

PENGARUH KUAT ARUS LISTRIK PENGELASAN TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN STRUKTUR MIKRO LAS SMAW DENGAN ELEKTRODA E7016

Oleh:

Trinova Budi Santoso¹, Solichin², Prihanto Tri Hutomo³

¹ Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Malang

^{2,3} Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Malang

E-mail: trinova.bluerider3@gmail.com

Abstrak: Pengelasan (*welding*) adalah teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa logam penambah dan menghasilkan logam kontinyu. Di dalam dunia teknik pengelasan atau dunia industri saat ini baja karbon rendah merupakan salah satu logam yang sering digunakan dalam pembangunan konstruksi. Salah satu masalah yang sering terjadi dalam penggunaan baja sebagai bahan dasar konstruksi adalah baja mempunyai sifat yang mudah mengalami patahan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana sifat mekanik dan struktur mikro serta hubungan keduanya hasil pengelasan SMAW dengan variasi kuat arus pengelasan menggunakan elektroda E7016. Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimental dan jenis penelitian ini adalah penelitian kuantitatif. Untuk memperoleh hasil tentang analisis besarnya kekuatan tarik dan struktur mikro baja karbon rendah yang telah mengalami pengelasan SMAW dengan variasi kuat arus, data yang diperoleh dianalisis menggunakan analisis deskriptif, yakni menjabarkan perbandingan spesimen yang diberi perlakuan secara berbeda-beda ketika proses pengelasannya. Nilai dari hasil uji kekuatan tarik setiap kelompok di rata-rata kemudian di bandingkan dengan nilai rata-rata uji kelompok yang lain. Hasil perbandingan uji kekuatan tarik dan kelompok kemudian di analisis. Setiap variasi kuat arus diambil 1 spesimen struktur mikro pada HAZ, logam las dan logam induk. Objek penelitian pengelasan yang dipakai adalah baja karbon rendah. Spesimen uji kekuatan tarik mengacu pada standar ASTM E8/E8M-09. Hasil penelitian diperoleh Kekuatan tarik sambungan las *raw material* 36,711 kgf/mm². nilai kekuatan tarik dengan kuat arus pengelasan 100 Amper mengalami penurunan yaitu 31,863 kgf/mm². Sedangkan dengan kuat arus pengelasan 125 Amper mengalami kenaikan 40,827 kgf/mm². Pada kuat arus pengelasan 150 Amper mengalami kenaikan 48,503 kgf/mm² Struktur mikro logam induk terdiri dari perlit dan ferrit, struktur mikro daerah HAZ. Struktur mikro daerah HAZ dan logam las dengan kuat arus pengelasan 150 *Ampere* terdiri dari bainit dan *widmanstatten ferrite*. Struktur mikro daerah HAZ dan logam las dengan kuat arus pengelasan 100 dan 125 *Ampere* terdiri dari asutenit sisa dan *widmanstatten ferrite*.

Kata kunci: sifat mekanik, struktur mikro, pengelasan SMAW, baja karbon rendah

Pengembangan teknologi di bidang konstruksi yang semakin maju tidak dapat dipisahkan dari pengelasan karena mempunyai peranan penting dalam rekayasa dan reparasi logam. Pembangunan konstruksi dengan logam pada masa sekarang ini banyak melibatkan unsur pengelasan khususnya bidang rancang bangun karena sambungan las merupakan salah satu pembuatan sambuan

sambungan yang secara teknis memerlukan ketrampilan yang tinggi bagi pengelasnya agar diperoleh sambungan dengan kualitas baik. Pengelasan (*welding*) adalah teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa logam penambah dan menghasilkan logam kontinyu (Siswanto, 2011). Lingkup penggunaan

teknik pengelasan dalam konstruksi sangat luas meliputi perkapalan, jembatan, rangka baja, bejana tekan, sarana transportasi, rel, pipa saluran dan lain sebagainya.

Untuk industri yang menyangkut logam atau baja, khususnya bidang pembangunan dengan menggunakan pengelasan dibutuhkan berbagai penelitian agar dapat sambungan las yang bermutu tinggi, karena menyangkut keselamatan dan umur pakai. Seiring dengan pemakaian sambungan las baja yang semakin meningkat, maka teknologi proses yang berkaitan dengan perubahan sifat dan karakteristik memiliki peranan yang tak kalah pentingnya.

Faktor yang mempengaruhi las adalah prosedur pengelasan yaitu suatu perencanaan untuk pelaksanaan penelitian yang meliputi cara pembuatan konstruksi las yang sesuai rencana dan spesifikasi dengan menentukan semua hal yang diperlukan dalam pelaksanaan tersebut. Faktor produksi pengelasan adalah jadwal pembuatan, proses pembuatan, alat dan bahan yang diperlukan, urutan pelaksanaan, persiapan pengelasan (meliputi: pemilihan mesin las, penunjukan juru las, pemilihan elektroda, penggunaan jenis kampuh) (Wiryosumarto, 1988).

Pengelasan berdasarkan klasifikasi cara kerja dapat dibagi dalam tiga kelompok yaitu pengelasan cair, pengelasan tekan, dan pematrian. Pengelasan cair adalah suatu cara pengelasan dimana benda yang akan disambung diapanaskan sampai mencair dengan sumber energi panas. Cara pengelasan yang paling banyak digunakan adalah pengelasan cair dengan busur (las busur listrik) dan gas. Jenis las busur listrik ada 4 yaitu las busur dengan elektroda terbungkus, las busur gas (TIG, MIG, las busur CO₂), las busur tanpa gas, las busur redam. Jenis dari las busur elektroda terbungkus salah satunya adalah

las SMAW (*Shielding Metal Arc Welding*) (Wiryosumarto, 1988).

Mesin las SMAW menurut arusnya dibedakan menjadi tiga macam yaitu mesin las arus searah atau *Direct Current* (DC), mesin las arus bolak-balik atau *Alternating Current* (AC) dan mesin las arus ganda yang merupakan mesin las yang dapat digunakan untuk pengelasan dengan arus searah (DC) dan pengelasan dengan arus bolak-balik (AC). Mesin las arus DC dapat digunakan dengan dua cara yaitu polaritas lurus dan polaritas terbalik. Mesin las DC polaritas lurus (DC-) digunakan bila titik cair bahan induk tinggi dan kapasitas besar, untuk pemegang elektrodanya dihubungkan dengan kutub negatif dan logam induk dihubungkan dengan kutub positif, sedangkan untuk mesin las DC polaritas terbalik (DC+) digunakan bila titik cair bahan induk rendah dan kapasitas kecil, untuk pemegang elektrodanya dihubungkan dengan kutub positif dan logam induk dihubungkan dengan kutub negatif. 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, las busur redam dan las MIG (las logam gas mulia). Baja karbon rendah biasa digunakan untuk pelat-pelat tipis dan konstruksi umum (Wiryosumarto, 1988).

Penyetelan kuat arus pengelasan akan mempengaruhi hasil las. Bila kuat arus yang digunakan terlalu rendah akan menyebabkan sukarnya penyalaan busur listrik. Busur listrik yang terjadi menjadi tidak stabil. Panas yang terjadi tidak cukup untuk melelehkan elektroda dan bahan dasar sehingga hasilnya merupakan rigi-rigi las yang kecil dan tidak rata serta penembusan kurang dalam. Sebaliknya bila kuat arus terlalu

tinggi maka elektroda akan menair terlalu cepat dan akan menghasilkan permukaan las yang lebih lebar dan penembusan yang dalam sehingga menghasilkan kekuatan tarik yang rendah dan menambah kerapuhan dari hasil pengelasan (Arifin, 1997).

Kasus yang terjadi di Bekasi rel kereta api yang patah di antara Stasiun Bekasi dan Stasiun Kranji, Jawa Barat, diduga diakibatkan karena kerusakan pada sambungan las. Akibatnya, rel putus dan satu bagian penyok ke arah bawah. Menurut seorang petugas *maintenance* PT KA yang memperbaiki sambungan rel tersebut, rel patah tepat di sambungan yang menggunakan perekat las di sisi sebelah kanan (dari arah Jakarta), sehingga satu bagian penyok ke bawah di antara bantalan beton, dan satu bagian lain normal. Posisi rel yang patah sekira 300 meter menjelang Stasiun Kranji dari arah Bekasi. "Ini kami sedang perbaiki. Rel sudah retak tidak kuat. Mau diratakan dulu," ungkap seorang petugas di lokasi, Minggu (11/7/2010). Sebanyak delapan petugas tampak memperbaiki bagian rel agar mudah diratakan. Posisi rel penyok ke bawah sekira 5 centimeter (<http://news.okezone.com/read/2010/07/11/338/351802/rel-ka-di-bekasiretak-dan-patah-di-sambungan-las>).

Kekuatan hasil lasan dipengaruhi oleh tegangan busur, besar busur, kecepatan pengelasan, besarnya penembusan dan polaritas listrik. Penentuan besarnya kuat arus dalam penyambungan logam menggunakan las busur mempengaruhi efisiensi pekerjaan dan bahan las. Penentuan besar kuat arus dalam pengelasan ini mengambil 100 A, 125 A, dan 150 A.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian jenis eksperimental, untuk memperoleh des-

kripsi tentang pengaruh variasi kuat arus pengelasan terhadap kekuatan tarik dan struktur mikro pada pengelasan baja karbon rendah. Data yang telah diperoleh dari hasil pengujian kekuatan tarik selama penelitian disisakan pada lembar observasi. Sedangkan untuk menentukan perubahan struktur mikro, data yang didapat dianalisis menggunakan analisis deskriptif. Pada uji kekuatan tarik dan struktur mikro menggunakan spesimen yang sama, terlebih dahulu dilakukan uji tarik kemudian dilihat struktur mikro.

Objek penelitian pengelasan yang dipakai adalah baja karbon rendah, yang memiliki ukuran setiap spesimen dengan panjang 300 mm, lebar 50 mm, dan tebal 8 mm, sehingga total semua spesimen adalah 10 buah dengan ukuran yang sama. Standar uji tarik berdimensi panjang 200 mm, lebar 12,5 mm dan tebal 8 mm yang mengacu pada ASTM E8/E8M-09 tentang *Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*. Sedangkan spesimen struktur mikro berdimensi panjang 20 mm, lebar 12,5 mm dan tebal 8 mm. Setiap variasi kuat arus pengelasan diambil 1 struktur mikro HAZ, 1 struktur mikro logam las. Sebagai struktur mikro pembanding diambil 1 foto struktur mikro logam induk. Instrumen penelitian yang digunakan adalah lembar observasi yang berisi data angka kekuatan tarik pada baja yang telah mengalami proses pengelasan dengan variasi kuat arus pengelasan 100A, 125A, dan 150A.

Prosedur pengumpulan data pada penelitian ini dengan mempersiapkan bahan baja karbon rendah, mesin las SMAW, mesin frais, mikroskop metalografi, mesin skrap, dan mesin poles.

Pengambilan data dimulai dengan pembentukan spesimen pengelasan dengan kampuh V terbuka bersudut 60° dipotong

menggunakan gerinda. Spesimen pengelasan berukuran panjang 200 mm, lebar 50 mm, tebal 8 mm. Kemudian melaksanakan pengelasan sesuai dengan *Welding Procedure Specification (WPS)*. Benda kerja hasil pengelasan kemudian dibentuk menjadi spesimen uji tarik. Bentuk spesimen uji tarik sesuai dengan ASTM E8/E8M-09. Pembentukan spesimen ini dilakukan dengan menggunakan mesin gergaji dan mesin frais. Pembentukan spesimen struktur mikro dilakukan setelah spesimen melalui uji tarik. Daerah sambungan las pada spesimen dipotong dengan ukuran panjang 20 mm, lebar 12,5 mm dan tebal 8 mm.

Langkah-langkah pengujian tarik adalah 1) Menghidupkan mesin dan komputer. 2) Menginput data yaitu tebal dan lebar spesimen yang akan diuji tarik. 3) Memasang spesimen uji pada grips. 4) Memulai uji tarik dengan menekan tombol start pada layar monitor. 5) Setelah spesimen patah, putar panel pada manual kontrol posisi nol. 6) Melepas spesimen yang sudah patah setelah pengujian. 7) Melihat hasil pengujian tarik di komputer dan dicetak.

Prosedur pengamatan struktur mikro adalah 1) Pemotongan pada spesimen hingga menyisakan daerah *HAZ*. 2) Permukaan samping spesimen dihaluskan dengan kertas gosok mulai grid 100, 220, 500, 800 dan 1000. 3) Digosok menggunakan kain flanel + autosol. 4) Spesimen ditetesi dengan larutan Nital, yaitu campuran 2% HNO_3 + 98% Alkohol. Larutan ini berfungsi untuk mengkilis permukaan supaya strukturnya lebih terlihat ketika difoto. 5) Spesimen diletakkan pada meja mikroskop. 6) Lensa difokuskan pada gambar. 7) Kemudian dilakukan pengamatan dengan mikroskop mikro sampai diperoleh gambar yang jelas dengan perbesaran 400X setelah itu dipotret.

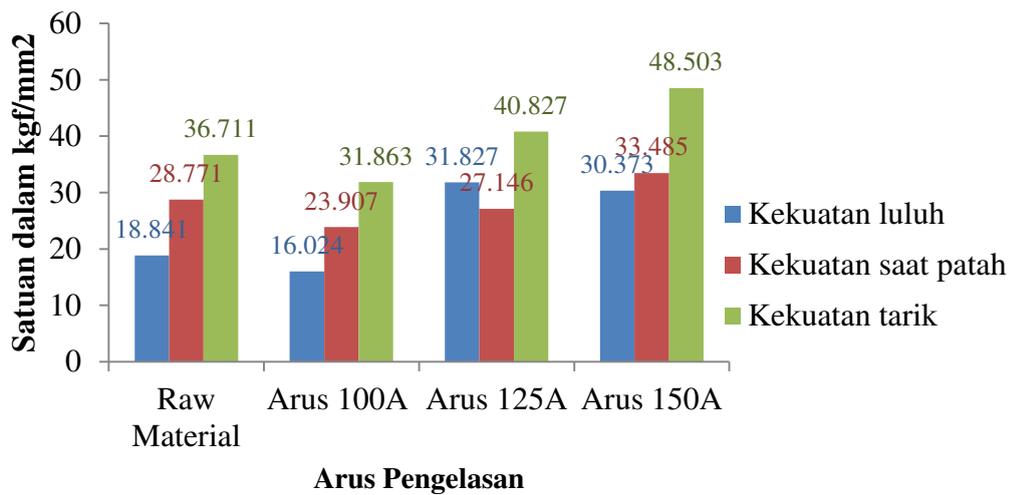
HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji Kekuatan Tarik

Berdasarkan hasil pengujian tarik baja karbon rendah yang telah mengalami proses pengelasan *SMAW* dengan variasi kuat arus pengelasan 100 A, 125A, dan 150 A diperoleh angka kekuatan tarik baja karbon rendah yang dapat dilihat pada tabel dan grafik di bawah ini.

Tabel 1 Rata-rata Hasil pengujian tarik pada pengelasan baja Karbon rendah dengan variasi kuat arus pengelasan

Kuat Arus	Data Pengujian Tarik		
	Kekuatan Luluh (kgf/mm ²)	Kekuatan saat patah (kgf/mm ²)	Kekuatan tarik (kgf/mm ²)
<i>Raw Material</i>	18,841	28,771	36,711
Kuat Arus 100 A	16,024	23,907	31,863
Kuat Arus 125 A	31,827	27,146	40,827
Kuat Arus 150 A	30,373	33,485	48,503



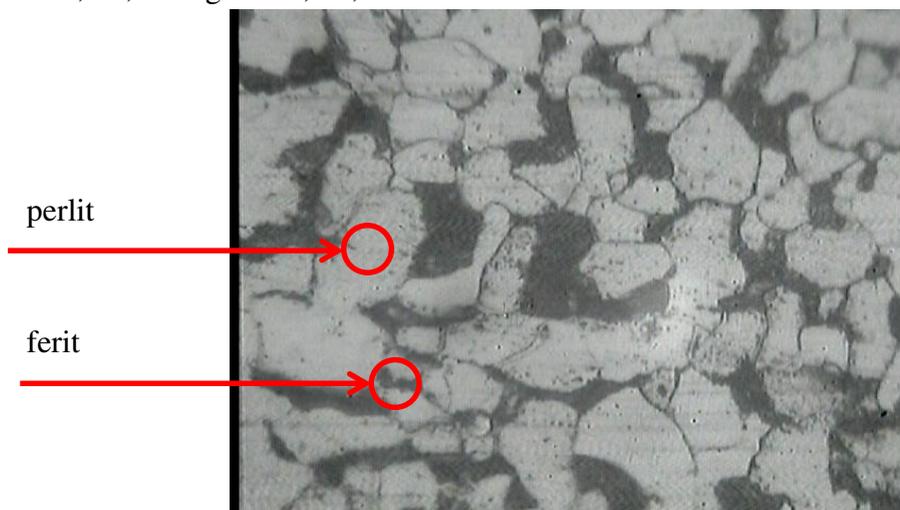
Gambar 1 Diagram Hasil Pengujian Tarik

Dari gambar diagram hasil pengujian tarik dapat diketahui terdapat perbedaan rerata kekuatan tarik, kekuatan luluh dan kekuatan saat patah pada masing-masing variasi kuat arus pengelasan. Hasil rerata tertinggi rerata kekuatan tarik, kekuatan luluh dan kekuatan saat patah, terjadi pada penggunaan kuat arus pengelasan 150 A sebesar 48,503 kgf/mm²; 30,373 kgf/mm²; dan 33,485 kgf/mm². Sedangkan hasil rerata terendah kekuatan tarik, kekuatan luluh dan kekuatan saat patah, terjadi pada penggunaan kuat arus 100 A sebesar 31,863 kgf/mm²; 16,024 kgf/mm²; 23,907

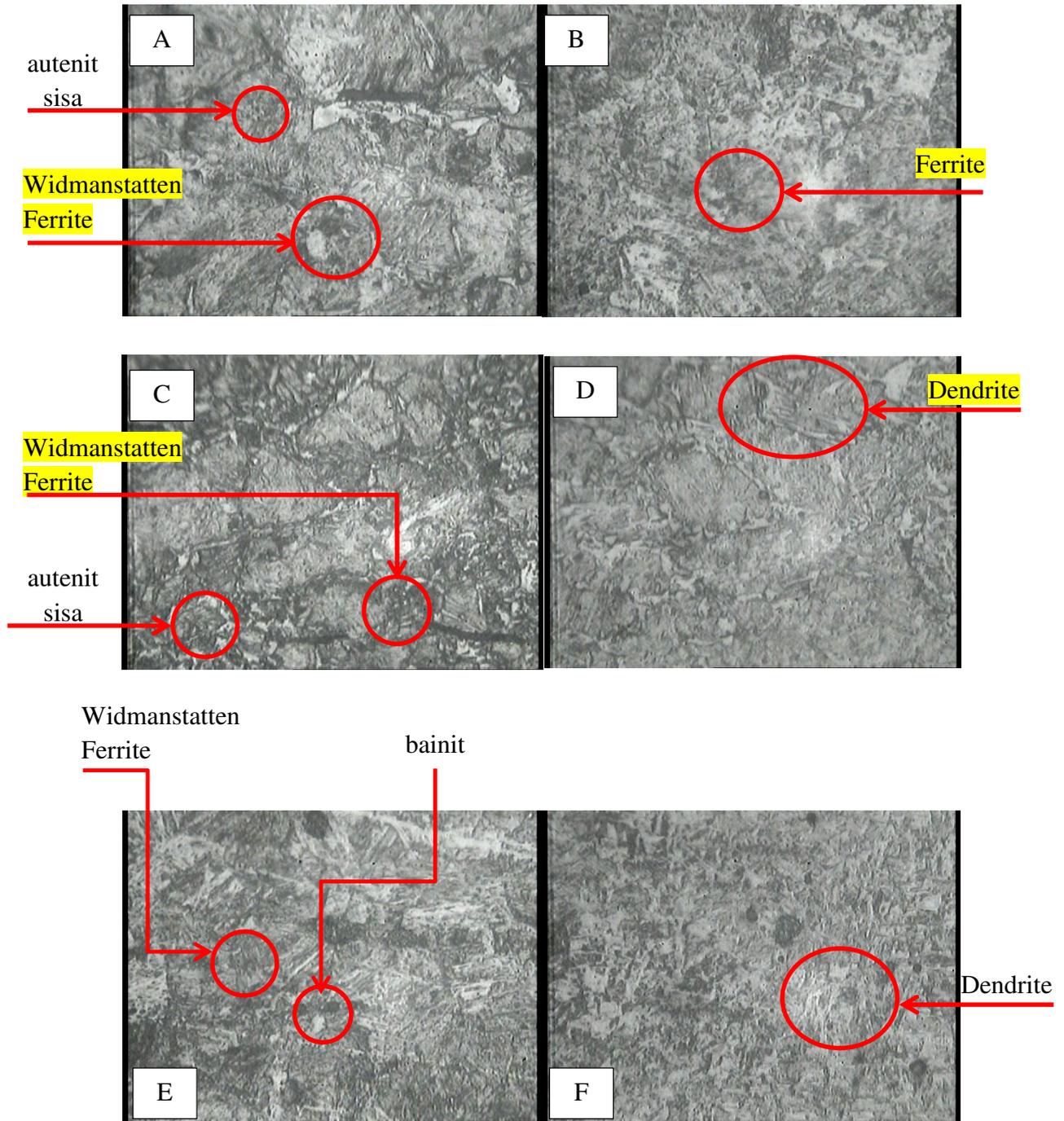
Pengamatan Struktur Mikro

Pada penelitian ini, pengambilan foto struktur mikro dilakukan pada 3 bagian pada sambungan las. Bagian pertama pada logam induk. Pengambilan foto pada logam induk digunakan sebagai pembandingan (*raw materials*). Bagian kedua diambil pada daerah HAZ dan bagian ketiga pada logam las.

Dari Gambar 2 dapat dilihat bahwa struktur mikro logam induk terdiri dari perlit dan ferit. Pada logam induk didominasi oleh ferit. Ferit bersifat lunak dan ulet.



Gambar 2 Struktur Mikro Logam Induk (*Raw Materials*)



Gambar 3 Struktur mikro daerah HAZ (A) dan logam las (B) kuat arus 100 Ampere, struktur mikro daerah HAZ (C) dan logam las (D) kuat arus 125 Ampere, struktur mikro daerah HAZ (E) dan logam las (F) kuat arus 150 Ampere

Pengaruh Variasi Kuat Arus terhadap Kekuatan Tarik dan Struktur Mikro Sambungan Las

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa adanya pengaruh variasi kuat arus ter-

hadap kekuatan tarik dan struktur mikro sambungan las. Bila hasil pengujian tarik raw material yang dijadikan sebagai pembandingan yaitu 36,711 kgf/mm², maka nilai kekuatan tarik dengan kuat arus pengelasan

100 Amper mengalami penurunan yaitu 31,863 kgf/mm². Sedangkan dengan kuat arus pengelasan 125 Amper mengalami kenaikan 40,827 kgf/mm². Pada kuat arus pengelasan 150 Amper mengalami kenaikan 48,503 kgf/mm². Bila dilihat pada struktur mikro, diketahui bahwa kenaikan kuat arus pengelasan diikuti dengan bertambahnya jumlah *widmanstatten ferrite* yang terbentuk. Sehingga dapat dipastikan bahwa nilai kekerasan juga meningkat.

Pada hal ini variasi kuat arus pengelasan sangat berpengaruh pada kekuatan tarik dan kekuatan impact suatu material. Dimulai dari rapuh, yakni pada kuat arus yang sangat rendah. Pada tahap ini, akibat kuat arus yang sangat rendah mengakibatkan ukuran butir mengecil sehingga jarak antar butir semakin jauh, ikatan melemah, dan rapuh (Raharjo, 2012). Dengan demikian material amat mudah patah, sehingga energi yang dibutuhkan untuk menarik dan mematahkannya sangat kecil pula. Selanjutnya dengan bertambahnya kuat arus pengelasan, maka ukuran butir makin membesar sehingga jaraknya semakin dekat dan ikatannya menguat serta kekuatan tarik dan ketangguhannya meningkat, namun masih getas (Rubijanto, 2012). Dengan demikian kekuatan tarik dan kekuatan impactnya meningkat. Kemudian apabila temperatur makin meningkat, hingga material mencapai keuletan sampai pada temperatur maksimalnya, energi yang dibutuhkan untuk menarik dan mematahkannya akan bertambah pula sampai nilai maksimum. Selanjutnya jika lewat dari titik ini, maka energi akan menurun karena adanya deformasi (Suherman, 1988).

Pada gambar struktur mikro, jumlah *widmanstatten ferrite* yang terbentuk berbanding lurus terhadap besar kuat arus

pengelasan yang diberikan. Pada kuat arus pengelasan 150 *Ampere*, adanya struktur bainit mampu memperbaiki tegangan sisa yang muncul. Bainit yang memiliki sifat lebih kuat dari perlit, dan lebih tangguh dan lebih ulet dari *widmanstatten ferrite* menutupi cacat retak yang dihasilkan saat pendinginan. Bainit yang memiliki sifat ulet dan *widmanstatten ferrite* memiliki sifat keras, kedua unsur ini bila bersatu akan memberikan hasil yang baik. Kekerasan dan kekuatan tarik yang baik juga diikuti pertambahan panjang yang baik pula. Hal ini sesuai dengan pernyataan Wiryosumarto (1981:67) bahwa ketangguhan yang paling baik didapat bila terbentuk struktur ganda dari *widmanstatten ferrite* dan bainit bawah. Sedangkan pada kuat arus pengelasan 100 dan 125 *Ampere*, jumlah *widmanstatten ferrite* sangat banyak. Sifat *widmanstatten ferrite* yang keras dan getas tidak mampu menutupi pengaruh tegangan sisa saat pendinginan terjadi, sehingga keretakan pada daerah ini tidak dapat dihindari. Akibatnya, daerah ini memiliki kekerasan yang tinggi tetapi kekuatannya berkurang akibat cacat retak yang terbentuk selama pendinginan dan juga daerah ini tidak mampu mengalami pertambahan panjang saat pengujian tarik.

Dari uraian di sebelumnya, dapat diambil kesimpulan bahwa pengelasan SMAW pada baja karbon rendah yang menggunakan elektroda E7016, semakin tinggi kuat arus pengelasan yang diberikan maka semakin tinggi nilai kekuatan tariknya.

PENUTUP

Kesimpulan

Variasi kuat arus pengelasan memberikan pengaruh terhadap nilai kekuatan tarik sambungan las. Kekuatan

tarik sambungan las *raw material* 36,711 kgf/mm². nilai kekuatan tarik dengan kuat arus pengelasan 100 *Ampere* mengalami penurunan yaitu 31,863 kgf/mm². Sedangkan dengan kuat arus pengelasan 125 *Ampere* mengalami kenaikan 40,827 kgf/mm². Pada kuat arus pengelasan 150 *Ampere* mengalami kenaikan 48,503 kgf/mm².

Variasi kuat arus pengelasan memberikan pengaruh terhadap struktur mikro daerah HAZ dan logam las. Struktur mikro logam induk terdiri dari perlit dan ferrit, struktur mikro daerah HAZ. Struktur mikro daerah HAZ dan logam las dengan kuat arus pengelasan 150 *Ampere* terdiri dari bainit dan *widmanstatten ferrite*. Struktur mikro daerah HAZ dan logam las dengan kuat arus pengelasan 100 dan 125 *Ampere* terdiri dari asutenit sisa dan *widmanstatten ferrite*.

Dari hasil penelitian jika pengelasan SMAW menggunakan elektroda E.7016 maka kuat arus yang direkomendasikan adalah 150 *Ampere*.

DAFTAR PUSTAKA

- Adam, Kaharuddin. 2011. *Faktor Perpatahan dan Kelelahan pada Kekuatan Bahan Material*. Jurnal Teknik Mesin. 6-12.
- Alip, Muhammad. 1989. *Teori dan Praktik Las*. Jakarta: Proyek pengembangan lembaga pendidikan tenaga kependidikan Jakarta
- Aljufri. 2013. *Ketanggunhan Material Baja AISI 1050 Akibat Pembebanan Impact Hasil Pengelasan SMAW yang Telah Mengalami Proses Hardening dan Tanpa Proses Hardening*. Skripsi tidak diterbitkan. Aceh: Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh.
- ASTM Internasional (E8/E8M - 09). *Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*. 2010. United States of America.
- ASTM International G48, *Standard Test Methods for Pitting and Crevice Corrosion Resistance of Stainless Steels and Related Alloys by Use of Ferric Chloride Solution*. 2003. United States of America.
- Hanafi, Ahmad. 2012. *Pengaruh jenis media pendingin terhadap kekuatan tarik sambungan logam las plat baja St-60 dengan pengelasan MIG/MAG*. Skripsi tidak diterbitkan. Malang: Fakultas Teknik Universitas Negeri Malang.
- Marihot, Goklas MTB. 1984. *Mengelas Logam dan Pemilihan Kawat Las*. Jakarta : P.T. Gramedia
- PPKI. 2010. *Pedoman Penulisan Karya Ilmiah*. Malang: Universitas Negeri Malang.

Saran

Bagi industri pengelasan: (a) Perlu diperhatikan tentang pemilihan elektroda pada pengelasan SMAW agar mendapatkan hasil las dengan sifat mekanik yang baik. Disarankan menggunakan elektroda E7016 untuk menghasilkan sambungan las dengan kekuatan tarik yang baik; (b) Perlu diperhatikan tentang pemilihan kuat arus pada pengelasan SMAW agar mendapatkan hasil las dengan sifat mekanik yang baik. Disarankan menggunakan kuat arus 150 *Ampere* untuk menghasilkan sambungan las dengan kekuatan tarik yang baik.

Bagi peneliti selanjutnya: (a) Perlu penelitian lebih lanjut tentang pengaruh variasi kuat arus pada pengelasan SMAW untuk menghasilkan sifat mekanik seperti kekerasan, kekuatan tekuk, kekuatan tarik dan lain-lain untuk menghasilkan produk las yang baik; (b) Perlu penelitian dengan spesimen lebih banyak sehingga mendapatkan hasil yang lebih teliti.

- Raharjo, Samsudi & Rubijanto J.P. 2012. *Variasi Arus Listrik Terhadap Sifat Mekanis Sambungan Las Shielding Metal Arc Welding (SMAW)*. Jurnal FT UMS, 1412-9612.
- Santosa, Joko. 2006. *Pengaruh Arus Pengelasan Terhadap Kekuatan Tarik dan Ketangguhan Las SMAW dengan Elektroda E7018*. Skripsi Tidak Diterbitkan. Semarang. Universitas Negeri Semarang.
- Saroso. 1980. *Pedoman Melas Listrik*. Jakarta: Djambatan
- Sindo, Kou. 2002. *Welding Metallurgy* (2nd Ed.). New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Siswanto. 2011. *Konsep Dasar Teknik Las (Teori dan Praktik)*. Jakarta : P.T. Prestasi Pustakarya.
- Suherman. 1987. *Ilmu Logam I*. Institut Teknologi Sepuluh November : Surabaya.
- Widharto, Sri. 2003. *Petunjuk Kerja Las*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Wirjosumarto. 2000. *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta : Pradnya Paramita
- Zainuri, A. Muhib. 2008. *Kekuatan bahan*. Yogyakarta. Penerbit Andi.