

KARAKTERISASI SIFAT MEKANIS DAN STRUKTUR MIKRO PIPA BAJA JIS Z 2201

Heru Danarbrot*)

Abstrak

Pipa ini terbuat dari pelat baja karbon rendah yang dalam fabrikasinya memerlukan pengelasan listrik frekuensi tinggi 70 Hz. Adanya siklus termal dalam pengelasan dapat mengakibatkan terjadinya perubahan struktur mikro dan sifat mekanik dari hasil sambungan las. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik pipa baja JIS Z 2201 menggunakan pengujian tarik dan pengujian kekerasan pada masing-masing daerah logam induk, daerah HAZ, dan daerah pengelasan. Baja karbon rendah yang digunakan sebagai pipa air memiliki sifat mampu las yang baik. Perubahan sifat mekanik diamati dengan melakukan pengujian tarik dan kekerasan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perubahan struktur mikro terutama terjadi pada HAZ dan daerah las. Terbentuknya butir yang besar pada HAZ menjadikan daerah ini memiliki kekerasan yang lebih rendah dibandingkan dengan daerah las. Struktur mikro daerah las terdiri dari struktur Widmanstätten yang kasar dan daerah las merupakan daerah yang paling keras dan getas.

Kata kunci: *baja karbon, las listrik frekuensi tinggi, struktur mikro, sifat mekanik*

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kebutuhan pipa baja karbon rendah di dalam negeri sampai saat ini cukup tinggi, terutama dalam menunjang industri otomotif, industri makanan dan minuman, peralatan kantor, peralatan rumah tangga, dan lainnya. Pembentukan pipa dilakukan dengan proses pembentukan dan pengelasan dilakukan pada sambungannya.

Dalam pengelasan hal yang memang terjadi perhatian lebih adalah ketika proses penyambungan logam las ditargetkan karena rentan cacat las yang terbentuk. Walaupun cacat las memang tidak direncanakan dalam proses pengelasan, aktualnya sering terjadi ketika pengelasan. Cacat las secara aktual sering terjadi dalam sambungan las, diantaranya retak (*crack*) dan *incomplete penetration* yaitu cacat yang disebabkan distribusi arus induksi panas yang tidak merata. Kecuali itu juga

* Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pandanaran

terjadi porositas yaitu cacat oleh udara atau gas yang terkurung oleh las, sehingga terjadi rongga besar atau kecil. Hasil survei lapangan di PT. Indonesia Steel Tube Works (PT. ISTW Semarang) menunjukkan bahwa, umumnya sering terjadi masalah pada sambungan las pipa baja berdiameter kecil ($\leq 1,5$ inchi), hal ini mengakibatkan nilai elongasi rendah sehingga terjadi keretakan atau pecahan pada sambungan las tersebut, terlebih dengan menerima gaya tekan air (hidrostatik), maka pipa baja ini harus dapat mempertahankan kekuatannya.

Salah satu jenis pengelasan yang banyak dipakai untuk mengelas pipa baja adalah pengelasan frekuensi tinggi (*high frequency welding*). Besarnya arus listrik pengelasan adalah salah satu dari parameter pengelasan yang dapat mempengaruhi hasil pengelasan pipa baja karbon. Makin tinggi arus listrik dalam pengelasan, makin tinggi pula penetrasi serta kecepatan pencairan. Arus listrik yang besar juga dapat memperkecil percikan butiran dan meningkatkan penguatan mekanis. Tetapi dengan tingginya arus listrik maka akan memperlebar daerah HAZ (Basuki, 2009).

Pada pengelasan selalu akan terjadi proses thermal yang dapat ditunjukkan dengan terjadinya perubahan struktur mikro pada daerah HAZ (*Heat Affected Zone*), daerah panas ini dipengaruhi oleh jenis material, input panas, dan kecepatan pendinginan. Kecepatan pendinginan seluruh permukaan terjadi tidak seragam, hal ini disebabkan karena pemberian panas terjadi hanya pada salah satu sisi saja, sehingga terjadi tegangan sisa. Pengembangan yang terjadi akibat pemanasan setempat pada pipa baja karbon akan terhalang, Hal ini disebabkan oleh panas yang terserap oleh material sehingga jangkauan panas semakin pendek. Besarnya tegangan yang terjadi pada proses pengelasan tergantung pada jenis pengelasan, jenis material, proses pengelasan, dan proses pendinginan.

Dalam penelitian ini penulis ingin mengamati sifat fisis dan mekanis hasil sambungan las pada pipa baja JIS Z 2201 Φ diameter 25,9 mm dan tebal 1,9 mm dengan karbon rendah akibat cacat porositas dan *incomplete penetration* yang terbentuk dari pengelasan frekuensi tinggi (*high frequency electric welding*).

1.2. Perumusan dan Batasan Masalah

Berkaitan dengan luasnya bahasan, penelitian ini mempunyai batasan yaitu: kualitas produk pipa baja JIS Z 2201 berhasil tergantung pada proses dikatakan berhasil tergantung pada proses pengelasan, yaitu dikendalikan oleh karakteristik sifat mekanis dan struktur mikro sambungan pipa baja JIS Z 2201. Dalam hal ini pengelasan dilakukan pada las frekuensi tinggi 70 Hz dengan arus 320A, kecepatan las 70 m/min dan kecepatan nyala api sama sebesar 65 m/min, jarak pemanasan induksi elektromagnetik 0,9-1,2 mm antara work coil dengan press roll.

1.3. Originalitas Penelitian

Beberapa jurnal internasional telah menyajikan hasil penelitian untuk menganalisis ketangguhan sambungan las dan kekuatan mekanis pada proses pengelasan satu dan dua tahap dengan temperatur yang bervariasi (*PWHT-post weld heat treatment*). Kemudian penulis melakukan penelitian hasil pengelasan produk sambungannya pipa baja JIS Z 2201 karbon rendah langsung dari produksi manufaktur untuk mengetahui karakteristik sifat mekanis dan struktur mikro.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

- a. Sebagai pelengkap literatur pada penelitian yang sejenisnya dalam rangka pengembangan teknologi khususnya bidang pengelasan.
- b. Sebagai informasi bagi pengelas untuk meningkatkan kualitas hasil pengelasan.
- c. Sebagai informasi penting guna meningkatkan pengetahuan bagi peneliti dalam bidang pengujian bahan, pengelasan, dan bahan teknik.

1.5. Tujuan Penelitian

- a. Karakterisasi pipa baja JIS Z 2201 menggunakan pengujian tarik dan pengujian kekerasan pada masing-masing daerah logam induk, daerah HAZ, dan daerah pengelasan.
- b. Analisis struktur mikro pada masing-masing logam induk, daerah HAZ, dan

daerah pengelasan pipa baja JIS Z 2201.

c. Analisis pengujian NDT (*non-destructive testing*) pada pipa baja JIS Z 2201.

2. LANDASAN TEORI

2.1. Standarisasi Mengelas Baja

Pengelasan merupakan bagaian tak terpisahkan dari kegiatan industri karena memegang peranan utama dalam rekayasa dan reparasi produk logam. Hampir tidak mungkin pembangunan suatu pabrik tanpa melibatkan unsur pengelasan. Pada area industrialisasi dewasa ini teknik pengelasan banyak dipergunakan secara luas pada penyambungan batang-batang konstruksi bangunan baja atau konstruksi mesin. Luasnya penggunaan teknologi ini disebabkan karena bangunan dan mesin yang dibuat dengan teknik penyambungan menjadi ringan dan lebih sederhana dalam proses pembuatannya. Lingkup penggunaan teknik pengelasan dalam bidang konstruksi sangat luas meliputi perkapalan, jembatan, rangka baja, pipa saluran dan lain sebagainya. Disamping itu proses las dapat juga dipergunakan untuk mengisi lubang-lubang pada coran, membuat lapisan keras pada perkakas, mempertebal bagian-bagian yang aus dan lain-lain. Pengelasan bukan tujuan utama dari konstruksi, tetapi merupakan sarana untuk mencapai pembuatan yang lebih baik. Karena itu rancangan las harus betul-betul memperhatikan kesesuaian antara sifat-sifat las yaitu kekuatan dari sambungan dan memperhatikan sambungan yang akan dilas, sehingga hasil dari pengelasan harus dititik beratkan pada proses yang paling sesuai untuk tiap-tiap sambungan las. Dalam hal ini dasarnya adalah efisiensi yang tinggi, biaya yang murah, penghematan tenaga dan penghematan energi sejauh mungkin.

Mutu dan hasil pengelasan disamping tergantung dari pengerjaan lasnya sendiri dan juga sangat tergantung dari persiapan sebelum pelaksanaan pengelasan adalah proses penyambungan antara dua bagian logam atau lebih dengan menggunakan energi panas. Penyiapan material harus disesuaikan dengan WPS (*Welding Procedure Specification*) atau gambar kerja yang digunakan. WPS adalah

sebuah prosedur standar persiapan material yang dirancang sedemikian rupa melalui pengujian-pengujian di laboratorium dan dilas oleh juru las yang profesional. Hal ini sangat erat hubungannya arus listrik, ketangguhan, cacat las, serta retak yang pada umumnya mempunyai pengaruh yang fatal terhadap keamanan dari material yang dilas. Maka dari itu untuk mengusahakan terhadap hasil pengelasan yang baik dan berkualitas maka perlu memperhatikan sifat-sifat bahan yang akan dilas. Terwujudnya standar-standar yang teknik pengelasannya akan membentuk dan memperluas lingkup pemakaian sambungan las. Untuk dapat mengetahui pengaruh hasil pengelasan frekuensi tinggi pada pipa baja terhadap uji kekerasan, struktur mikro dan uji tarik dari pengelasan maka perlu dilakukan pengujian terhadap terhadap benda uji hasil pengelasan.

1.2. Baja karbon

Baja karbon adalah paduan antara Fe dan C dengan kadar C sampai 2,14%. Sifat - sifat mekanik baja karbon tergantung dari kadar C yang dikandungnya. Setiap baja termasuk baja karbon sebenarnya adalah paduan multi komponen yang disamping Fe selalu mengandung unsur-unsur lain seperti Mn, Si, S, P, N, H, yang dapat mempengaruhi sifat-sifatnya. Baja karbon dapat diklasifikasikan menjadi tiga bagian menurut kadar karbon yang dikandungnya, yaitu baja karbon rendah dengan kadar karbon kurang dari 0,25 %, baja karbon sedang mengandung 0,25 – 0,6 % karbon, dan baja karbon tinggi mengandung 0,6 – 1,4 % karbon (Tata Surdia, 1985).

2.2.1 Baja Karbon rendah

Baja karbon rendah mengandung kurang dari 0,5 % karbon. Kebanyakan dari produk baja ini berbentuk pelat hasil pembentukan roll dingin dan proses anneal. Kandungan karbonnya yang rendah dan mikrostrukturnya yang terdiri dari fasa ferit dan pearlit menjadikan baja karbon rendah bersifat lunak dan kekuatannya lemah namun keuletan dan ketangguhannya sangat baik. Baja karbon rendah kurang responsif terhadap perlakuan panas untuk mendapatkan mikrostruktur martensit maka dari itu untuk meningkatkan kekuatan dari baja karbon rendah dapat dilakukan dengan proses roll dingin maupun karburisasi.

2.2.2 Baja Karbon Sedang

Baja ini mengandung karbon antara 0,25%–0,60 %. Didalam perdagangan biasanya dipakai sebagai alat-alat perkakas, baut, poros engkol, roda gigi, ragam, pegas dan lain-lain.

2.2.3 Baja karbon tinggi

Baja karbon tinggi ialah baja yang mengandung karbon antara 0,6% –1,4%. Baja ini biasanya digunakan untuk keperluan alat-alat konstruksi yang berhubungan dengan panas yang tinggi.

3. METODE PENELITIAN

Metode penelitian adalah suatu cara yang digunakan dalam penelitian, sehingga pelaksanaan dan hasil penelitian bisa untuk dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen, yaitu suatu cara untuk mencari hubungan sebab akibat antara dua faktor yang berpengaruh.

Eksperimen dilaksanakan dilaboratorium dengan kondisi dan peralatan yang diselesaikan guna memperoleh data tentang pengaruh arus pengelasan terhadap kekuatan tarik dan ketangguhan las frekuensi tinggi.

3.1 Dimensi Benda Uji

Spesifikasi benda uji yang digunakan dalam eksperimen ini adalah pipa baja JIS Z 2201 hasil pengelasan frekuensi tinggi (70 hz) dari PT. ISTW Semarang dengan diameter 25,9 mm dan tebal 1,9 mm.

3.2 Sampel

Sampel dalam penelitian ini adalah semua hasil pengelasan material baja karbon rendah JIS Z 2201 diameter 25,9 mm, tebal 1,9 mm dengan pengelasan frekuensi 70 hz. Tabel 3.1 Jumlah sampel pada tiap pengujian

No.	Sampel	Jenis pengujian	Jumlah sampel	Frekuensi Hasil pengelasan
1.	Pipa 1, pipa 2, pipa 3	Pengujian tarik	3 buah	70 hz
2.	Pipa 1, pipa 2, pipa 3	Pengujian flattening	3 buah	70 hz
3.	Pipa 1, pipa 2, pipa 3	Pengujian kekerasan	3 buah	70 hz
4.	Pipa 1, pipa 2, pipa 3	Pengujian mikrostruktur	3 buah	70 hz
5	Pipa 1, pipa 2, pipa 3	Pengujian NDT (penetrant)	3 buah	

3.3 Pelaksanaan Penelitian

3.4.1 Persiapan Penelitian

1. Persiapan Bahan

Bahan yang diperlukan dalam penelitian ini adalah pipa baja karbon rendah JIS Z 2201 hasil pengelasan dengan ukuran diameter 25,9 mm dan tebal 1,9 mm.

2. Persiapan Alat-alat

Mesin uji komposisi, mesin gergaji beserta kelengkapannya, penggaris, mesin amplas, kikir, mesin uji foto struktur mikro, mesin uji *microhardness vickers*, mesin uji tarik *hydraulic Servo Pulser*, mesin uji tekan (*Flattening*), cairan penetrant.

3.4.2 Diagram Alir Penelitian

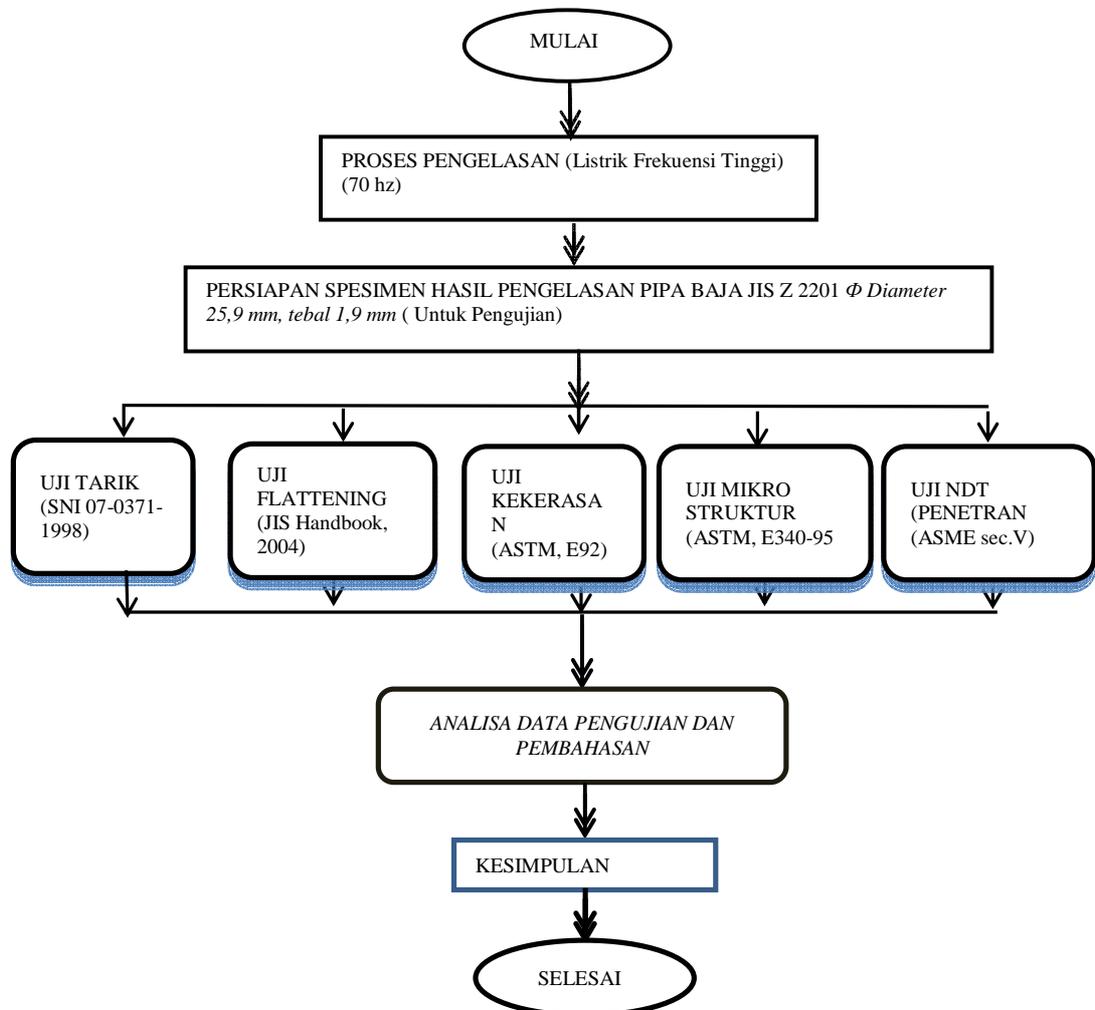


Diagram alir penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

4.1.1 Hasil Pengujian Komposisi Material

Hasil pengujian komposisi kimia material pada penelitian ini disajikan dalam tabel 4-1 sebagai berikut :

Tabel 4-1 Komposisi kimia sampel uji (% berat) pipa baja JIS Z 2201 Φ diameter 25,9 mm, tebal 1,9 mm.

Unsur	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
Berat%	98,4	0,051	0,257	0,334	0,0050	0,015	0,038	0,074	0,22

4.1.2 Makro Pipa Baja Karbon Rendah

Pemeriksaan metalografi daerah lasan berbentuk kerucut. Dalam rangka untuk menentukan aliran logam di daerah las, spesimen metalografi disusun oleh teknik metalografi standar dan kemudian tergores oleh HNO₃ dengan konsentrasi 2,5% untuk mengungkapkan lebar dan keseragaman wilayah ikatan dari garis aliran (serat) dan aliran sudut yang telah dicapai. Terlihat bahwa batasan antar wilayah *base metal* dan HAZ tidak tampak dan serat pembatasannya juga tidak jelas.

4.1.3 Analisis Struktur Mikro Pipa Baja Karbon Rendah

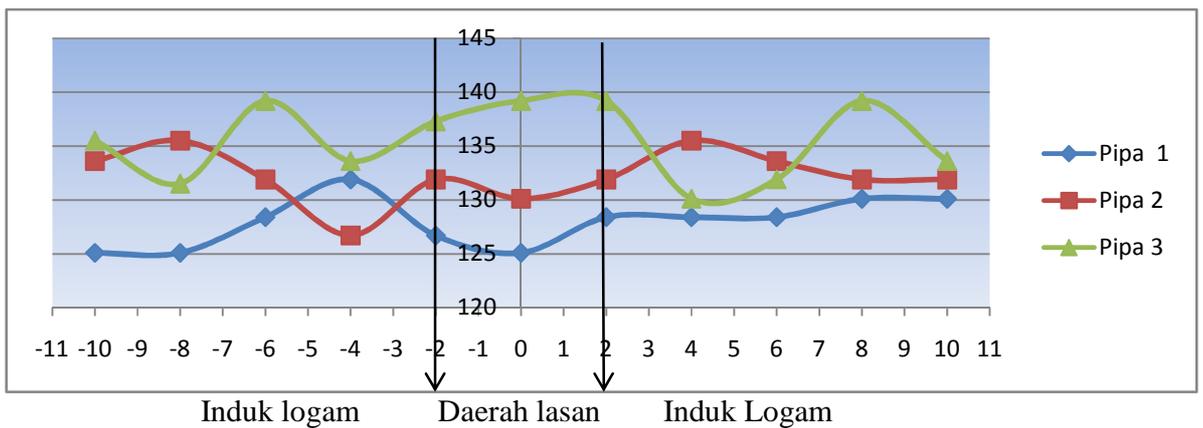
Hasil pengujian mikrostruktur memperlihatkan terjadinya perbedaan jenis/ukuran struktur mikro dan fasa yang terbentuk dan dinyatakan dengan warna kontras, terutama antara logam las (manik-manik) dengan daerah pengaruh panas sangat jelas perbedaannya yang dipisahkan pada batas las. Pada logam induk struktur mikro terdiri dari fasa ferit (berwarna putih) dengan ukuran butiran rata-rata 7 μm , maka ukuran butir HAZ hampir tidak kelihatan dan dengan logam induk hampir sama. Karena pengaruh panas di daerah las struktur menjadi ferit widmanstatten yang kecil dan tajam-tajam ukuran butir lebih kecil rata-rata 4 μm .

4.1.4 Analisis Kekerasan Bahan Pipa

Hasil pengujian kekerasan metode *microhardness vickers* pada pipa baja ini dalam Tabel 4-2.

Tabel 4.2 Hasil uji kekerasan *micro vickers* dalam satuan kg/mm^2

Titik	Daerah	Spesimen		
	Logam las	Pipa 1	Pipa 2	Pipa 3
1	Logam las	126,7	131,9	137,3
2		125,1	130,1	139,2
3		126,7	131,9	139,2
Rata-rata		126,8	131,3	138,6
1	Logam induk ke arah kiri dari titik 0	125,1	133,6	135,5
2		125,1	135,5	131,9
3		128,4	131,9	139,2
4		131,9	126,7	133,6
1	Logam induk ke arah kanan dari titik 0	128,4	135,5	130,1
2		128,4	133,6	131,9
3		130,1	131,9	139,2
4		130,1	131,9	133,6
Rata-rata		128,4	132,6	134,4



Kurva distribusi *micro hardness vickers*

Pada kurva distribusi kekerasan dihitung dari titik sentral 0 pada daerah tengah pengelasan yang terdistribusi secara horisontal ke kanan dan ke kiri dengan beberapa titik pengujian *microhardness vickers* dengan jarak masing-masing titik 0,2 mm. Pada daerah las pipa 1 nilai kekerasan rata-rata adalah 126,8 kg/mm², pipa 2 adalah 131,3 kg/mm², dan pipa 3 adalah 138,6 kg/mm². Pada daerah logam induk nilai kekerasan rata-rata pipa 1 adalah 128,4 kg/mm², pipa 2 adalah 132,6 kg/mm², dan pipa 3 adalah 132,6 kg/mm². Jadi distribusi nilai kekerasan semua daerah logam induk dan logam las hampir sama, tidak ada perbedaan yang signifikan untuk tiap-tiap pipa, karena mempunyai proses produksi yang sama, perlakuan yang sama, dan material yang sama.

4.1.5 Analisis Kekuatan Tarik

Hasil pengujian kekuatan tarik material pada penelitian ini disajikan dalam tabel 4.3. Benda uji pipa berasal dari bahan baku Standar SGP JIS G 3452, dengan spek *Black Pipe without Galvanizing* (Tabel 4.3).

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Tarik Untuk Kualitas Kekuatan Tarik Pipa Baja Karbon Rendah JIS Z 2201 diameter 25,92 mm dan tebal 1,91 mm

PARAMETER	Benda uji		
	PIPA 1	PIPA 2	PIPA 3
Kekuatan tarik $\sigma_u = (\text{kg/mm}^2)$	35,20	35,34	35,62
Kekuatan Luluh $\sigma_y = (\text{kg/mm}^2)$	33,94	35,34	34,22
Perpanjangan (%)	52,86	52,41	47,88

Pengujian tarik bahan baku pipa baja JIS Z2201 dilakukan dengan

menggunakan mesin shimadzu selvo pulser berkapasitas 50 ton. Pengujian ini adalah untuk melihat kekuatan tarik material pipa baja. Selanjutnya hasil pengujian tersebut akan dibandingkan dengan standar SNI. Adapun hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai perpanjangan masing-masing pipa baja lebih besar dari 30% ini berarti sesuai dengan standar SNI, tetapi dari hasil pengujian menunjukkan besarnya elongasi yang agak tinggi, disini diakibatkan adanya selip kira-kira 8% pada waktu pencekaman saat diuji tarik dikarenakan benda uji mempunyai bentuk yang berongga. Oleh karena itu hasil yang aktual dari uji tarik didapatkan nilai elongasi pipa 1 adalah $52,86\% - 8\% = 44,86\%$, pipa 2 adalah $52,41\% - 8\% = 44,41\%$, dan pipa 3 adalah $47,88\% - 7,5\% = 40,38\%$.

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan.

1. Dari perhitungan kadar karbon C sebesar 0,05% bermakna bahwa baja karbon yang digunakan sebagai pipa air memiliki sifat mampu las yang baik. Pengelasan dilakukan dengan pemanasan induksi elektromagnetik sedangkan pengamatan perubahan struktur mikro dilakukan dengan mikroskop optik. Perubahan sifat mekanik diamati dengan melakukan pengujian tarik dan kekerasan.
2. Pada struktur mikro menunjukkan bahwa logam induk struktur mikro terdiri dari fasa ferit (berwarna putih) dengan ukuran butiran rata-rata 7 μm . Karena pengaruh panas maka ukuran butir logam induk menjadi lebih kecil dan lebih rapat yaitu 4 μm . Sedangkan di daerah las struktur las struktur menjadi ferit widmanstatten yang kecil dan tajam-tajam ukuran butir lebih kecil rata-rata 3 μm .
3. Pada pengujian tarik didapatkan nilai perpanjangan untuk 3 pipa adalah diatas 30%. Hal ini menunjukkan angka yang layak dan aman untuk fungsinya, ini sesuai dengan standar SNI.
4. Pada hasil NDT, yaitu uji penetrant tidak ada tanda timbul dari penetrasi pada pipa baja tersebut, yang berarti bahwa pipa dalam kondisi tidak ada cacat retak pada permukaan (*surface defect*).

5.2 Saran

1. Untuk lebih akurasi hasil pengujian perlu dilakukan pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*) untuk daerah kritis pipa.
2. Dilakukan pengujian charpy untuk mengetahui jenis retak statis dan dinamis pada pipa.

DAFTAR PUSTAKA

Adnyana, 1998, *Optimization of Welding Technology for User*, Yayasan Puncak Sari, Jakarta

Aisi 1020 dengan variasi tebal plat, Jurusan Teknik Material FTI-ITS.

Alip, M., 1989, *Teori dan Praktik Las*, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.
Arifin, S, 1997, *Las Listrik dan Otogen*, Ghalia Indonesia, Jakarta.

ASM, 1989, *Metallurgy and Microstructures*, ASM Handbook Committee, Metal Park, Ohio.

ASTM, 2002, A-106, “*Standard Specification for Seamless Carbon Steel Pipe for High-Temperature Service*”.

AWS, 1997, WHB-4, “*Dissimilar Metals*”

ASM team, 1993, “*ASM Metal Handbook Volume 6 Welding, Brazing and Soldering*”, American Society for Metals, The United States of America.

Basuki W., 2009, Analisis Perlakuan Panas Normalising pada Pengelasan Argo terhadap sifat mekanik hasil lasan Baja karbon rendah, *Jurnal Teknologi Technoscientia*, Vol.2 No.1 Agustus, Teknik ITN Malang.

Bambang Wahyu Sidarta, Dkk., 2008, Pengaruh Arus Listrik dan Tekanan Gas Las Mig Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pipa Mild Steel, *Jurnal Teknologi*, Vol. 32 1, No. 1, 30-34.

Bintoro, A. G., 2005, *Dasar-Dasar Pekerjaan Las*, Kanisius, Yogyakarta.

Cary, H. B., 1994, *Modern Welding Technology*, A Simon & Schuster Company, Englewood Cliffs, New Jersey. *Soft Arc 7018-1*, *Hobart Brothers Company*, <http://www.HobartBrothers.com>., diakses tanggal 23 Juli 2006.

JIS Handbook, *Ferrous Materials and Metallurgy II*, 2004

- Kusmayadi, Budi Agung K, 2008, Analisa Hasil Pengelasan smaw ButtJoint pada Baja Aisi 1020 dengan variasi tebal plat, Jurusan Teknik Material FTI-ITS.
- Lippold, Kotecki, 2005, *Welding Metallurgy and Weldability of Stainless Steel*, Wiley
- Kenyon, W., Ginting, D., 1985, *Dasar-Dasar Pengelasan*, Erlangga, Jakarta.
- Kou Sindo, 2003, “ *Welding Metalurgy* “, second edition, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Kou, S., 1987, *Welding of Metallurgy*, A Wiley Interscience Publication, University of Winconsin, Kanada.
- Malau, V., 2003, *Diktat Kuliah Teknologi Pengelasan Logam*, Yogyakarta. Smith, D., 1984, *Welding Skills and Technology*, McGraw-Hill, New York.
- Maintenance and Quality Control Handbook, PT. Indonesia Steel Tube Works
- NACE MR 0175, *International Standar for microhardness of low carbon steel pipe*, 2005
- Okumura, Toshie., Wiryosumarto Harsono., 2000, “*Teknologi Pengelasan Logam*”, Cetakan ke-8, PT Pradnya Paramita, Jakarta.
- Prof. Ir. Tata Surdia MS, *Pengetahuan Bahan Teknik*, 1984
- Rahim Maksuti, Hamit Mehmeti, Heinrich Oettel, *Welding Journal*, 2007, “*The Influence of the Plastic Deformation on the Metal Flow During Frequency Electric Resistance Welding Longitudinally Welded Pipes*”, 2010
- Sonawan, H., Suratman, R., 2004, *Pengantar Untuk Memahami Pengelasan Logam*, Alfa Beta, Bandung
- Suharsimi, A., 2002, *Prosedur Penelitian*, Bina Aksara, Jakarta. Suharto, 1991,
- Suratman, M., 2001, *Teknik Mengelas Asetilen, Brazing dan Busur Listrik*, Pustaka Grafika, Bandung.
- Surdia T., dan Saito S., 2000, *Pengetahuan bahan teknik*, edisi III, PT.Pradnya paramita, Jakarta
- SNI, *Batang uji tarik logam*, 07-0371-1998
- Teknologi Pengelasan Logam*, Rineka Cipta, Jakarta. Supardi, E., 1996, *Pengujian Logam*, Angkasa, Bandung.

Van Vlack, *Ilmu dan Teknologi Bahan*, 1983

William D. Callister, *Materials Science and Engineering*, 7 th Edition, 2003

Widharto, S., 2001, *Petunjuk Kerja Las*, Pradnya Paramita, Jakarta. Wiryosumarto, H., 2000, *Teknologi Pengelasan Logam*, Erlangga, Jakarta.

Wiryosumarto, Harsono dan Okumura Toshie, 2004, *Teknologi Pengelasan Logam*,