

Pengaruh Variasi Diameter Elektroda E7018 Terhadap Kekuatan Tarik, Kekerasan, dan Struktur Mikro Pengelasan pada Baja Karbon Rendah Jenis SS400 dengan Metode SMAW

Rizal Abdul Azis¹⁾, Suharno²⁾, Herman Saputro³⁾

^{1),2),3)} Pendidikan Teknik Mesin, Universitas Sebelas Maret
e-mail: suharno71_ptm@uns.ac.id

Abstrak

Pengelasan logam dengan metode pengelasan memiliki kelemahan antara lain turunnya kekuatan bahan dan akibat tegangan sisa, serta adanya retak akibat dari proses pengelasan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi diameter elektroda E7018 terhadap kekuatan tarik, kekerasan, dan mikrostruktur pada baja paduan SS400 sebelum (bahan baku) dan setelah pengelasan menggunakan metode pengelasan menggunakan metode Shielded Metal Arc Welding (SMAW). Penelitian ini menggunakan metode eksperimen. Teknik analisis data yang digunakan adalah deskriptif komparatif. Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa hasil uji struktur mikro menunjukkan peningkatan struktur perlit setelah pengelasan. Pada bahan baku, struktur ferit terlihat lazim tetapi pada hasil pengelasan menggunakan metode pengelasan SMAW dengan variasi diameter elektroda 2,6 mm, 3,2 mm, dan 4,0 mm menunjukkan bahwa ferit berkurang pada masing-masing spesimen, sehingga struktur perlit sangat mendominasi. Nilai kekuatan tarik pada hasil pengelasan menunjukkan perbedaan tegangan dan regangan. Spesimen dengan diameter elektroda 4,0 mm memiliki tingkat tegangan dan regangan yang lebih tinggi yaitu 471,11 MPa dan 24,98% jika dibandingkan dengan spesimen diameter elektroda 3,2 mm yaitu 470,15 MPa dan 24,81%, dan diameter elektroda 2,6 mm 462,42 MPa dan 20,57%. Penelitian ini menunjukkan bahwa pengelasan menggunakan variasi diameter elektroda mengubah nilai kekuatan tarik, struktur mikro dan berpengaruh terhadap nilai kekerasan paduan Baja SS400.

Kata kunci: SMAW, baja paduan SS400, struktur mikro, kekerasan, kekuatan tarik

Abstract

Metal welding by the welding method has weaknesses including the decrease in strength of the material and the results of residual stress, as well as the presence of cracks due to the welding process. The purpose of this research is to know the effect of variations in the diameter of the electrode E7018 to tensile strength, hardness, and microstructure on alloy steel SS400 before (raw material) and after welding using welding method Shielded Metal Arc Welding (SMAW) method. This research uses experimental method. Technique of data analysis used is the comparative descriptive. Based on the results of the research, it can be concluded that the result of the micro structure test showed an increase in perlit structure after welding. On raw material, ferrite structure looks prevalent but on welding result using SMAW welding methods with the variation in the diameter of the electrode 2.6 mm, 3.2 mm, and 4.0 mm showed that the ferrite decreases on each specimen, so the perlit structure is very dominating. Value of tensile strength on the welding result showed a difference in tension and strain. Specimen with a diameter of electrode 4.0 mm have a higher tension level and strain is 471.11 MPa and 24.98% if compared to the electrode diameter 3.2 mm specimen is 470.15 MPa and 24.81%, and the electrode diameter 2.6 mm is 462.42 MPa and 20.57%. This research shows that the welding using diameter variation of electrode changed value of the tensile strength, micro structure and effected on the value of hardness alloy Steel SS400.

Keywords: SMAW, alloy Steel SS400, micro structure, hardness, tensile strength

Pendahuluan

Penyambungan logam dengan metode pengelasan semakin banyak digunakan, baik pada konstruksi bangunan maupun mesin. Menurut Cary dan Jamasri dalam Marwanto (2004: 3), luasnya penggunaan proses penyambungan dengan pengelasan disebabkan oleh biaya murah, pelaksanaan relatif lebih cepat, lebih ringan, dan bentuk konstruksi lebih variatif. Namun, harus diakui bahwa sambungan las juga memiliki kelemahan, antara lain timbulnya lonjakan tegangan yang besar akibat perubahan struktur mikro di daerah sekitar las yang menyebabkan turunnya kekuatan bahan dan akibat tegangan sisa, serta adanya retak akibat dari proses pengelasan. Kelemahan-kelemahan tersebut dipengaruhi oleh banyak hal, seperti masukan panas (heat input) dan siklus termal pengelasan.

Menurut Wiryosumarto dalam Sholeh, dkk (2016: 30) tidak semua logam memiliki sifat mampu las yang baik. Bahan yang mempunyai sifat mampu las yang baik diantaranya adalah baja karbon rendah. Baja ini dapat dilas dengan las busur elektroda terbungkus. Baja karbon rendah biasa digunakan untuk pelat-pelat tipis dan konstruksi umum.

Shielded Metal Arc Welding (SMAW) merupakan jenis las yang tertua, sederhana, dan kebanyakan digunakan dalam proses penyambungan. Sekitar 50% dari semua industri menggunakan las jenis ini. Busur listrik dihasilkan dengan sentuhan ujung yang dilapisi elektroda terhadap potongan benda kerja dan menggambar dengan cepat pada jarak yang cukup untuk menjaga nyala busur listrik (Emifoniye, 2015: 82)

Logam induk dalam pengelasan ini mengalami pencairan akibat pemanasan dari busur listrik yang timbul antara ujung elektroda dan permukaan benda kerja. Busur listrik dibangkitkan dari suatu mesin las elektroda yang digunakan berupa kawat yang dibungkus pelindung berupa fluks. Elektroda ini selama pengelasan akan mengalami pencairan bersama dengan logam induk dan membeku bersama menjadi bagian kumpuh las (Santoso, 2006: 17).

Berdasarkan penelitian (Kartanto, 2004: 16) satu dari sekian sifat-sifat sambungan lasan yang tak kalah penting ialah kekerasannya, sambungan lasan dituntut untuk mempunyai kekerasan yang cukup tinggi karena sambungan ini harus mampu menahan gesekan dan benturan. Untuk mendapatkan sifat-sifat sambungan yang keras pada pengelasan adalah dengan memperhatikan betul diameter elektroda yang digunakan, sehingga jumlah paduan unsur antara bahan logam dan bahan tambah mempunyai tingkat kekerasan yang benar-benar dapat disesuaikan dengan penggunaan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi diameter elektroda E7018 terhadap kekuatan tarik, kekerasan, dan mikrostruktur pada baja paduan SS400 sebelum (bahan baku) dan setelah pengelasan menggunakan metode pengelasan menggunakan metode Shielded Metal Arc Welding (SMAW).

Metode

Penelitian dilakukan di Laboratorium Institut Las dan Teknologi (INLASTEK) Surakarta dan Laboratorium Bahan Teknik, Diploma Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen. Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif, yaitu memaparkan hasil eksperimen terhadap sejumlah benda uji, kemudian teknik analisis data menggunakan metode deskriptif komparatif. Pengumpulan data dalam penelitian ini yaitu dengan metode observasi, dokumentasi dan eksperimen langsung. Metode yang dilakukan dalam penelitian ini merupakan metode yang dengan sengaja dan secara sistematis mengadakan perlakuan atau tindakan pengamatan terhadap suatu variabel.

Variabel bebas penelitian ini adalah variasi diameter elektroda E7018 yaitu 2,6; 3,2; dan 4,0 mm. Variabel terikat penelitian ini adalah struktur mikro, kekerasan dan kekuatan tarik baja karbon rendah SS400. Variabel kontrol penelitian ini adalah (a) spesimen baja SS400. (b) metode pengelasan SMAW. (c) arus pengelasan 130A. (d) arah pengelasan ke kanan. (e) posisi pengelasan bawah tangan. (f) mesin uji tarik Universal Testing Machine (g) mesin uji kekerasan Vickers. (h) mesin foto struktur mikro Olympus PME (Metallurgical Microscope with Inverted).

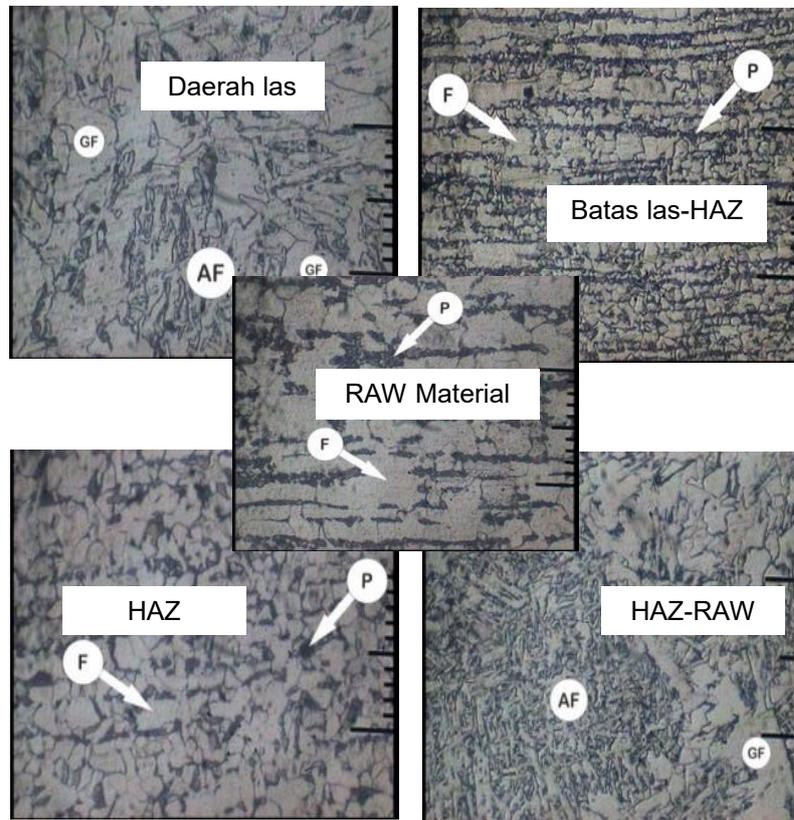
Hasil pengujian struktur mikro bertujuan untuk mengetahui struktur mikro dari baja karbon rendah SS400 setelah dilakukan pengelasan SMAW. Struktur mikro material tersebut dilihat melalui foto mikro dengan perbesaran 100X dan 200X menggunakan alat Metallurgical Microscope with Inverted (Olympus PME). Foto dengan perbesaran 100X diambil didaerah batas las dengan HAZ dan daerah batas HAZ dengan induk. Foto dengan perbesaran 200X diambil didaerah raw material, logam las, HAZ, dan logam induk.

Hasil pengujian kekerasan bertujuan untuk membandingkan antara nilai kekerasan daerah las, daerah HAZ dan daerah induk sesudah dilakukan pengelasan SMAW menggunakan variasi diameter elektroda E7018 yaitu 2,6; 3,2; dan 4,0 mm dengan nilai kekerasan bahan tanpa las (raw material). Hasil pengujian kekuatan tarik bertujuan adalah untuk mengetahui nilai kekuatan tarik dari masing – masing spesimen variasi diameter elektroda E7018 yang telah dilakukan pengelasan menggunakan metode SMAW.

Hasil dan Pembahasan

Hasil

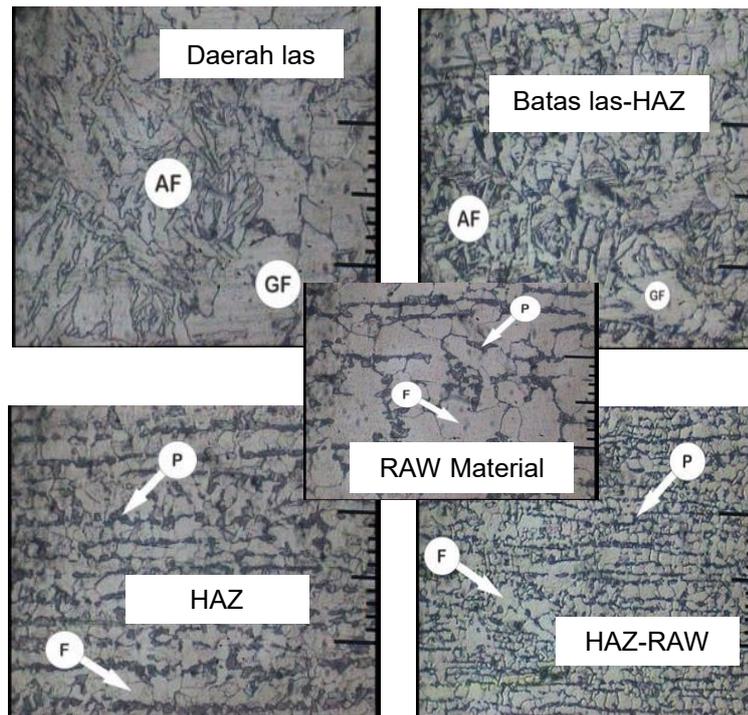
Foto struktur mikro diambil pada daerah raw material, daerah las, daerah HAZ dan daerah induk dengan perbesaran 200x. Foto dengan perbesaran 100X diambil didaerah batas las dengan HAZ dan daerah batas HAZ dengan induk.



Gambar 1. Struktur Mikro diameter 2,6 mm

Gambar 1 menunjukkan hasil uji struktur mikro pada logam las, batas logam las dengan HAZ, daerah HAZ, batas HAZ dengan logam induk dan logam induk dengan diameter elektroda 2,6 mm. Pada logam las menunjukkan struktur mikro ferit acicular (AF) dan ferit batas butir atau grain boundary ferrite (GF). Pada gambar tersebut foto struktur mikro untuk ferit batas butir terlihat besar dan struktur untuk ferit acicular berbutir lembut kurang mendominasi area.

Daerah batas logam las dengan HAZ menunjukkan struktur mikro ferit acicular (AF) dan ferit batas butir atau grain boundary ferrite (GF). Pada gambar tersebut foto struktur mikro untuk ferit acicular terlihat struktur mikro ferit dan perlit jumlahnya sangat dominan pada tiga daerah ini, namun pada daerah induk jumlahnya lebih dominan. Struktur ferit lebih banyak terbentuk pada daerah logam pendinginan yang rendah.



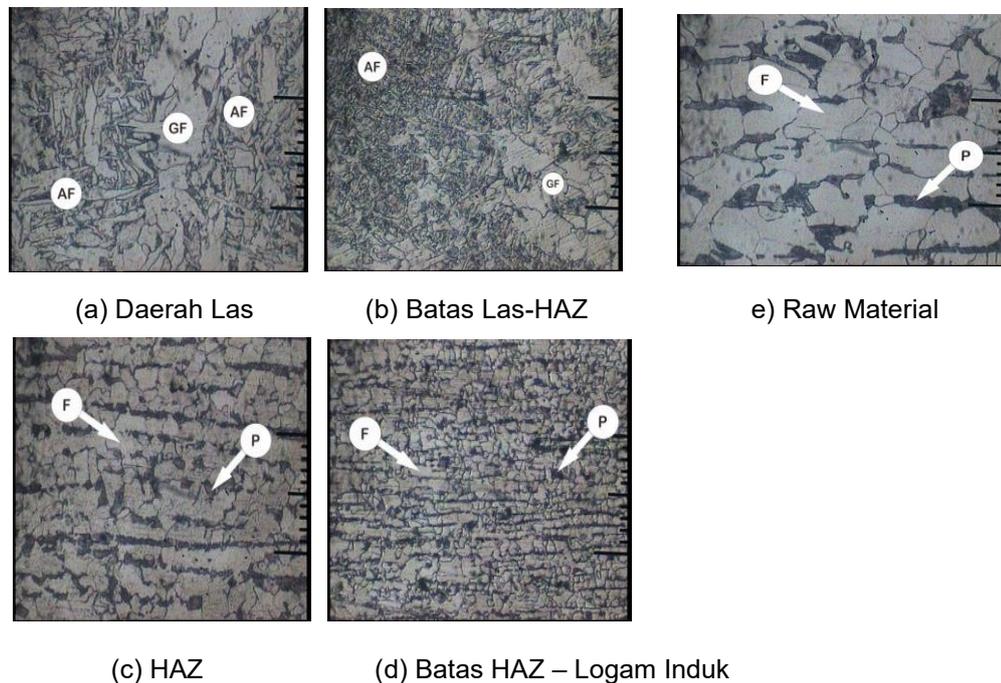
Gambar 2. Struktur Mikro diameter 3,2 mm

Gambar 2 menunjukkan hasil uji struktur mikro pada logam las, batas logam las dengan HAZ, daerah HAZ, batas HAZ dengan logam induk dan logam induk dengan diameter elektroda 3,2 mm. Pada logam las menunjukkan struktur mikro ferit acicular (AF), dan ferit batas butir atau grain boundary ferrite (GF). Pada gambar tersebut foto struktur mikro untuk ferit batas butir terlihat lebih kecil jika dibandingkan dengan diameter 2,6 mm dan struktur untuk ferit acicular berbutir lembut mendominasi area. Ini karena laju pendinginan didaerah lasan ini kecepatannya sedang dan juga dipengaruhi oleh inklusi.

Dalam proses pembentukan struktur mikro terutama acicular ferrit sangat dipengaruhi oleh banyak faktor, diantaranya inklusi, inklusi adalah partikel halus sebagai akibat dari reaksi oksidasi atau reduksi selama proses pengelasan dan tidak ikut larut dalam logam las cair. Sedangkan terbentuknya inklusi dipengaruhi oleh beberapa hal antara lain komposisi logam induk, elektroda las, gas, udara, atau fluks yang digunakan (Suharno, dkk, 2005: 84)

Daerah batas logam las dengan HAZ menunjukkan struktur mikro ferit acicular (AF) dan ferit batas butir atau grain boundary ferrite (GF). Pada gambar 3, foto struktur mikro untuk ferit acicular terlihat lebih halus dibandingkan dengan diameter 2,6 mm dan struktur untuk ferit batas butir masih mendominasi area. Pada daerah HAZ, batas HAZ dengan logam induk, dan logam induk menunjukkan struktur mikro ferit dan perlit. Pada gambar 3, foto struktur mikro untuk perlit lebih banyak dibandingkan pada

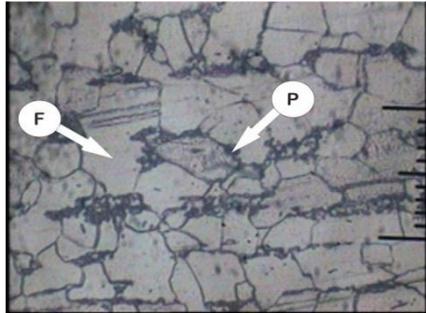
diameter 2,6 mm dan struktur untuk ferit terlihat mendominasi area, hal ini disebabkan oleh besarnya masukan panas dan waktu pendinginan yang relatif lebih lambat.



Gambar 3. Struktur Mikro diameter 4,0 mm

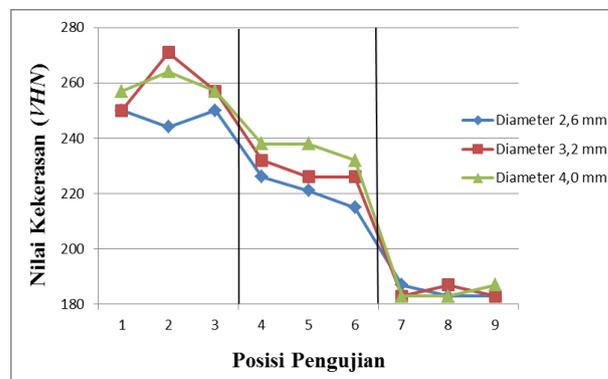
Pada gambar 3 (a-e) menunjukkan hasil uji struktur mikro pada logam las, batas logam las dengan HAZ, daerah HAZ, batas HAZ dengan logam induk dan logam induk dengan diameter elektroda 4,0 mm. Pada logam las menunjukkan struktur mikro ferit acicular (AF) dan ferit batas butir atau grain boundary ferrite (GF). Pada gambar tersebut foto struktur mikro untuk ferit batas butir terlihat kecil dan struktur untuk ferit acicular berbutir lembut lebih mendominasi area jika dibandingkan dengan diameter elektroda 2,6 mm dan 3,2 mm. Struktur acicular ferit inilah yang diharapkan dari setiap pengelasan, karena struktur ini sebagai interlocking structure yang mampu menghambat laju perambatan retak (Suharno, dkk, 2005: 82). Daerah batas logam las dengan HAZ menunjukkan struktur mikro ferit acicular dan ferit batas butir atau grain boundary ferrite (GF). Pada gambar 3 foto struktur mikro untuk ferit batas butir terlihat kecil dan struktur untuk ferit acicular berbutir lembut lebih mendominasi area jika dibandingkan dengan diameter elektroda 2,6 mm dan 3,2 mm.

Pada gambar 3 (c), batas HAZ dengan logam induk, dan logam induk menunjukkan struktur mikro ferit dan perlit. Pada gambar tersebut foto struktur untuk ferit terlihat lebih kecil dan struktur mikro perlit lebih mendominasi area dibandingkan dengan diameter elektroda 2,6 mm dan 3,2 mm.



Gambar 4. Struktur Mikro *Raw Material* baja SS400

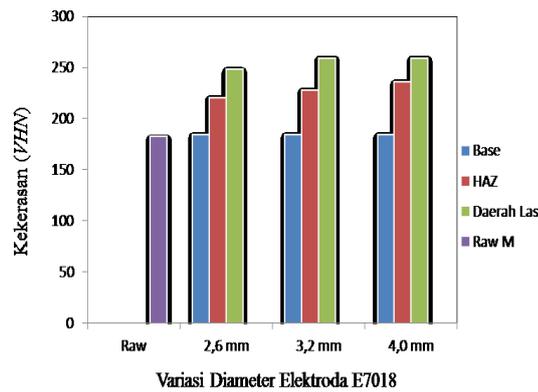
Dari gambar 4 menunjukkan hasil uji struktur mikro raw material (tanpa las). Terlihat struktur ferit sedikit lebih merata jika dibandingkan dengan base material, akibatnya material tanpa las cenderung sedikit lebih lunak dari pada base material.



Gambar 5. Grafik Nilai Kekerasan

Nilai kekerasan tertinggi untuk daerah las dan HAZ terdapat pada variasi diameter elektroda 4,0 mm dengan nilai sebesar 259,33 kg/mm² dan 236 kg/mm² selanjutnya diikuti diameter 3,2 mm sebesar 259,33 kg/mm² dan 228 kg/mm², untuk nilai kekerasan las pada diameter 4,0 mm dan 3,2 mm sama tetapi pada daerah HAZ nilai kekerasannya berbeda, sedangkan untuk nilai kekerasan pada variasi diameter elektroda 2,6 mm sebesar 248 kg/mm² dan 220,6 kg/mm². Ini sesuai dengan penelitian (Manurung, 2015: 82) “semakin besar diameter elektroda yang dipakai pada pengelasan maka semakin besar pula nilai kekerasan yang didapat”.

Jika diamati pada struktur mikronya, daerah las cenderung memiliki struktur mikro acicular ferit luas, namun pada daerah HAZ dan Induk acicular ferit sudah tidak terlihat yang terlihat hanya ferit dan perlit yang mendominasi daerah tersebut. Keuletan dan ketangguhan logam las akan meningkat jika struktur mikro yang terbentuk berupa acicular ferit, sebaliknya penurunan keuletan dan ketangguhan terjadi jika pada logam las struktur mikro yang terbentuk berupa grain boundary ferit (Suharno,dkk, 2005: 84).



Gambar 6. Hasil Uji Kekerasan Vickers

Hasil uji kekerasan spesimen tanpa las (*raw material*) dengan nilai kekerasan sebesar 182,333 VHN. Jika dibandingkan dengan daerah induk pada ketiga spesimen hasil pengelasan menggunakan diameter elektroda, tingkat kekerasan pada *raw material* cenderung lebih rendah dikarenakan *raw material* tidak terpengaruh panas pada saat proses pengelasan atau tidak dilakukan prosen pengelasan, sedangkan pada masing-masing spesimen dengan variasi diameter elektroda pada daerah induk terkena rambatan panas sehingga struktur mikronyapun berubah. Meningkatnya nilai kekerasan pada spesimen hasil pengelasan dikarenakan adanya perubahan struktur mikro, yaitu meningkatnya struktur *perlit*.

Tabel 1. Hasil Uji Tarik Diameter 2,6 mm

Diameter Elektroda	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Tegangan (MPa)	Regangan (%)
2,6 mm	7,99	13,05	455,65	18,53
	8,10	13,82	469,89	22,67
	7,95	13,70	461,74	20,53
Rata - rata			462,42	20,57

Tabel 2. Hasil Uji Tarik Diameter 3,2 mm

Diameter Elektroda	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Tegangan (MPa)	Regangan (%)
3,2 mm	7,70	13,63	471,93	26,47
	7,89	13,65	470,94	24,26

	7,96	13,88	467,58	23,72
Rata - rata			470,15	24,81

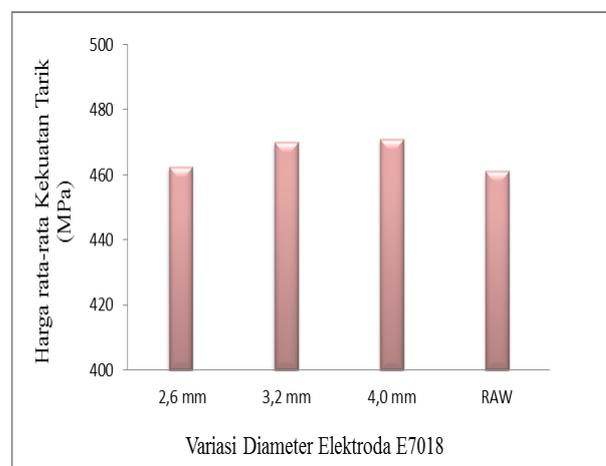
Tabel 3. Hasil Uji Tarik Diameter 4,0 mm

Diameter Elektroda	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Tegangan (MPa)	Regangan (%)
	7,88	13,72	463,49	22,24
4,0 mm	7,92	13,70	468,28	24,99
	7,94	13,15	481,56	27,72
Rata - rata			471,11	24,98

Tabel 4. Data Hasil Uji Tarik Raw Material

No	Jenis	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Tegangan (MPa)	Regangan (%)
1	Raw	8,07	13,05	461,10	20,41

Dari tabel 1, nilai rata – rata kekuatan tarik dari baja SS400 untuk diameter 2,6 mm adalah 462,42 MPa, sedangkan untuk nilai rata – rata regangannya adalah 20,57 %. Dari tabel 2, nilai rata – rata kekuatan tarik dari baja SS400 untuk diameter 3,2 mm adalah 470,15 MPa, sedangkan untuk nilai rata – rata regangannya adalah 24,81%. Dari tabel 3, nilai rata – rata kekuatan tarik dari baja SS400 untuk diameter 4,0 mm adalah 471,11 MPa, sedangkan untuk nilai rata – rata regangannya adalah 24,98%.



Gambar 7. Hasil Uji Kekuatan Tarik

Dari tabel 4, dan gambar 8 menunjukkan hasil uji tarik spesimen tanpa las (*raw material*) dengan nilai kekuatan tarik 461,10 MPa dan nilai regangan 20,41 %. Dari hasil pengujian kekuatan tarik terdapat perbedaan nilai kekuatan tarik dan regangannya antara masing – masing variasi diameter elektroda E7018. Nilai kekuatan tarik dan regangan tertinggi didapat pada variasi diameter 4,0 mm dengan nilai rata – rata kekuatan tarik 471,11 MPa dan nilai rata – rata regangan 24,98%. Ini disebabkan pada spesimen diameter 4,0 mm distribusi *acicular ferit* lebih mendominasi area. Sedangkan untuk nilai kekuatan tarik dan regangan terendah didapat pada variasi diameter 2,6 mm dengan nilai rata – rata kekuatan tarik 462,42 MPa, sedangkan untuk nilai rata – rata regangan 20,57%.

Pembahasan

Terdapat pengaruh variasi diameter elektroda terhadap struktur mikro hasil pengelasan paduan baja SS400 dengan diameter 2,6 mm, 3,2 mm, dan 4,0 mm. Pada daerah HAZ terjadi pendinginan yang lambat sehingga butir pada struktur mikro akan membesar, sedangkan pada daerah las ferit acicular yang paling dominan hasil lasan dengan diameter 4,0 mm.

Terdapat pengaruh variasi diameter elektroda terhadap tingkat kekerasan. Nilai kekerasan tertinggi untuk daerah las dan HAZ terdapat pada variasi diameter elektroda 4,0 mm dengan nilai sebesar 259,33 kg/mm² dan 236 kg/mm² selanjutnya diikuti diameter 3,2 mm sebesar 259,33 kg/mm² dan 228 kg/mm², untuk nilai kekerasan las pada diameter 4,0 mm dan 3,2 mm sama tetapi pada daerah haz nilai kekerasannya berbeda, sedangkan untuk nilai kekerasan pada variasi diameter elektroda 2,6 mm sebesar 248 kg/mm² dan 220,6 kg/mm². Hasil uji kekerasan spesimen tanpa las (*raw material*) dengan nilai kekerasan sebesar 182,333 VHN.

Terdapat pengaruh variasi diameter elektroda terhadap tingkat kekuatan tarik. Nilai kekuatan tarik dan regangan tertinggi didapat pada variasi diameter 4,0 mm dengan nilai rata – rata kekuatan tarik 471,11 MPa dan nilai rata – rata regangan 24,98%. Nilai kekuatan tarik dan regangan terendah didapat pada variasi diameter 2,6 mm dengan nilai rata – rata kekuatan tarik 462,42 MPa, sedangkan untuk nilai rata – rata regangan 20,57%. Hasil uji kekuatan tarik spesimen tanpa las (*raw material*) sebesar 461,10 Mpa dan nilai regangan tariknya 20,41%.

Kesimpulan

Pengelasan logam dengan metode pengelasan memiliki kelemahan antara lain turunnya kekuatan bahan dan akibat tegangan sisa, serta adanya retak akibat dari proses pengelasan. Penelitian dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi diameter

elektroda E7018 terhadap kekuatan tarik, kekerasan, dan mikrostruktur pada baja paduan SS400 sebelum (bahan baku) dan setelah pengelasan menggunakan metode pengelasan menggunakan metode Shielded Metal Arc Welding (SMAW).

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa hasil uji struktur mikro menunjukkan peningkatan struktur perlit setelah pengelasan. Pada bahan baku, struktur ferit terlihat lazim tetapi pada hasil pengelasan menggunakan metode pengelasan SMAW dengan variasi diameter elektroda 2,6 mm, 3,2 mm, dan 4,0 mm menunjukkan bahwa ferit berkurang pada masing-masing spesimen, sehingga struktur perlit sangat mendominasi.

Nilai kekuatan tarik pada hasil pengelasan menunjukkan perbedaan tegangan dan regangan. Spesimen dengan diameter elektroda 4,0 mm memiliki tingkat tegangan dan regangan yang lebih tinggi yaitu 471,11 MPa dan 24,98% jika dibandingkan dengan spesimen diameter elektroda 3,2 mm yaitu 470,15 MPa dan 24,81%, dan diameter elektroda 2,6 mm 462,42 MPa dan 20,57%.

Penelitian ini menunjukkan bahwa pengelasan menggunakan variasi diameter elektroda mengubah nilai kekuatan tarik, struktur mikro dan berpengaruh terhadap nilai kekerasan paduan Baja SS400.

Daftar Pustaka

- Emifoniye, E., & Asibeluo, I. S. (2015). Effect of arc welding current on the mechanical properties of A36 carbon steel weld joints. *SSRG International Journal of Mechanical Engineering*, 2(9), 79-87.
- Kartanto. (2004). *Pengaruh variasi jenis elektroda berselaput terhadap kekerasan pengelasan menggunakan las busur listrik pada baja EMS 45*. (Skripsi tidak dipublikasikan). Universitas Sebelas Maret. Indonesia.
- Manurung, I Edison. (2015). *Pengaruh variasi diameter elektroda pada pengelasan baja karbon rendah jenis ST 37 terhadap distribusi kekerasan, kekuatan impact, dan struktur mikro*. (Skripsi tidak dipublikasikan). Universitas Sumatera Utara, Indonesia.
- Marwanto, A. & Ardian, A. (2004). *Pengaruh Bentuk Kampuh pada Pengelasan SMAW Baja Eysen terhadap Sifat Mekanik*. (Laporan Penelitian Kelompok tidak dipublikasikan). Universitas Negeri Yogyakarta, Indonesia.
- Santoso, J. (2006). *Pengaruh arus pengelasan terhadap kekuatan tarik dan ketangguhan Las SMAW dengan Elektroda E7018*. (Skripsi tidak dipublikasikan). Universitas Negeri Semarang, Indonesia.
- Sholeh, A.A., Purwanto, H., & Syafa'at, I. (2016). Analisa pengaruh kuat arus terhadap struktur mikro, kekerasan, kekuatan tarik pada baja karbon rendah dengan

Las SMAW menggunakan jenis Elektroda E7016. *Jurnal Ilmiah Cendekia Eksakta*, 29-35.

Suharno, Iman, M.N., & Jamasri. (2005). Struktur mikro las baja C-Mn pada pengelasan busur terendam dengan variasi masukan panas. *TEKNOSAINS*, 18(1), 73-89.