian Kecacatan Las Kampuh V 70° Arus 80A, 90A, 100A



Gambar 5 Spesimen uji penetrant (kampuh V 70° arus 80A, 90A, 100A)

Dari hasil pengujian dye penetrant, spesimen pada sudut kampuh 70° dan kuat arus 80A cacat las yang dihasilkan yaitu: Porosity dan Undercut. Dari hasil pengujian dye penetrant, spesimen pada sudut kampuh 70° dan kuat arus 90A cacat las yang dihasilkan yaitu: Undercut. Dari hasil pengujian dye penetrant, spesimen pada sudut kampuh 70° dan kuat arus 100A cacat las yang dihasilkan yaitu: Porosity dan Spatter.

Pengujian Kecacatan Las Kampuh V 80° Arus 80A, 90A, 100A



Gambar 6 Spesimen uji penetrant (kampuh V 80° arus 80A, 90A, 100A)

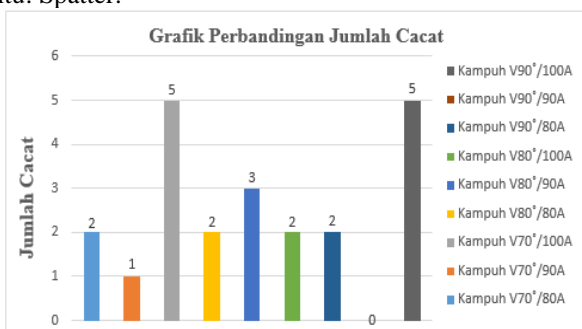
Dari hasil pengujian dye penetrant, spesimen pada sudut kampuh 80° dan kuat arus 80A cacat las yang dihasilkan yaitu: Undercut dan Porosity. Dari hasil pengujian dye penetrant, spesimen pada sudut kampuh 80° dan kuat arus 90A cacat las yang dihasilkan yaitu: Undercut dan Porosity. Dari hasil pengujian dye penetrant, spesimen pada sudut kampuh 80° dan kuat arus 100A cacat las yang dihasilkan yaitu: Porosity dan Spatter.

Pengujian Kecacatan Las Kampuh V 90° Arus 80A, 90A, 100A



Gambar 7 Spesimen uji penetrant (kampuh V 90° arus 80A, 90A, 100A)

Dari hasil pengujian dye penetrant, spesimen pada sudut kampuh 90° dan kuat arus 80A cacat las yang dihasilkan yaitu: Porosity dan crack. Dari hasil pengujian dye penetrant, spesimen pada sudut kampuh 90° dan kuat arus 90A tidak terdapat adanya cacat las pada spesimen tersebut. Dari hasil pengujian dye penetrant, spesimen pada sudut kampuh 90° dan kuat arus 100A cacat las yang dihasilkan yaitu: Spatter.



Gambar 8 Grafik Perbandingan Jumlah Cacat Pengelasan

Berdasarkan grafik diatas menunjukkan bahwa dengan memvariasi sudut kampuh V dan kuat arus dapat mempengaruhi cacat pengelasan pada material. Jumlah cacat pengelasan paling banyak ada pada variasi sudut kampuh V 70° arus 100 A, dan sudut kampuh V 90° arus 100 A yaitu sebanyak 5. Sedangkan jumlah cacat yang paling sedikit ada pada V 90° arus 90 A dengan tidak adanya jumlah cacat pada spesimen tersebut

B. Hasil Pengujian Tarik

Pada penelitian ini menggunakan 29 spesimen yang masing-masing variasi sudut kampuh dan kuat arus 3 spesimen untuk raw material 2 spesimen.

Pengujian tarik raw material

Tabel 1 data spesimen uji tarik raw material

No	Keterangan	Spesimen 1	Spesimen 2
1	Lebar Beban i (mm)	12,5	12,5
2	Tebal Beban t (mm)	10	10
3	Panjang Awal L_0 (mm)	200	200
4	Panjang Akhir L_f (mm)	232,27	234,91
5	Pertambahan Panjang ΔL (mm)	32,27	34,91
6	ΔL_1 (Yield) (mm)	6,8	5,49
7	ΔL_2 (Max) (mm)	18,66	18,22
8	ΔL_3 (Putus) (mm)	28,76	32,49
9	Beban Luluh (Yield Point) (Kg)	6217,4	5882,4
10	Beban Maksimum (Ultimate Stenght) (Kg)	7142	7040,4
11	Beban Putus (Fracture) (Kg)	4506,8	4480,2

Tegangan dan Regangan Teknik

$$L_1 = L_0 + \Delta L_{1(y)} = 200 \text{ mm} + 6,8 \text{ mm} = 206,8$$

$$L_2 = L_0 + \Delta L_{2(\text{Max})} = 200 \text{ mm} + 18,66 \text{ mm} = 218,66$$

$$L_3 = L_0 + \Delta L_{3(\text{Pts})} = 200 \text{ mm} + 28,76 \text{ mm} = 228,76$$

Luas Penampang

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

Tegangan

$$\sigma_{t1(y)} = \frac{P_1}{A_0} = \frac{6217,4}{125 \text{ mm}^2} = 49,73 \text{ kg/mm}^2$$

$$\sigma_{t2(\text{Max})} = \frac{P_1}{A_0} = \frac{7142}{125 \text{ mm}^2} = 57,13 \text{ kg/mm}^2$$

$$\sigma_{t3(\text{Pts})} = \frac{P_1}{A_0} = \frac{4506,8}{125 \text{ mm}^2} = 36,05 \text{ kg/mm}^2$$

Regangan

$$\begin{aligned} \varepsilon_{1(y)} &= \frac{L_1(y) - L_0}{L_0} \times 100 \% \\ &= \frac{206,8 \text{ mm} - 200 \text{ mm}}{200 \text{ mm}} \\ &= 3,40 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_{2(\text{Max})} &= \frac{L_2(\text{Max}) - L_0}{L_0} \times 100 \% \\ &= \frac{218,66 \text{ mm} - 200 \text{ mm}}{200 \text{ mm}} \\ &= 9,33 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_{3(\text{Max})} &= \frac{L_3(\text{Pts}) - L_0}{L_0} \times 100 \% \\ &= \frac{228,76 \text{ mm} - 200 \text{ mm}}{200 \text{ mm}} \\ &= 14,38 \% \end{aligned}$$

Tabel 2 data hasil tegangan dan regangan pengujian tarik raw material

Spesimen	Tegangan (kg/mm ²)			Regangan (%)		
	Yield	Maksimum	Putus	Yield	Maksimum	Putus
1	49,73	57,13	36,05	3,40	9,33	14,38
2	47,05	56,32	35,84	2,75	9,11	16,25
Rata-Rata	48,39	56,72	35,94	3,07	9,22	15,31

Dari hasil perhitungan diatas, nilai tegangan maksimum paling tinggi ada pada spesimen 1 dengan tegangan maksimum 57,1 kg/mm² dengan nilai regangan maksimum 9,33 %. Untuk nilai tegangan maksimum paling rendah ada pada spesimen 2 dengan nilai tegangan maksimum 56,3 kg/mm² dengan nilai regangan maksimum 9,11 %. Dan nilai rata – rata tegangan maksimum raw material yaitu 37,82 kg/mm² dengan regangan maksimum 6,15 %.

Pengujian Tarik Kampuh V 70° Arus 80A, 90A, 100A

Tabel 3 data hasil tegangan dan regangan variasi sudut kampuh v 70° arus 80A

Spesimen	Tegangan (kg/mm ²)			Regangan (%)		
	Yield	Maksimum	Putus	Yield	Maksimum	Putus
1	46,08	53,79	33,59	2,31	6,81	9,99
2	44,71	53,53	39,07	1,43	9,33	16,69
3	27,10	44,01	35,57	1,94	7,50	13,03
Rata-Rata	39,30	50,44	36,08	1,94	7,50	13,03

Tabel 4 data hasil tegangan dan regangan variasi sudut kampuh v 70° arus 90A

Spesimen	Tegangan (kg/mm ²)			Regangan (%)		
	Yield	Maksimum	Putus	Yield	Maksimum	Putus
1	26,36	44,81	36,83	1,76	9,55	17,02
2	42,96	50,99	41,28	1,98	4,50	8,56
3	29,06	41,60	33,16	1,54	2,20	4,50
Rata-Rata	32,79	45,80	37,09	1,76	5,42	10,03

Tabel 5 data hasil tegangan dan regangan variasi sudut kampuh v 70° arus 100A

Spesimen	Tegangan (kg/mm ²)			Regangan (%)		
	Yield	Maksimum	Putus	Yield	Maksimum	Putus
1	41,70	50,98	38,87	2,09	6,92	11,31
2	45,03	52,46	48,97	1,98	5,27	8,02
3	45,72	53,41	44,08	2,64	6,70	18,12

Pada spesimen pengelasan Variasi Sudut Kampuh V 70° Arus 80, 90, 100 Ampere, nilai tegangan maksimum yang paling tinggi ada pada spesimen kampuh V 70° Arus 100 Ampere dengan dengan nilai rata – rata tegangan maksimum 52,29 kg/mm². Sedangkan untuk nilai tegangan maksimum paling rendah ada pada spesimen 70° Arus 90 Ampere dengan nilai rata – rata tegangan maksimum 45,80 kg/mm². Dari percobaan pengujian diatas maka semakin besar arus yang digunakan maka semakin besar juga tegangan maksimum yang didapatkan.

Pengujian Tarik Kampuh V 80° Arus 80A, 90A, 100A

Tabel 6 data hasil tegangan dan regangan variasi sudut kampuh v 80° arus 80A

Spesimen	Tegangan (kg/mm ²)			Regangan (%)		
	Yield	Maksimum	Putus	Yield	Maksimum	Putus
1	44,25	53,13	41,11	2,09	7,03	15,69
2	25,89	43,54	35,23	1,65	9,77	20,75
3	43,29	53,53	32,76	1,87	6,04	10,43
Rata-Rata	37,81	50,07	36,37	1,87	7,61	15,62

Tabel 7 data hasil tegangan dan regangan variasi sudut kampuh v 80° arus 90A

Spesimen	Tegangan (kg/mm ²)			Regangan (%)		
	Yield	Maksimum	Putus	Yield	Maksimum	Putus
1	23,77	45,58	37,05	1,65	2,75	7,69
2	28,23	42,75	36,51	1,68	3,08	5,16
3	26,20	43,69	35,10	1,21	9,22	18,01
Rata-Rata	26,07	44,01	36,22	1,51	5,01	10,28

Tabel 8 data hasil tegangan dan regangan variasi sudut kampuh v 80° arus 100A

Spesimen	Tegangan (kg/mm ²)			Regangan (%)		
	Yield	Maksimum	Putus	Yield	Maksimum	Putus
1	45,77	51,67	41,91	2,31	6,26	10,65
2	40,11	50,85	42,75	1,98	5,71	10,21
3	40,49	50,11	41,60	1,36	6,58	14,82
Rata-Rata	42,12	50,88	42,09	1,88	6,18	11,89

Pada spesimen pengelasan Variasi Sudut Kampuh V 80° Arus 80A, 90A, 100A, nilai tegangan maksimum yang paling tinggi ada pada spesimen kampuh V 80° Arus 100 Ampere dengan nilai rata – rata tegangan maksimum 50,88 kg/mm². Sedangkan untuk nilai tegangan maksimum paling rendah ada pada spesimen 80° Arus 90 Ampere dengan nilai rata – rata tegangan maksimum 44,01 kg/mm². Dari percobaan pengujian diatas maka semakin besar arus yang digunakan maka semakin besar juga tegangan maksimum yang didapatkan.

Pengujian Tarik Kampuh V 90° Arus 80A, 90A, 100A

Tabel 9 data hasil tegangan dan regangan variasi sudut kampuh v 90° arus 80A

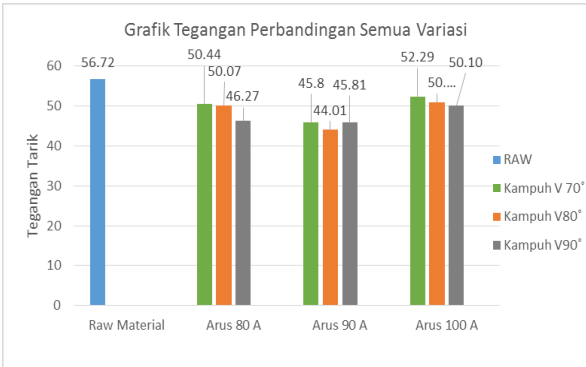
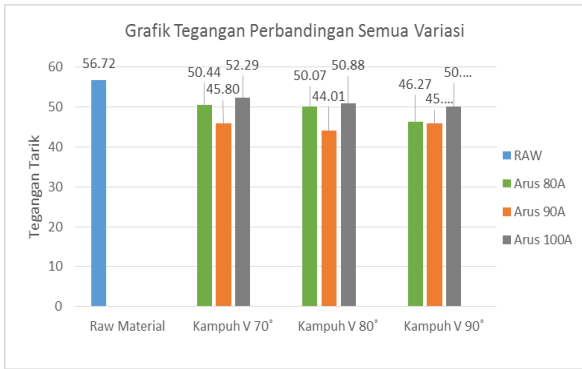
Spesimen	Tegangan (kg/mm ²)			Regangan (%)		
	Yield	Maksimum	Putus	Yield	Maksimum	Putus
1	45,68	51,63	32,15	2,64	5,71	16,69
2	27,46	43,13	34,41	1,87	9,11	13,72
3	5,37	44,04	34,41	0,66	2,75	7,36
Rata-Rata	26,17	46,27	33,66	1,72	5,86	12,59

Tabel 10 data hasil tegangan dan regangan variasi sudut kampuh v 90° arus 90A

Spesimen	Tegangan (kg/mm ²)			Regangan (%)		
	Yield	Maksimum	Putus	Yield	Maksimum	Putus
1	36,06	50,84	50,26	2,42	5,60	10,21
2	26,79	43,61	34,78	1,98	9,88	15,92
3	13,70	42,97	37,60	1,21	3,08	5,16
Rata-Rata	25,52	45,81	40,88	1,87	6,18	10,43

Tabel 11 data hasil tegangan dan regangan variasi sudut kampuh v 90° arus 100A

Spesimen	Tegangan (kg/mm ²)			Regangan (%)		
	Yield	Maksimum	Putus	Yield	Maksimum	Putus
1	46,29	50,19	38,24	2,75	6,26	10,10
2	42,26	50,64	31,05	2,42	6,48	13,72
3	41,10	49,46	30,24	2,20	6,04	11,86
Rata-Rata	43,21	50,10	33,17	2,45	6,26	11,89



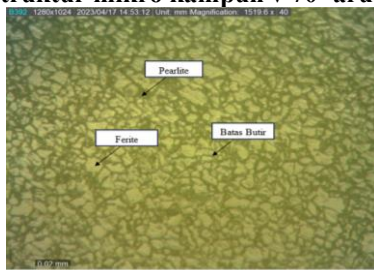
Gambar 9 Garik perbandingan semua variasi

Pada spesimen pengelasan Variasi Sudut Kampuh V 90° Arus 80A, 90A, 100A, nilai tegangan maksimum yang paling tinggi ada pada spesimen kampuh V 90° Arus 100 Ampere dengan nilai rata – rata tegangan maksimum 50,10 kg/mm². Sedangkan untuk nilai tegangan maksimum paling rendah ada pada spesimen 90° Arus 90 Ampere dengan nilai rata – rata tegangan maksimum 45,81 kg/mm². Dari percobaan pengujian diatas maka semakin besar arus yang digunakan maka semakin besar juga tegangan maksimum yang didapatkan.

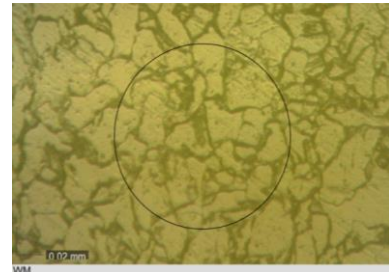
C. Hasil Pengujian Struktur Mikro

Uji struktur mikro kali ini untuk melihat hasil perubahan struktural butiran mikro yang terjadi pada material baja SS400 setelah proses pengelasan selesai. Daerah yang nantinya akan dilihat untuk pengambilan data foto adalah weld metal dan HAZ dengan menggunakan pembesaran mikroskop 1500x.

Pengujian struktur mikro kampuh v 70° arus 80A



(a)



(b)

Gambar 10 foto sampel struktur mikro pada baja SS400 dengan diameter kampuh V 70° kuat arus pengelasan 80A (a); HAZ, (b); weld metal (etsa nital 5% pembesaran 1500x)

Analisa hasil struktur mikro diatas didapatkan data berikut :

$$P = 46 \text{ Titik}$$

$$M = 1500x$$

$$L_T = (\text{Keliling Lingkaran}) = (150 \times \pi) = 471$$

$$P_L = \frac{46}{(471/1500)} = 146,49 / \text{mm}$$

$$L_3 = \frac{1}{N_L} = \frac{1}{P_L} = \frac{1}{146,49} = 0,007$$

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

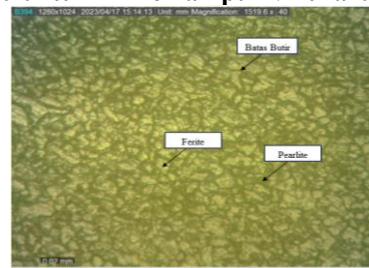
$$G = [-6,646 \log 0,007] - 3,298 = 11,023 \approx 11$$

Setelah mendapatkan nilai G untuk mengetahui berapa diameter butir yang diperoleh dapat dilihat pada tabel grain size number dibawah ini.

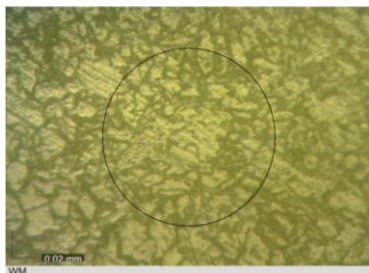
Grain Size No.	N_n , Orains/Unit Area		\bar{A} Average Grain Area		\bar{T} Average Diameter		\bar{T} Mean Intercept		N_n
	No./in. ² at 100X	No./mm ² at 1X	mm ²	µm ²	mm	µm	mm	µm	
00	0.25	3.88	0.2581	259064	0.0090	908.0	0.4525	452.5	2.21
0	0.50	7.75	0.1290	129032	0.0092	909.2	0.3200	320.0	3.12
0.5	0.71	10.96	0.0912	91239	0.0021	202.1	0.2691	269.1	3.72
1.0	1.00	15.00	0.0645	64516	0.0020	204.0	0.2263	226.3	4.42
1.5	1.41	21.52	0.0458	45620	0.0026	263.6	0.1903	190.3	5.26
2.0	2.00	31.00	0.0323	32259	0.0028	281.0	0.1786	178.6	6.05
2.5	2.83	43.84	0.0228	22810	0.0030	300.0	0.1510	151.0	7.43
3.0	4.00	62.00	0.0161	16129	0.0032	320.0	0.1270	127.0	8.84
3.5	5.66	87.68	0.0114	11405	0.0034	340.0	0.0981	98.1	10.51
4.0	8.00	124.00	0.0080	8065	0.0036	360.0	0.0800	80.0	12.50
4.5	11.31	175.36	0.0057	5703	0.0038	380.0	0.0673	67.3	14.87
5.0	16.00	240.00	0.0040	4032	0.0040	400.0	0.0566	56.6	17.68
5.5	22.63	330.73	0.0028	2811	0.0042	420.0	0.0476	47.6	21.02
6.0	32.00	480.00	0.0020	2016	0.0044	440.0	0.0400	40.0	25.00
6.5	45.25	701.45	0.0014	1428	0.0046	460.0	0.0336	33.6	29.73
7.0	64.00	960.00	0.0010	1008	0.0048	480.0	0.0288	28.8	35.36
7.5	90.51	1402.9	0.0007	713	0.0050	500.0	0.0240	24.0	42.04
8.0	126.00	1944.00	0.0005	504	0.0052	520.0	0.0200	20.0	50.00
8.5	181.02	2805.8	0.0003	356	0.0054	540.0	0.0168	16.8	59.46
9.0	256.00	3888.00	0.0002	256	0.0056	560.0	0.0144	14.4	70.71
9.5	362.04	5911.6	0.0001	178	0.0058	580.0	0.0119	11.9	84.09
10.0	512.00	8192.00	0.0001	128	0.0060	600.0	0.0100	10.0	100.00
10.5	724.08	11223.2	0.0000	89.1	0.0062	620.0	0.0084	8.4	118.94
11.0	1024.00	15872.00	0.0000	63.0	0.0064	640.0	0.0071	7.1	141.44
11.5	1448.15	22448.4	0.0000	44.8	0.0066	660.0	0.0060	6.0	168.2
12.0	2048.00	31744.1	0.0000	31.5	0.0068	680.0	0.0050	5.0	200.00
12.5	2896.31	44892.9	0.0000	22.3	0.0070	700.0	0.0042	4.2	237.8
13.0	4096.00	63488.1	0.0000	15.6	0.0072	720.0	0.0035	3.5	292.8
13.5	5752.62	89785.8	0.0000	11.1	0.0074	740.0	0.0030	3.0	336.4
14.0	8192.00	126976.3	0.0000	7.9	0.0076	760.0	0.0025	2.5	400.00

Dapat dilihat dari tabel di atas, hasil dari perhitungan besar butiran pada baja SS400 kampuh V 70° dengan kuat arus 80 Ampere diperoleh grain size number 11 didapatkan besar diameter butir adalah 0,0079 mm apabila dikonversikan ke dalam satuan µm (mikronmeter) maka besar nilai butir adalah sebesar 7,9 µm.

Pengujian struktur mikro kampuh v 70° arus 90A



(a)



(b)

Gambar 11 foto sampel struktur mikro pada baja SS400 dengan diameter kampuh V 70° kuat arus pengelasan 90A (a); HAZ, (b); weld metal (etsa nital 5% pembesaran 1500x)

Analisa hasil struktur mikro diatas didapatkan data berikut :

$$P = 32 \text{ Titik}$$

$$M = 1500x$$

$$L_T = (\text{Keliling Lingkaran}) = (150 \times \pi) = 471$$

$$P_L = \frac{32}{(471/1500)} = 101,91 / \text{mm}$$

$$L_3 = \frac{1}{N_L} = \frac{1}{P_L} = \frac{1}{101,91} = 0,009$$

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

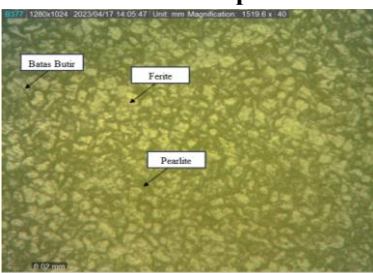
$$G = [-6,646 \log 0,009] - 3,298 = 10,298 \approx 10$$

Setelah mendapatkan nilai G untuk mengetahui berapa diameter butir yang diperoleh dapat dilihat pada tabel grain size number dibawah ini.

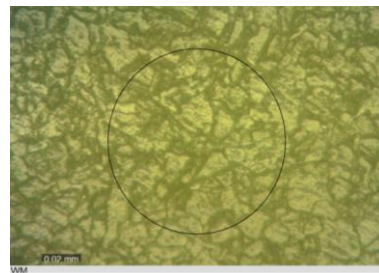
Grain Size No.	\bar{N}_V Grains/Unit Area		\bar{A} Average Grain Area		\bar{D} Average Diameter		\bar{T} Mean Intercept		\bar{N}_L
	No./in. ² at 100X	No./mm ² at 1X	mm ²	μm^2	mm	μm	mm	μm	
0.0	0.25	3.98	0.2581	258064	0.5080	508.0	0.4525	452.5	2.21
0	0.50	7.75	0.1290	129032	0.3592	359.2	0.3200	320.0	3.12
0.5	0.71	10.96	0.0912	91239	0.3021	302.1	0.2691	269.1	3.72
1.0	1.00	15.50	0.0645	64516	0.2540	254.0	0.2363	236.3	4.42
1.5	1.41	21.32	0.0458	45520	0.2136	213.6	0.1903	190.3	5.26
2.0	2.00	31.00	0.0323	32258	0.1786	178.6	0.1600	160.0	6.25
2.5	2.63	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	0.1068	106.8	0.0951	95.1	10.51
4.0	8.00	124.00	0.0086	8605	0.0898	89.8	0.0800	80.0	12.50
4.5	11.31	175.36	0.00670	6703	0.0755	75.5	0.0673	67.3	14.87
5.0	16.00	248.00	0.00403	4032	0.0635	63.5	0.0566	56.6	17.68
5.5	22.63	350.73	0.00285	2851	0.0534	53.4	0.0476	47.6	21.32
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	952.00	0.00101	1008	0.0318	31.8	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	120.00	1884.0	0.00050	504	0.0225	22.5	0.0200	20.0	50.00
8.5	161.02	2605.8	0.00036	358	0.0189	18.9	0.0168	16.8	59.46
9.0	216.00	3669.0	0.00025	252	0.0159	15.9	0.0141	14.1	70.71
9.5	292.04	5611.6	0.00018	178	0.0133	13.3	0.0119	11.9	84.09
10.0	400.00	7936.0	0.00013	126	0.0112	11.2	0.0100	10.0	100.00
10.5	541.96	11222.7	0.00009	89.1	0.0094	9.4	0.0084	8.4	119.9
11.0	729.00	15872.0	0.000063	63.0	0.0079	7.9	0.0071	7.1	141.4
11.5	1000.00	22444.4	0.000045	44.8	0.0067	6.7	0.0060	6.0	168.2
12.0	1360.00	31744.1	0.000032	31.5	0.0056	5.6	0.0050	5.0	200.0
12.5	1848.00	44892.9	0.000022	22.3	0.0047	4.7	0.0042	4.2	237.8
13.0	2500.00	63488.1	0.000016	15.8	0.0040	4.0	0.0035	3.5	282.8
13.5	3360.00	89785.8	0.000011	11.1	0.0033	3.3	0.0030	3.0	336.4
14.0	4500.00	128976.3	0.000008	7.9	0.0028	2.8	0.0025	2.5	400.0

Dapat dilihat dari tabel di atas, hasil dari perhitungan besar butiran pada baja SS400 kampuh V 70° dengan kuat arus 90 Ampere diperoleh grain size number 10 didapatkan besar diameter butir adalah 0,0112 mm apabila dikonversikan ke dalam satuan μm (mikronmeter) maka besar nilai butir adalah sebesar 11,2 μm .

Pengujian struktur mikro kampuh v 70° arus 100A



(a)



(b)

Gambar 12 foto sampel struktur mikro pada baja SS400 dengan diameter kampuh V 70° kuat arus pengelasan 100A (a); HAZ, (b); weld metal (etsa nital 5% pembesaran 1500x)

Analisa hasil struktur mikro diatas didapatkan data berikut :

$$P = 50 \text{ Titik}$$

$$M = 1500x$$

$$L_T = (\text{Keliling Lingkaran}) = (150 \times \pi) = 471$$

$$P_L = \frac{50}{(471/1500)} = 159,23 / \text{mm}$$

$$L_3 = \frac{1}{N_L} = \frac{1}{P_L} = \frac{1}{159,23} = 0,006$$

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

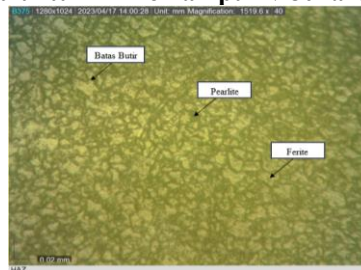
$$G = [-6,646 \log 0,006] - 3,298 = 11,468 \approx 11,5$$

Setelah mendapatkan nilai G untuk mengetahui berapa diameter butir yang diperoleh dapat dilihat pada tabel grain size number dibawah ini.

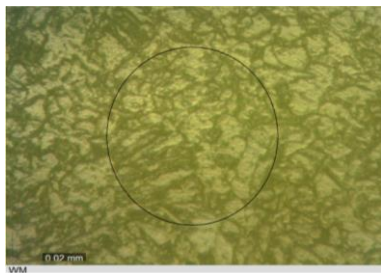
Grain Size No.	\bar{N}_V Grains/Unit Area		\bar{A} Average Grain Area		\bar{D} Average Diameter		\bar{T} Mean Intercept		\bar{N}_L
	No./in. ² at 100X	No./mm ² at 1X	mm ²	μm^2	mm	μm	mm	μm	
0.0	0.25	3.98	0.2581	258064	0.5080	508.0	0.4525	452.5	2.21
0	0.50	7.75	0.1290	129032	0.3592	359.2	0.3200	320.0	3.12
0.5	0.71	10.96	0.0912	91239	0.3021	302.1	0.2691	269.1	3.72
1.0	1.00	15.50	0.0645	64516	0.2540	254.0	0.2363	236.3	4.42
1.5	1.41	21.32	0.0458	45520	0.2136	213.6	0.1903	190.3	5.26
2.0	2.00	31.00	0.0323	32258	0.1786	178.6	0.1600	160.0	6.25
2.5	2.63	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	0.1068	106.8	0.0951	95.1	10.51
4.0	8.00	124.00	0.0086	8605	0.0898	89.8	0.0800	80.0	12.50
4.5	11.31	175.36	0.00670	6703	0.0755	75.5	0.0673	67.3	14.87
5.0	16.00	248.00	0.00403	4032	0.0635	63.5	0.0566	56.6	17.68
5.5	22.63	350.73	0.00285	2851	0.0534	53.4	0.0476	47.6	21.32
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	952.00	0.00101	1008	0.0318	31.8	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	120.00	1884.0	0.00050	504	0.0225	22.5	0.0200	20.0	50.00
8.5	161.02	2605.8	0.00036	358	0.0189	18.9	0.0168	16.8	59.46
9.0	216.00	3669.0	0.00025	252	0.0159	15.9	0.0141	14.1	70.71
9.5	292.04	5611.6	0.00018	178	0.0133	13.3	0.0119	11.9	84.09
10.0	400.00	7936.0	0.00013	126	0.0112	11.2	0.0100	10.0	100.00
10.5	541.96	11222.7	0.00009	89.1	0.0094	9.4	0.0084	8.4	119.9
11.0	729.00	15872.0	0.000063	63.0	0.0079	7.9	0.0071	7.1	141.4
11.5	1000.00	22444.4	0.000045	44.8	0.0067	6.7	0.0060	6.0	168.2
12.0	1360.00	31744.1	0.000032	31.5	0.0056	5.6	0.0050	5.0	200.0
12.5	1848.00	44892.9	0.000022	22.3	0.0047	4.7	0.0042	4.2	237.8
13.0	2500.00	63488.1	0.000016	15.8	0.0040	4.0	0.0035	3.5	282.8
13.5	3360.00	89785.8	0.000011	11.1	0.0033	3.3	0.0030	3.0	336.4
14.0	4500.00	128976.3	0.000008	7.9	0.0028	2.8	0.0025	2.5	400.0

Dapat dilihat dari tabel di atas, hasil dari perhitungan besar butiran pada baja SS400 kampuh V 70° dengan kuat arus 100 Ampere diperoleh grain size number 11,5 didapatkan besar diameter butir adalah 0,0067 mm apabila dikonversikan ke dalam satuan μm (mikronmeter) maka besar nilai butir adalah sebesar 6,7 μm .

Pengujian struktur mikro kampuh v 80° arus 80A



(a)



(b)

Gambar 13 foto sampel struktur mikro pada baja SS400 dengan diameter kampuh V 80° kuat arus pengelasan 80A (a); HAZ, (b); weld metal (etsa nital 5% pembesaran 1500x)

Analisa hasil struktur mikro diatas didapatkan data berikut :

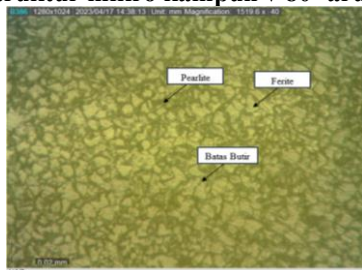
$$\begin{aligned}
 P &= 40 \text{ Titik} \\
 M &= 1500x \\
 L_T &= (\text{Keliling Lingkaran}) = (150 \times \pi) = 471 \\
 P_L &= \frac{40}{(471/1500)} = 127,38 / \text{mm} \\
 L_3 &= \frac{1}{N_L} = \frac{1}{P_L} = \frac{1}{127,38} = 0,007 \\
 G &= [-6,646 \log L_3] - 3,298 \\
 G &= [-6,646 \log 0,007] - 3,298 \\
 &= 10,711 \approx 11
 \end{aligned}$$

Setelah mendapatkan nilai G untuk mengetahui berapa diameter butir yang diperoleh dapat dilihat pada tabel grain size number dibawah ini.

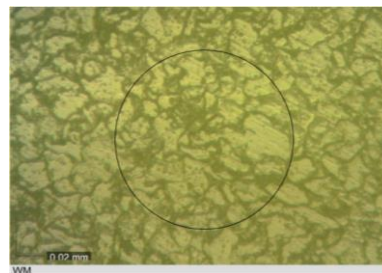
Grain Size No.	N _v Grains/Unit Area		A Average Grain Area		D Average Diameter		T Mean Intercept		N _v
	No./in. ² at 100X	No./mm ² at 1X	mm ²	µm ²	mm	µm	mm	µm	
00	0.25	3.88	0.2591	259064	0.5080	508.0	0.4525	452.5	2.21
0	0.50	7.75	0.1290	129032	0.3592	359.2	0.3200	320.0	3.12
0.5	0.71	10.96	0.0912	91239	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	0.0458	45820	0.2136	213.6	0.1903	190.3	5.26
2.0	2.00	31.00	0.0323	32266	0.1786	178.6	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	0.1068	106.8	0.0951	95.1	10.51
4.0	8.00	124.00	0.0080	8065	0.0898	89.8	0.0800	80.0	12.50
4.5	11.31	175.36	0.00570	5703	0.0765	76.5	0.0673	67.3	14.87
5.0	16.00	248.00	0.00403	4032	0.0635	63.5	0.0566	56.6	17.68
5.5	22.63	350.73	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	962.00	0.00101	1008	0.0315	31.5	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	126.00	1894.0	0.00050	504	0.0225	22.5	0.0200	20.0	50.00
8.5	181.02	2605.8	0.00036	358	0.0189	18.9	0.0168	16.8	59.46
9.0	256.00	3668.0	0.00025	252	0.0159	15.9	0.0141	14.1	70.71
9.5	362.04	5011.6	0.00018	178	0.0133	13.3	0.0119	11.9	84.09
10.0	512.00	7936.0	0.00013	126	0.0112	11.2	0.0100	10.0	100.00
10.5	724.08	11233.2	0.00009	89.1	0.0094	9.4	0.0084	8.4	118.9
11.0	1024.00	15872.0	0.000063	63.0	0.0079	7.9	0.0071	7.1	141.4
11.5	1448.15	22446.4	0.000045	44.8	0.0067	6.7	0.0060	6.0	168.2
12.0	2048.00	31744.1	0.000032	31.5	0.0056	5.6	0.0050	5.0	200.0
12.5	2896.31	44892.9	0.000022	22.3	0.0047	4.7	0.0042	4.2	237.8
13.0	4096.00	63489.1	0.000016	15.8	0.0040	4.0	0.0035	3.5	292.9
13.5	5752.62	89785.8	0.000011	11.1	0.0033	3.3	0.0030	3.0	336.4
14.0	8192.00	126976.3	0.000008	7.9	0.0028	2.8	0.0025	2.5	400.0

Dapat dilihat dari tabel di atas, hasil dari perhitungan besar butiran pada baja SS400 kampuh V 80° dengan kuat arus 80 Ampere diperoleh grain size number 11 didapatkan besar diameter butir adalah 0,0079 mm apabila dikonversikan ke dalam satuan µm (mikronmeter) maka besar nilai butir adalah sebesar 7,9 µm.

Pengujian struktur mikro kampuh v 80° arus 90A



(a)



(b)

Gambar 14 foto sampel struktur mikro pada baja SS400 dengan diameter kampuh V 80° kuat arus pengelasan 90A (a); HAZ, (b); weld metal (etsa nital 5% pembesaran 1500x)

Analisa hasil struktur mikro diatas didapatkan data berikut :

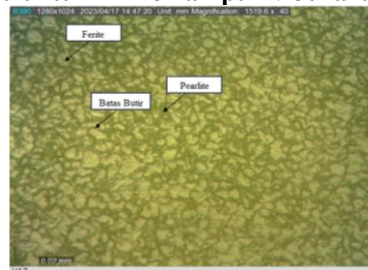
$$\begin{aligned}
 P &= 28 \text{ Titik} \\
 M &= 1500x \\
 L_T &= (\text{Keliling Lingkaran}) = (150 \times \pi) = 471 \\
 P_L &= \frac{28}{(471/1500)} = 133,75 / \text{mm} \\
 L_3 &= \frac{1}{N_L} = \frac{1}{P_L} = \frac{1}{133,75} = 0,011 \\
 G &= [-6,646 \log L_3] - 3,298 \\
 G &= [-6,646 \log 0,011] - 3,298 \\
 &= 9,718 \approx 10
 \end{aligned}$$

Setelah mendapatkan nilai G untuk mengetahui berapa diameter butir yang diperoleh dapat dilihat pada tabel grain size number dibawah ini.

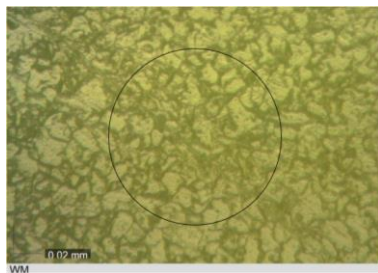
Grain Size No.	N _v Grains/Unit Area		A Average Grain Area		D Average Diameter		T Mean Intercept		N _v
	No./in. ² at 100X	No./mm ² at 1X	mm ²	µm ²	mm	µm	mm	µm	
00	0.25	3.88	0.2591	259064	0.5080	508.0	0.4525	452.5	2.21
0	0.50	7.75	0.1290	129032	0.3592	359.2	0.3200	320.0	3.12
0.5	0.71	10.96	0.0912	91239	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	0.0458	45820	0.2136	213.6	0.1903	190.3	5.26
2.0	2.00	31.00	0.0323	32266	0.1786	178.6	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	0.1068	106.8	0.0951	95.1	10.51
4.0	8.00	124.00	0.0080	8065	0.0898	89.8	0.0800	80.0	12.50
4.5	11.31	175.36	0.00570	5703	0.0765	76.5	0.0673	67.3	14.87
5.0	16.00	248.00	0.00403	4032	0.0635	63.5	0.0566	56.6	17.68
5.5	22.63	350.73	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	962.00	0.00101	1008	0.0315	31.5	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	126.00	1894.0	0.00050	504	0.0225	22.5	0.0200	20.0	50.00
8.5	181.02	2605.8	0.00036	358	0.0189	18.9	0.0168	16.8	59.46
9.0	256.00	3668.0	0.00025	252	0.0159	15.9	0.0141	14.1	70.71
9.5	362.04	5011.6	0.00018	178	0.0133	13.3	0.0119	11.9	84.09
10.0	512.00	7936.0	0.00013	126	0.0112	11.2	0.0100	10.0	100.00
10.5	724.08	11233.2	0.00009	89.1	0.0094	9.4	0.0084	8.4	118.9
11.0	1024.00	15872.0	0.000063	63.0	0.0079	7.9	0.0071	7.1	141.4
11.5	1448.15	22446.4	0.000045	44.8	0.0067	6.7	0.0060	6.0	168.2
12.0	2048.00	31744.1	0.000032	31.5	0.0056	5.6	0.0050	5.0	200.0
12.5	2896.31	44892.9	0.000022	22.3	0.0047	4.7	0.0042	4.2	237.8
13.0	4096.00	63489.1	0.000016	15.8	0.0040	4.0	0.0035	3.5	292.9
13.5	5752.62	89785.8	0.000011	11.1	0.0033	3.3	0.0030	3.0	336.4
14.0	8192.00	126976.3	0.000008	7.9	0.0028	2.8	0.0025	2.5	400.0

Dapat dilihat dari tabel di atas, hasil dari perhitungan besar butiran pada baja SS400 kampuh V 80° dengan kuat arus 90 Ampere diperoleh grain size number 10 didapatkan besar diameter butir adalah 0,0112 mm apabila dikonversikan ke dalam satuan µm (mikronmeter) maka besar nilai butir adalah sebesar 11,2 µm.

Pengujian struktur mikro kampuh v 80° arus 100A



(a)



(b)

Gambar 15 foto sampel struktur mikro pada baja SS400 dengan diameter kampuh V 80° kuat arus pengelasan 100A (a); HAZ, (b); weld metal (etsa nital 5% pembesaran 1500x)

Analisa hasil struktur mikro diatas didapatkan data berikut :

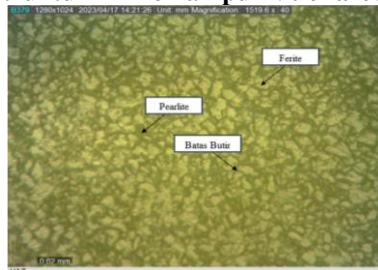
$$\begin{aligned}
 P &= 46 \text{ Titik} \\
 M &= 1500x \\
 L_T &= (\text{Keliling Lingkaran}) = (150 \times \pi) = 471 \\
 P_L &= \frac{46}{(471/1500)} = 146,49 / \text{mm} \\
 L_3 &= \frac{1}{N_L} = \frac{1}{P_L} = \frac{1}{146,49} = 0,009 \\
 G &= [-6,646 \log L_3] - 3,298 \\
 G &= [-6,646 \log 0,009] - 3,298 \\
 &= 11,107 \approx 11
 \end{aligned}$$

Setelah mendapatkan nilai G untuk mengetahui berapa diameter butir yang diperoleh dapat dilihat pada tabel grain size number dibawah ini.

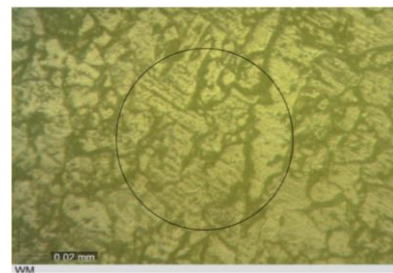
Grain Size No.	N_A Grains/Unit Area		\bar{A} Average Grain Area		\bar{T} Average Diameter		\bar{T} Mean Intercept		N_V
	No./in. ² at 100X	No./mm ² at 1X	mm ²	μm^2	mm	μm	mm	μm	
00	0,25	3,88	0,2581	258064	0,5080	508,0	0,4525	452,5	2,21
0	0,50	7,75	0,1290	129032	0,3592	359,2	0,3200	320,0	3,12
0,5	0,71	10,66	0,0912	91239	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	21,52	0,0456	45620	0,2136	213,6	0,1903	190,3	5,26
2,0	2,00	31,00	0,0323	32268	0,1786	178,6	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	0,1068	106,8	0,0951	95,1	10,51
4,0	8,00	124,00	0,0080	8065	0,0898	89,8	0,0800	80,0	12,50
4,5	11,31	175,36	0,0057	5703	0,0755	75,5	0,0673	67,3	14,87
5,0	16,00	248,00	0,0040	4032	0,0635	63,5	0,0566	56,6	17,68
5,5	22,63	350,73	0,0029	2951	0,0534	53,4	0,0476	47,6	21,02
6,0	32,00	496,00	0,0020	2016	0,0449	44,9	0,0400	40,0	25,00
6,5	45,25	701,45	0,0014	1426	0,0378	37,8	0,0336	33,6	29,73
7,0	64,00	962,00	0,0010	1008	0,0318	31,8	0,0283	28,3	35,36
7,5	90,51	1402,9	0,0007	713	0,0267	26,7	0,0238	23,8	42,04
8,0	126,00	1984,0	0,0005	504	0,0225	22,5	0,0200	20,0	50,00
8,5	180,00	2805,8	0,0003	356	0,0189	18,9	0,0168	16,8	59,46
9,0	252,00	3968,0	0,0002	252	0,0159	15,9	0,0141	14,1	70,71
9,5	362,04	5911,6	0,0001	179	0,0133	13,3	0,0119	11,9	84,09
10,0	512,00	8256,0	0,0001	128	0,0112	11,2	0,0100	10,0	100,00
10,5	724,08	11233,2	0,00008	89,1	0,0094	9,4	0,0084	8,4	119,9
11,0	1024,00	15872,0	0,00006	63,0	0,0079	7,9	0,0071	7,1	141,4
11,5	1448,15	22446,4	0,00004	44,8	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	2896,31	44892,9	0,00002	22,3	0,0047	4,7	0,0042	4,2	237,8
13,0	4096,00	63680,1	0,00001	15,8	0,0040	4,0	0,0035	3,5	282,9
13,5	5752,62	89785,8	0,00001	11,1	0,0033	3,3	0,0030	3,0	336,4
14,0	8192,00	126976,3	0,000008	7,9	0,0028	2,8	0,0025	2,5	400,0

Dapat dilihat dari tabel di atas, hasil dari perhitungan besar butiran pada baja SS400 kampuh V 80° dengan kuat arus 100 Ampere diperoleh grain size number 11 didapatkan besar diameter butir adalah 0,0079 mm apabila dikonversikan ke dalam satuan μm (mikronmeter) maka besar nilai butir adalah sebesar 7,9 μm .

Pengujian struktur mikro kampuh V 90° arus 80A



(a)



(b)

Gambar 16 foto sampel struktur mikro pada baja SS400 dengan diameter kampuh V 90° kuat arus pengelasan 80A (a); HAZ, (b); weld metal (Etsa Nital 5% Pembesaran 1500x)

Analisa hasil struktur mikro diatas didapatkan data berikut :

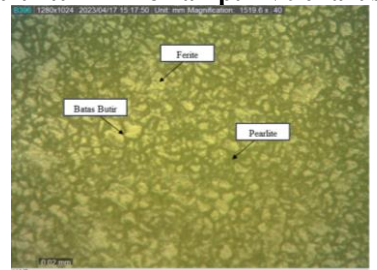
$$\begin{aligned}
 P &= 39 \text{ Titik} \\
 M &= 1500x \\
 L_T &= (\text{Keliling Lingkaran}) = (150 \times \pi) = 471 \\
 P_L &= \frac{39}{(471/1500)} = 124,20 / \text{mm} \\
 L_3 &= \frac{1}{N_L} = \frac{1}{P_L} = \frac{1}{124,20} = 0,008 \\
 G &= [-6,646 \log L_3] - 3,298 \\
 G &= [-6,646 \log 0,008] - 3,298 \\
 &= 10,638 \approx 10,5
 \end{aligned}$$

Setelah mendapatkan nilai G untuk mengetahui berapa diameter butir yang diperoleh dapat dilihat pada tabel grain size number dibawah ini.

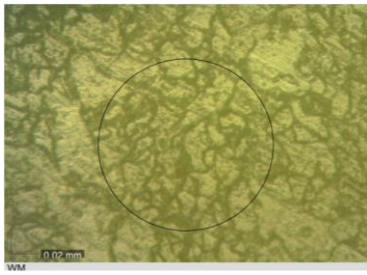
Grain Size No.	N_A Grains/Unit Area		\bar{A} Average Grain Area		\bar{T} Average Diameter		\bar{T} Mean Intercept		N_V
	No./in. ² at 100X	No./mm ² at 1X	mm ²	μm^2	mm	μm	mm	μm	
00	0,25	3,88	0,2581	258064	0,5080	508,0	0,4525	452,5	2,21
0	0,50	7,75	0,1290	129032	0,3592	359,2	0,3200	320,0	3,12
0,5	0,71	10,66	0,0912	91239	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	21,52	0,0456	45620	0,2136	213,6	0,1903	190,3	5,26
2,0	2,00	31,00	0,0323	32268	0,1786	178,6	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	0,1068	106,8	0,0951	95,1	10,51
4,0	8,00	124,00	0,0080	8065	0,0898	89,8	0,0800	80,0	12,50
4,5	11,31	175,36	0,0057	5703	0,0755	75,5	0,0673	67,3	14,87
5,0	16,00	248,00	0,0040	4032	0,0635	63,5	0,0566	56,6	17,68
5,5	22,63	350,73	0,0029	2951	0,0534	53,4	0,0476	47,6	21,02
6,0	32,00	496,00	0,0020	2016	0,0449	44,9	0,0400	40,0	25,00
6,5	45,25	701,45	0,0014	1426	0,0378	37,8	0,0336	33,6	29,73
7,0	64,00	962,00	0,0010	1008	0,0318	31,8	0,0283	28,3	35,36
7,5	90,51	1402,9	0,0007	713	0,0267	26,7	0,0238	23,8	42,04
8,0	126,00	1984,0	0,0005	504	0,0225	22,5	0,0200	20,0	50,00
8,5	180,00	2805,8	0,0003	356	0,0189	18,9	0,0168	16,8	59,46
9,0	252,00	3968,0	0,0002	252	0,0159	15,9	0,0141	14,1	70,71
9,5	362,04	5911,6	0,0001	179	0,0133	13,3	0,0119	11,9	84,09
10,0	512,00	8256,0	0,0001	128	0,0112	11,2	0,0100	10,0	100,00
10,5	724,08	11233,2	0,00008	89,1	0,0094	9,4	0,0084	8,4	119,9
11,0	1024,00	15872,0	0,00006	63,0	0,0079	7,9	0,0071	7,1	141,4
11,5	1448,15	22446,4	0,00004	44,8	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	2896,31	44892,9	0,00002	22,3	0,0047	4,7	0,0042	4,2	237,8
13,0	4096,00	63680,1	0,00001	15,8	0,0040	4,0	0,0035	3,5	282,9
13,5	5752,62	89785,8	0,00001	11,1	0,0033	3,3	0,0030	3,0	336,4
14,0	8192,00	126976,3	0,000008	7,9	0,0028	2,8	0,0025	2,5	400,0

Dapat dilihat dari tabel di atas, hasil dari perhitungan besar butiran pada baja SS400 kampuh V 90° dengan kuat arus 80 Ampere diperoleh grain size number 10,5 didapatkan besar diameter butir adalah 0,0094 mm apabila dikonversikan ke dalam satuan μm (mikronmeter) maka besar nilai butir adalah sebesar 9,4 μm .

Pengujian struktur mikro kampuh V 90° arus 90A



(a)



(b)

Gambar 17 foto sampel struktur mikro pada baja SS400 dengan diameter kampuh V 90° kuat arus pengelasan 90A (a); HAZ, (b); weld metal (Etsa Nital 5% Pembesaran 1500x)

Analisa hasil struktur mikro diatas didapatkan data berikut :

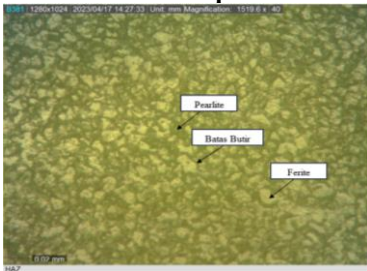
$$\begin{aligned}
 P &= 34 \text{ Titik} \\
 M &= 1500x \\
 L_T &= (\text{Keliling Lingkaran}) = (150 \times \pi) = 471 \\
 P_L &= \frac{34}{(471/1500)} = 108,28 / \text{mm} \\
 L_3 &= \frac{1}{N_L} = \frac{1}{P_L} = \frac{1}{108,28} = 0,009 \\
 G &= [-6,646 \log L_3] - 3,298 \\
 G &= [-6,646 \log 0,009] - 3,298 \\
 &= 10,298 \approx 10
 \end{aligned}$$

Setelah mendapatkan nilai G untuk mengetahui berapa diameter butir yang diperoleh dapat dilihat pada tabel grain size number dibawah ini.

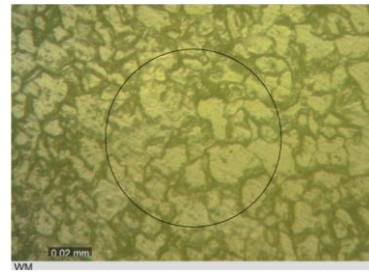
Grain Size No. G	N _G Grains/Unit Area		A _G Average Grain Area		D _G Average Diameter		Z _G Mean Intercept		N _L
	No./in. ² at 100X	No./mm ² at 1X	mm ²	µm ²	mm	µm	mm	µm	
0.0	0.25	3.88	0.2581	259064	0.5080	508.0	0.4525	452.5	2.21
0.5	0.71	10.96	0.0912	91239	0.3021	302.1	0.2691	269.1	3.72
1.0	1.50	15.50	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	32258	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	0.1068	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	248.00	0.00403	4032	0.0635	63.5	0.0566	56.6	17.68
5.5	22.63	350.73	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	1008	0.0318	31.8	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	2805.9	0.00036	356	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	5611.6	0.00018	178	0.0133	13.3	0.0119	11.9	84.09
10.0	512.00	7936.0	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	0.000063	63.0	0.0079	7.9	0.0071	7.1	141.4
11.5	1448.15	22446.4	0.000045	44.6	0.0067	6.7	0.0060	6.0	168.2
12.0	2048.00	31744.1	0.000032	31.5	0.0056	5.6	0.0050	5.0	200.0
12.5	2896.31	44832.9	0.000022	22.3	0.0047	4.7	0.0042	4.2	237.8
13.0	4096.00	63688.1	0.000016	15.8	0.0040	4.0	0.0035	3.5	282.8
13.5	5792.62	89795.8	0.000011	11.1	0.0033	3.3	0.0030	3.0	336.4
14.0	8192.00	126976.3	0.000008	7.9	0.0028	2.8	0.0025	2.5	400.0

Dapat dilihat dari tabel di atas, hasil dari perhitungan besar butiran pada baja SS400 kampuh V 90° dengan kuat arus 90 Ampere diperoleh grain size number 10 didapatkan besar diameter butir adalah 0,0112 mm apabila dikonversikan ke dalam satuan µm (mikronmeter) maka besar nilai butir adalah sebesar 11,2 µm.

Pengujian struktur mikro kampuh V 90° arus 100A



(a)



(b)

Gambar 18 foto sampel struktur mikro pada baja SS400 dengan diameter kampuh V 90° kuat arus pengelasan 80A (a); HAZ, (b); weld metal (Etsa Nital 5% Pembesaran 1500x)

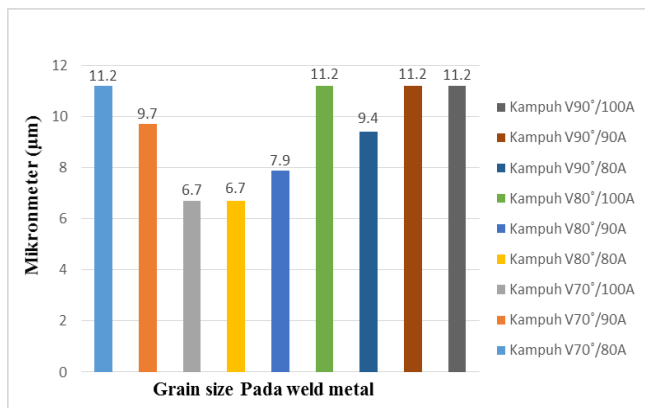
Analisa hasil struktur mikro diatas didapatkan data berikut :

$$\begin{aligned}
 P &= 44 \text{ Titik} \\
 M &= 1500x \\
 L_T &= (\text{Keliling Lingkaran}) = (150 \times \pi) = 471 \\
 P_L &= \frac{44}{(471/1500)} = 140,12 / \text{mm} \\
 L_3 &= \frac{1}{N_L} = \frac{1}{P_L} = \frac{1}{140,12} = 0,007 \\
 G &= [-6,646 \log L_3] - 3,298 \\
 G &= [-6,646 \log 0,007] - 3,298 \\
 &= 10,96 \approx 11
 \end{aligned}$$

Setelah mendapatkan nilai G untuk mengetahui berapa diameter butir yang diperoleh dapat dilihat pada tabel grain size number dibawah ini.

Grain Size No. G	N _G Grains/Unit Area		A _G Average Grain Area		D _G Average Diameter		Z _G Mean Intercept		N _L
	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	259064	0.5080	508.0	0.4525	452.5	2.21
0.5	0.71	10.96	0.0912	91239	0.3021	302.1	0.2691	269.1	3.72
1.0	1.50	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	32258	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	0.1068	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	248.00	0.00403	4032	0.0635	63.5	0.0566	56.6	17.68
5.5	22.63	350.73	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	1008	0.0318	31.8	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	2805.9	0.00036	356	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	5611.6	0.00018	178	0.0133	13.3	0.0119	11.9	84.09
10.0	512.00	7936.0	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	0.000063	63.0	0.0079	7.9	0.0071	7.1	141.4
11.5	1448.15	22446.4	0.000045	44.6	0.0067	6.7	0.0060	6.0	168.2
12.0	2048.00	31744.1	0.000032	31.5	0.0056	5.6	0.0050	5.0	200.0
12.5	2896.31	44832.9	0.000022	22.3	0.0047	4.7	0.0042	4.2	237.8
13.0	4096.00	63688.1	0.000016	15.8	0.0040	4.0	0.0035	3.5	282.8
13.5	5792.62	89795.8	0.000011	11.1	0.0033	3.3	0.0030	3.0	336.4
14.0	8192.00	126976.3	0.000008	7.9	0.0028	2.8	0.0025	2.5	400.0

Dapat dilihat dari tabel di atas, hasil dari perhitungan besar butiran pada baja SS400 kampuh V 90° dengan kuat arus 100 Ampere diperoleh grain size number 11 didapatkan besar diameter butir adalah 0,0079 mm apabila dikonversikan ke dalam satuan µm (mikronmeter) maka besar nilai butir adalah sebesar 7,9 µm.



Gambar19 Grafik Perbandingan besar butir pada Weld Metal

Dapat dilihat pada tabel *grain size number* ASTM E – 112 nilai dari hasil perhitungan besar butir pada material baja SS 400 di area Weld Metal dengan variasi kampuh V 70°, 80°, 90° dengan kuat arus 80, 90, 100 Ampere, diperoleh hasil nomor *Grain size* paling besar 11,2 dengan besar diameter butir 0,0112 mm dan didapatkan juga hasil nomor *Grain size* paling kecil 6,7 dengan besar diameter butir 0,0067 mm. Butir yang membesar mengakibatkan menurunnya nilai kekuatan pada material tersebut.

V. KESIMPULAN

Dari hasil analisa data diatas pengaruh diameter kampuh dan arus pada pengelasan baja SS400, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Dari Hasil Pengujian NDT (Dye penetrant), jumlah cacat paling banyak ada pada variasi sudut kampuh V 70° arus 100 A sebanyak 5 titik, dan sudut kampuh V 90° arus 100 A yaitu sebanyak 5 titik dengan jenis cacat las porosity dan spatter, disebabkan karena terlalu besar arus yang digunakan mengakibatkan terjadinya percikan logam las yang banyak. Sedangkan untuk jumlah cacat las yang paling sedikit ada pada variasi sudut kampuh V 90° arus 90 A dengan tidak adanya jumlah cacat pada spesimen tersebut.

2. Dari hasil pengujian Tarik, nilai kekuatan tarik tertinggi ada pada variasi sudut kampuh 70° Arus 100 Ampere dengan nilai tegangan maksimum rata – rata 52,29 kg/mm² dengan nilai regangan 6,29 %. Dan untuk nilai terendah didapat pada variasi sudut kampuh 80° Arus 90 Ampere dengan nilai tegangan maksimum rata – rata 44,01 kg/mm² dengan nilai regangan 6,18 %.

Untuk Sudut kampuh yang semakin kecil akan semakin kuat untuk sambungan pengelasan dan semakin besar sudut kampuh akan semakin lemah untuk sambungan pengelasan.

Jadi arus 100 Ampere bisa mempengaruhi penetrasi dan kecepatan pencairan logam las pada proses pengelasan dengan merata dan dapat membuat kekuatan material semakin ulet. Sedangkan untuk arus 90 Ampere penetrasi dan kecepatan pencairan logam las rendah, hal ini membuat proses pengelasan tidak merata dan membuat kekuatan material getas.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa variasi kampuh dan arus harus disesuaikan sesuai dengan standar atau spesifikasi pengelasannya.

3. Dari hasil pengujian struktur mikro, nilai besar butir pada material baja SS 400 di area Weld Metal dengan variasi kampuh V 70°, 80°, 90° dengan kuat arus 80, 90, 100 Ampere, diperoleh hasil nomor *Grain size* paling besar 11,2 dengan besar diameter butir 0,0112 mm dan didapatkan juga hasil nomor *Grain size* paling kecil 6,7 dengan besar diameter butir 0,0067 mm. Butir yang membesar mengakibatkan menurunnya nilai kekuatan pada material tersebut.

Saran

1. Gunakan APD atau peralatan sefty pada saat proses pengelasan dan pembuatan spesimen agar mengurangi tingkat bahaya dan kecelakaan kerja pada saat proses pengelasan dan pembuatan spesimen berlangsung.

2. Pada penelitian ini harus diperhatikan syarat dan ketentuan yang diberikan dalam pengujian struktur mikro agar tidak terjadi kesalahan.

REFERENSI

- [1] AWS (American Welding Society) An American Nation Standart D1.1, 2015, Structural Welding Code – Steel.
- [2] ASTM International (E8/E8M-04). 2010. Standard Test Methods For Tension Testing Of Metallic Materials. United States Of American.
- [3] Fenoria, P., 2010. Pengaruh Variasi Kuat Arus dan Jarak Pengelasan. Palembang.
- [4] Santoso, J., 2006. Pengaruh Arus Pengelasan Terhadap Kekuatan Tarik dan Ketangguhan Las SMAW Dengan Elektroda E7018. Universitas Negeri Semarang.
- [5] Setiawan, F., 2016. Pengaruh Variasi Sudut Kampuh V dan Kuat Arus Dengan Las SMAW Pada Baja A36 Terhadap Sifat Mekanik. Jurnal Teknik Mesin Umsida
- [6] Wiryosumarto, Harsono dan Okumura, Toshie., 1996. Teknologi Pengelasan Logam. Jakarta: Pradnya Paramita.
- [7] Didik Setiawan, I., 2019. Analisa Cacat Las Pada Pengelasan SMAW BUTT JOINT dengan Variasi Arus. JTM- Jurnal Teknik Mesin, Volume 2 no 2, pp. 53-62.
- [8] Romadhoni, S. M., 2016. Job Sheet Pengujian Tak Merusak (Non Destructive Testing). Teknik Perkapalan. Bengkalis Riau..
- [9] Santoso, S. & H., 2015. Pengaruh Kuat Arus Listrik Pengelasan Terhadap Kekuatan Tarik dan Struktur Mikro Las SMAW dengan Elektroda E7016. Jurnal Teknik Mesin, Volume 1, pp. 56-64.
- [10] Romadhoni, I. F., 2021. Studi Pengaruh Arus Pengelasan SMAW Terhadap Kekuatan Tarik dan Cacat Pengelasan Pada Baja ST 42. INVENTOR, Journal Of Sciece And Technology, Volume 2 No 1, 5-10.