

Pengaruh Elektroda pada Sambungan Las Baja Sa106 Grade A Dengan Metode SMAW

Suherman^{a*}, Rahmawaty^b, Susri Mizhar^c Abdul Latif^d, Ilmi Abdullah^e

^aProgram Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik-Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Jalan Kapten Mochtar Basri No 3 Glugur Darat Medan-Indonesia

^bJurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Medan
Jalan Almamater No1 Padang Bulan Medan-Indonesia

^cProgram Studi Teknik Mesin Akademi Teknik Deli Serdang
Jalan Sultan Hasanuddin Tanjung Garbus Lubuk Pakam-SUMUT-Indonesia

^{d,e}Jurusan Teknik Mesin Institut- Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Medan
Jalan Gedung Arca No 52 Teladan Barat Medan-Indonesia

*E-mail: suherman.me.umsu@gmail.com

Abstract

The welding joints of steel pipe used pressure vessels are required to have good quality joints so that they can accept pressure at high temperatures. The SA 106 Grade A carbon steel is always used as a superheater pipe in boilers because it has high strength and toughness, good weldability. The purpose of this study is to compare the mechanical properties of welding joints and the microstructure of the welding metals used difference type electrodes (E 6013 and E 7018) used in the welding of SA 106 grade A steel pipes with the SMAW method. The steel pipe made V dan used welding machine current type polarity DC (+) at welding current of 90 A. The coupon test is carried out several tests, namely tensile, bending, and hardness testing. The Observation of macrostructure and microstructure in the weld zone, HAZ, and parent material used microscope optic metallurgy. The results show the highest maximum of tensile strength obtained at the welded joint using the E7018 electrode. The impact strength of both types of welding electrodes has decreased when compared to the parent metal. The Macro-structure observations showed the presence of welding defects, namely the lack of fusion in the welding root and sidewall. The Microstructure in both welding metals is mainly acicular ferrite, grain boundary ferrite, and primary ferrite. The Impact toughness of the specimen with E6013 electrodes has decreased compared to the parent material.

Keyword: SA 106 Grade A, Electrode E 6013, E 7018, SMAW, Pressure Vessels

Abstrak

Pada sambungan las pipa baja yang digunakan pada bejana bertekanan diharuskan memiliki kualitas sambungan yang baik sehingga mampu menerima tekanan pada temperature tinggi. Baja karbon SA 106 Grade A adalah baja yang selalu digunakan sebagai pipa superheater pada boiler karena memiliki sifat kekuatan, ketangguhan yang tinggi dan mampu las yang baik. Tujuan penelitian ini adalah membandingkan kekuatan sambungan las dan mikrostruktur pada kedua jenis elektroda las (E 6013 dan E 7018) yang digunakan pada pengelasan pipa baja 106 grade A dengan metode SMAW. Pipa Baja karbon dibuat kampuh V dan digunakan mesin las jenis DC(+) pada arus sebesar 90 A. Test coupon dilakukan beberapa pengujian yaitu tarik, uji lengkung, dan uji kekerasan. Pengamatan makrostruktur dan mikrostruktur pada daerah las, HAZ dan material induk menggunakan mikroskop optik. Hasil penelitian ini menunjukkan nilai kekuatan tarik maksimum yang paling tinggi diperoleh pada sambungan las dengan menggunakan elektroda E7018. Nilai kekuatan impact pada kedua jenis elektroda las mengalami penurunan bila dibanding dengan logam induk. Pengamatan makrostruktur menunjukkan adanya cacat las yaitu kurangnya fusi pada bagian akar las dan dinding kampuh. Mikrostruktur pada kedua logam las didominasi *acicular ferrite*, ferit batas butir dan *primary ferit*. Nilai ketangguhan pada specimen dengan elektroda las E6013 mengalami penurunan dibanding material induk.

Kata kunci: SA 106 Grade B, Elektroda E 6013, E 7018, SMAW, Bejana Tekan

1. Pendahuluan

Penggunaan ketel uap (*boiler*) sangat dominan digunakan industri seperti industry pengolahan pabrik kelapa sawit, pengolahan minyak dan sebagai pembangkit listrik tenaga uap. Kondisi operasional ketel uap melibatkan tekanan tinggi dan temperatur tinggi. Untuk meningkatkan efisiensi termal dari ketel uap, panas yang terbuang harus dikurangi

seminimal mungkin dalam proses produksi. Ini terpenuhi dengan meningkatkan tekanan dan temperatur uap. Sehingga perlu pengetahuan tentang sifat-sifat material logam yang digunakan pada temperatur tinggi.

Baja karbon rendah jenis SA 106 dapat dibagi menjadi 3 grade yaitu Grade A, B dan C. baja karbon jenis SA 106 Grade A adalah merupakan baja karbon sedang dimana kandungan karbon kira-kira 0,1-0,2 % rendah [10]. Baja ini memiliki kandungan Nikel (Ni) yang cukup besar 3-4% sehingga meningkatkan ketahanan korosinya. Baja ini memiliki kekuatan tarik minimum yaitu 330 MPa dan memiliki ketangguhan yang baik karena baja ini termasuk baja karbon C-Mn-Si [1] Baja ini juga sangat cocok digunakan untuk fasilitas pembangkit listrik tenaga nuklir [9]

Dalam industry pembuatan bejana tekan sering menggunakan pipa jenis ASTM SA106 Grade A untuk komponen utama dari boiler seperti pipa header, superheater dan lainnya. Jenis baja ini biasanya dilakukan penyambungan dengan proses pengelasan dengan metode SMAW atau metode lainnya atau kombinasi dari metode GTAW dengan metode SMAW [14][8]. Karena penggunaannya yang berada dilingkungan temperatur dan tekanan tinggi maka dibutuhkan kualitas sambungan yang baik sehingga tidak terjadinya kerusakan yang timbul akibat pengaruh temperatur tersebut.

Elektroda las jenis *Rutile* (E6013) mengandung sebagian besar titanium oksida (*rutile*) dalam lapisan yang memudahkan pengapian busur listrik, operasi busur halus dan percikan api las yang sedikit. Penggunaan elektroda ini adalah untuk tujuan umum dengan karakteristik pengelasan yang baik dan dapat digunakan dengan sumber arus listrik AC dan DC pada semua posisi pengelasan. Elektroda ini sangat cocok untuk pengelasan sambungan fillet dengan posisi pengelasan secara horizontal/ vertikal (HV). Jenis elektroda ini memiliki keunggulan antara lain sifat mekanik logam las yang dihasilkan menengah, menghasilkan profil manik las yang baik, posisi Pengelasan dimungkinkan dengan slag fluida (mengandung fluoride) dan terak yang mudah dilepas (pada metode pengelasan SMAW).

Jenis elektroda jenis *Basic* (E7018) mengandung lapisan kalsium karbonat tinggi (batu kapur) dan kalsium *fluoride* (*Fluorspar*), membuat lapisan terak lebih banyak cairan daripada pelapis *rutile*. Hal ini juga akan membuat pembekuan cepat yang membantu pengelasan diposisi vertikal dan overhead. Elektroda ini digunakan untuk pengelasan bagian-bagian fabrikasi menengah dan berat dimana kualitas las lebih tinggi, sifat mekanik yang baik dan resistensi terhadap retak karena diperlukan regangan tinggi. Adapun cirinya adalah pada Logam las dengan kandungan hidrogen rendah, memerlukan arus/ kecepatan pengelasan yang tinggi, profil manik buruk (profil permukaan cembung dan kasar) dan penghapusan terak sulit dilakukan.

Beberapa penelitian yang berkaitan dengan pengelasan pada pipa baja SA 106 Grade B/ ASTM 516 Grade 70 telah dilakukan beberapa peneliti. Proses pengelasan dengan metode SMAW menyebabkan adanya tegangan sisa yaitu berupa tekanan pada daerah zona fusi dan daerah HAZ serta tegangan tarik pada daerah las [12]. Dengan melakukan proses PWHT menurunkan nilai regangan dan tegangan sisa pada baja SA 106 grade B [6]. Proses perlakuan panas pasca pengelasan (PWHT) meningkatkan kekerasan, kekuatan tarik dan ketangguhan hasil lasan pada baja SA 106 Grade B, akan tetapi tidak mempengaruhi mikrostrukturnya [6]. Sedangkan Sawaldi melaporkan Proses PWHT merubah mikrostruktur pada daerah las dan HAZ [11]. Peningkatan kuat arus yang digunakan pada proses pengelasan pipa baja SA 106 Grade B menurunkan laju korosinya [16].

Tujuan penelitian ini adalah untuk membandingkan dua jenis elektroda (E 6013 dan E 7018) yang digunakan pada pengelasan baja ASTM SA 106 Grade A dengan metode pengelasan SMAW untuk mengetahui jenis elektroda las yang menghasilkan kekuatan tarik, kekuatan impact dan untuk mengamati mikrostruktur pada logam las sehingga didapatkan kekuatan sambungan las yang paling baik.

2. Metode Penelitian

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah pipa Baja SA 106 Grade A dengan diameter 3 inchi dengan ketebalan 5 mm dengan komposisi kimia sebagaimana pada tabel (1). Pipa baja dilas menggunakan metode pengelasan SMAW dengan polaritas DC (+). Pipa baja dipotong dan dibuat kampuh (*groove*) berbentuk V dengan sudut 30° dan besarnya celah akar (*root face*) las diatur sebesar 2 mm. Kuat arus yang digunakan yaitu diatur sebesar 90 Ampere dengan jenis kawat las masing-masing jenis E 6013 dan E 7018 berdiameter 3,2 mm. Pembuatan specimen uji dilakukan dengan memotong pipa baja dengan lokasi pengambilan sampel uji dan ukuran specimen uji tarik, bending mengikuti standar ASME IX bagian 7 (QW 463.1d). Pengujian lengkung (*bend test*) dilakukan pada daerah permukaan las (*face*) dan daerah akar las (*root*) lasan dari perbedaan jenis kawat las dimana pengujian dilakukan untuk mengetahui kualitas lasan terhadap beban lengkung. Standar specimen uji lengkung dan diameter jig mengacu pada ASME IX QW 466.1. Pengujian kekuatan impact mengikuti standar ASTM E-8 dan specimen pengujian kekerasan dilakukan dengan mesin uji kekerasan mikro Vickers pada daerah logam induk, daerah terpengaruh panas (*heat affected zone*) dan daerah las. Pengamatan makrostruktur dilakukan dengan menghaluskan specimen uji menggunakan mesin polishing dan selanjutnya dietsa dengan cairan kimia HNO₃ + Alkohol untuk mempermudah dalam mengamati adanya cacat pada daerah las, photo makro dilakukan dengan pembesaran maksimal 10X menggunakan kamera. Pengamatan mikrostruktur dilakukan dengan menggunakan mikroskop optic dengan pembesaran maksimal 400x.

Tabel 1 komposisi kimia SA 106 Grade B (% berat)

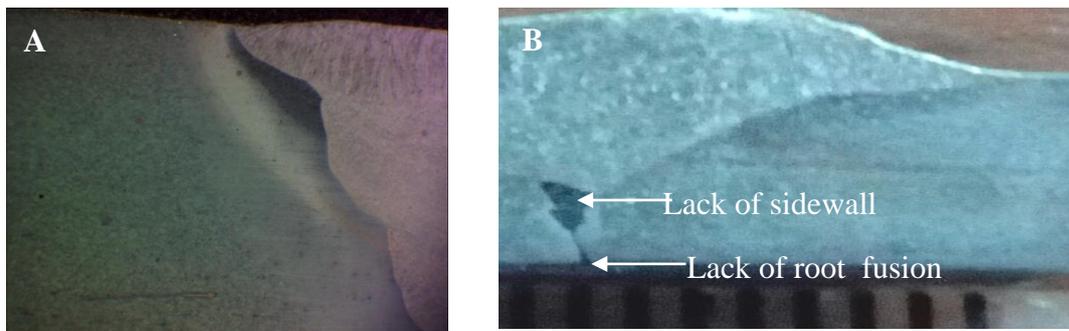
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Co	Cu
---	----	----	---	---	----	----	----	----	----	----

0.199	0.206	0.915	0.22	0.008	0,050	0,066	3,12	0,050	0,001	0,033
-------	-------	-------	------	-------	-------	-------	------	-------	-------	-------

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengamatan Makro struktur

Pengamatan makro struktur pada daerah las baja SA 106 Grade B sebagaimana ditunjukkan pada (gambar 1). Hasil lasan dengan elektroda E 6013 Lebar daerah las $\pm 15-17$ mm dengan lebar gap sebesar 2 mm (gambar 1 a), terlihat tidak ditemukan cacat las seperti porositas, inklusi, lack of root penetrasi dan cacat lainnya. Gambar (1.b) menunjukkan gambar makrostruktur daerah las dengan menggunakan elektroda E 6013 dimana terdapat 2 jenis cacat las yaitu cacat *lack of root penetration* (kurangnya penetrasi akar) dan *lack of side wall fusion* (kurangnya fusi dinding samping). Hal ini disebabkan karena beberapa factor seperti ukuran gap yang yang terlalu kecil, heat input yang rendah atau karena root face terlalu besar (Suherman dkk, 2018). Cacat ini terjadi pada kedua jenis elektroda las yang digunakan.



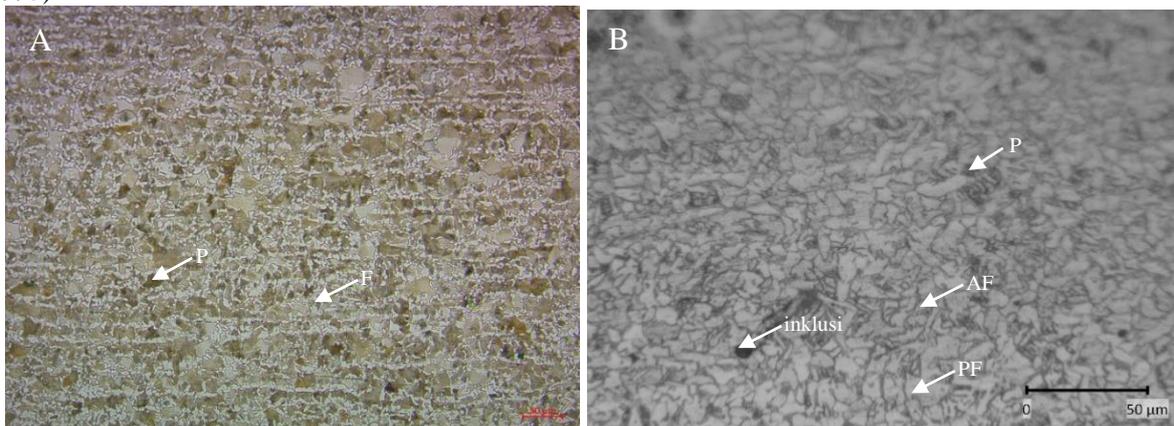
Gambar 1. Makrostruktur daerah las menggunakan elektroda a) E 7018 dan b) E6013

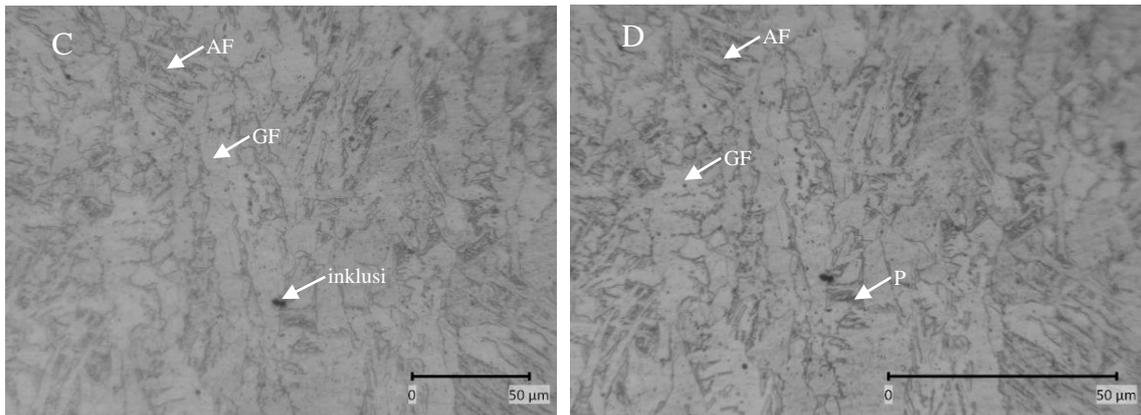
3.2. Mikrostruktur Baja SA 106 Grade A

Dari hasil pengujian komposisi kimia sebagaimana pada tabel (1) dapat dihitung *Carbon equivalent* (CE) dari baja 106 Grade A didapatkan besaran CE sebesar 0,4 sehingga dapat disimpulkan baja ini memiliki sifat mampu las yang baik (*weldability*) tanpa perlu dilakukan pemanasan awal (*preheat*).

Gambar 2 (a) menunjukkan mikrostruktur logam induk dimana terlihat phase yang terbentuk adalah *ferrit* dan *perlite* dengan ukuran butir yang halus, yang memiliki struktur kristal [16]. Pengamatan mikrostruktur pada daerah las didominasi oleh ferit batas butir dan *Widmanstatten ferrite* dan sedikit *acicular ferrite* dan *upper bainite* dengan struktur yang kasar (gambar 2.c). Mikrostruktur pada daerah HAZ halus (gambar 2 b) dan HAZ kasar (gambar 2,c) memiliki fasa poligon ferit, lower bainit [4] dengan struktur kristal BCC dan FCC [16]

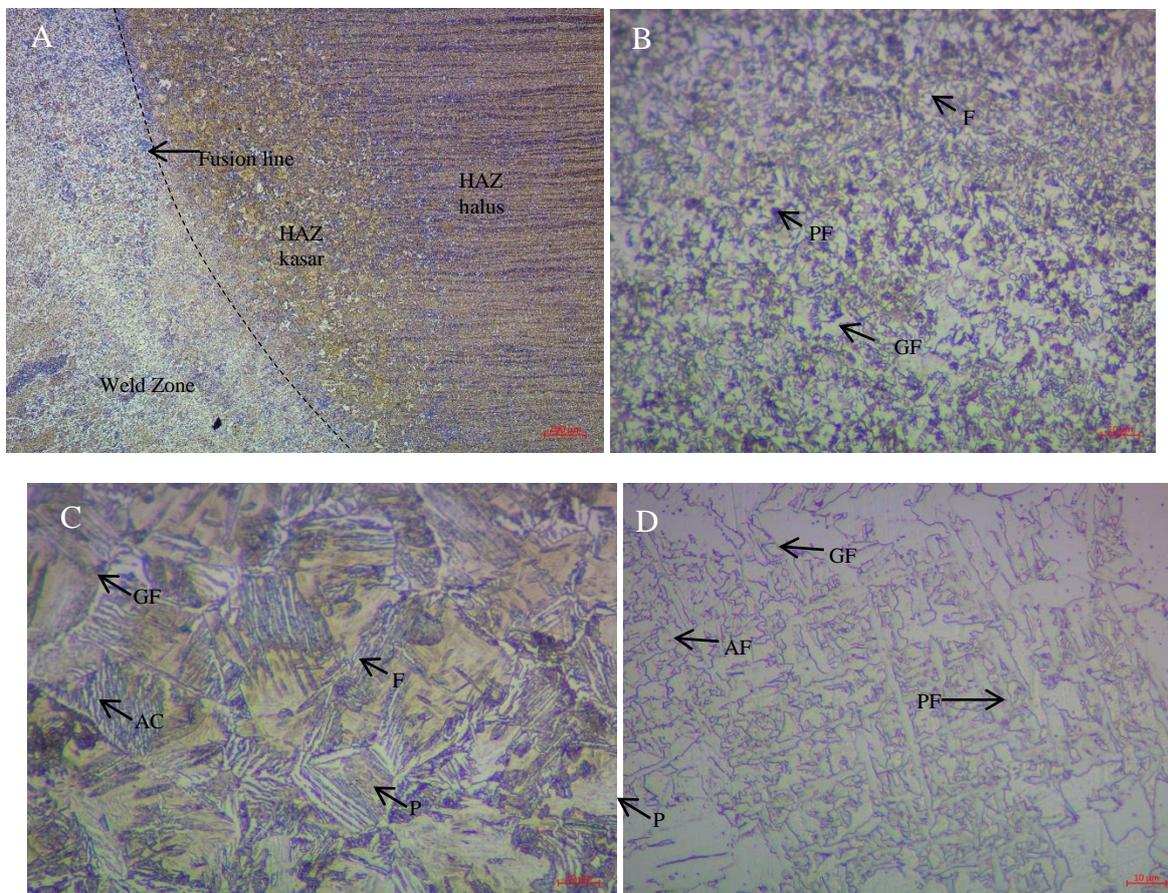
Ada beberapa faktor yang mempengaruhi perkembangan mikrostruktur daerah las yaitu komposisi logam las, laju pendinginan dari temperatur 800-500 C [3], kandungan oksigen dalam *weld metal* dan ukuran butir austenit. Pada daerah las dengan menggunakan Elektroda jenis E6013 mempunyai kandungan Mn yang rendah kira-kira 0,4%Mn [8]. Unsur paduan Mn termasuk dalam kelompok penstabil austenit (*austenite stabilizer*), dimana unsur Mn akan menghambat terjadinya transformasi dari austenit ke ferit pada batas butir (GF) yang menyebabkan fasa *acicular ferrite* dapat terbentuk karena memiliki temperatur transformasi yang rendah (Smith, 1993).





Gambar 2. struktur mikro bidadengan elektroda las E 6013, a) raw material, b) Haz halus, c) Haz kasar dan d) logam las

Struktur *ferit acicular* mempunyai bentuk *zig-zag*, sehingga memiliki nilai ketangguhan yang baik. Terbentuknya struktur ferit acicular pada hasil pengelasan dimulai dari adanya inklusi dan kemudian membentuk nucleus-nucleus yang kemudian memanjang membentuk struktur ferit acicular. Pada daerah las mikrostruktur didominasi oleh struktur ferit batas butir (*Grain boundary Ferrite*), *proeutetik ferrite* dan sedikit *acicular ferrite* (gambar 2 d).



Gambar 3 struktur mikro dengan elektroda E7018 a) fusion line b) HAZ halus, c) HAZ kasar dan d) Logam Las

Pada saat pengelasan, logam induk yang bersebelahan dengan logam las mengalami siklus termal berupa pemanasan sampai mendekati titik cair kemudian diikuti dengan pendinginan. Keadaan ini mengakibatkan terjadinya perubahan struktur mikro dan sifat-sifat mekanis dari keadaan awal logam induk. Daerah logam induk yang mengalami siklus termal ini disebut daerah terpengaruh panas (*heat affected zone*), HAZ dapat dibedakan menjadi dua bagian yaitu HAZ butir kasar yang bersebelahan dengan logam las dan HAZ butir halus yang

bersebelahan dengan logam induk, seperti terlihat pada Gambar 3 (a). Terlihat jelas perbedaan antara HAZ butir kasar dan HAZ butir halus, HAZ butir halus terjadi karena pendinginan yang terjadi lebih cepat karena bersebelahan dengan logam induk, sedangkan HAZ butir kasar terjadi karena pendinginannya lebih lambat karena bersebelahan dengan logam las (sumber panas). Mikrostruktur dari daerah las dengan menggunakan elektroda E7018 ditunjukkan pada gambar (3 d). pada daerah las sebagian besar terbentuk fasa *primary ferrite (PF)*, *grain boundary ferrite (GF)*, dan *sedikit acicular ferrite (AF) serta pearlite (P)*[13], struktur yang terbentuk pada daerah las sebagian besar dipengaruhi oleh kandungan Mn dalam logam las. Bila kita bandingkan dengan logam las dengan menggunakan elektroda las E6013 jumlah *primary ferrite* yang terbentuk pada logam las spesimen E7018 lebih banyak [3].

3.3. Pengujian Tarik, ketangguhan dan Lengkung

Pengujian tarik dilakukan untuk mendapatkan data kuantitatif pada hasil pengelasan sedangkan uji lengkung (bending) termasuk uji kualitatif hasil pengelasan (tabel 2). Hasil pengujian tarik menunjukkan nilai kekuatan tarik maksimum pada specimen pada elektroda E6013 menurun dibanding dengan logam induk hal ini karena adanya cacat pada daerah las seperti kurangnya penetrasi pada bagian akar (*root*) dan pada bagian dinding kampuh V (gambar 2). Selain itu dengan kandungan Mn pada elektroda las E6013 yang rendah 0,4% Mn [8] sangat mempengaruhi nilai kekuatan tarik hasil lasan sehingga nilai kekuatan tarik lebih rendah dibanding material induk. Hal ini belum memenuhi kriteria penerimaan menurut standard ASME IX. Nilai kekuatan tarik yang paling optimum didapatkan pada hasil pengelasan menggunakan elektroda E7018 dimana nilai kekuatan tarik lebih tinggi bila dibanding logam induk dan pengelasan dengan elektroda E6013. Hal ini karena pada kawat las jenis E7018 mengandung unsur Mn cukup besar 1,2 Mn [8], dengan kandungan Mn cukup besar akan meningkatkan kekuatan dengan meningkatkan kemampu kerasan [5]

Ketangguhan menurun seiring berkurangnya kandungan Mn pada logam las baik pada temperature kamar maupun pada temperature rendah [3][8]. Selain itu kandungan Mn pada daerah las juga sangat mempengaruhi kekuatan impak, kandungan Mn yang besar akan memperbesar terbentuknya fasa *acicular ferrite* pada daerah las [3], dikarenakan sedikitnya persentase fase *acicular ferrite* yang terbentuk pada daerah las pada specimen E6013 maka kekuatan impaknya sedikit menurun, hal ini karena semakin besar persentase *acicular ferrite* yang terbentuk pada daerah las akan meningkatkan ketangguhan pada daerah las [4].

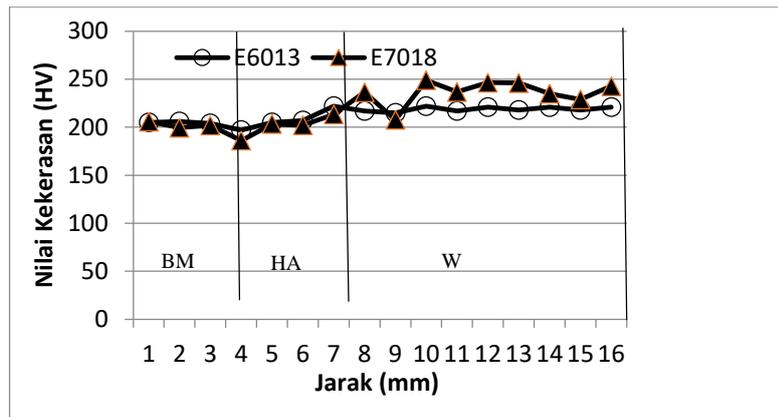
Pengujian lengkung (*bend*) dilakukan pada daerah las (*root* dan *face*) pada specimen dengan elektroda E6013 dan E7018. Pada specimen uji lengkung dengan elektroda las E6013 bagian permukaan lasan (*face*) tidak terjadi kerusakan maupun retak (*crack*) sedangkan pada bagian akar (*root*) terjadi patah getas untuk kedua jenis elektroda las. Hal ini dikarenakan adanya cacat pada bagian akar las berupa *lack of root fusion* dan *lack of sidewall fusion* disebabkan kuat arus yang digunakan saat pengelasan terlalu rendah.

Tabel 2. Hasil pengujian impak, Tarik dan Bending

	Harga Impak (J/mm ²)	Kekuatan Tarik Maks (MPa)	Uji lengkung (Bend)	
			Root	Face
Raw Material	1,616	546	-	-
E6013	1,139	451	Patah	Baik
E7018	1,803	598	Patah	Baik

3.4. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan pada kedua spesimen uji (E6013 dan E7018) seperti yang ditunjukkan pada gambar (4). Pengujian dilakukan dengan menggunakan metode vickers pada daerah las, HAZ dan logam induk pada baja SA 106 Grade A. Pada daerah logam las terlihat terjadi sedikit peningkatan nilai kekerasan pada kedua spesimen sedangkan pada daerah HAZ sedikit mengalami penurunan nilai kekerasan [13]. Peningkatan nilai kekerasan ini dikarenakan adanya laju pendinginan yang sedikit lebih cepat pada permukaan (*face*) logam las sehingga menghasilkan peningkatan nilai kekerasan karena titik pengujian dilakukan pada daerah dekat permukaan logam las (*weld metal*). Dari kedua jenis elektroda las yang digunakan tidak terlalu signifikan mempengaruhi nilai kekerasan pada daerah HAZ dan logam las pada baja SA 106 Grade A.



Gambar 4. Distribusi nilai kekerasan daerah logam induk, HAZ dan weld metal baja SA 106 Grade A

4. Kesimpulan

Pengelasan pipa baja SA 106 Grade A dengan menggunakan dua jenis elektroda masing-masing E 6013 dan E 7018 menggunakan metode SMAW dapat diambil kesimpulan yaitu:

1. Terjadinya penurunan nilai kekuatan tarik maksimum pada hasil pengelasan dengan elektroda E 6013 dibanding dengan logam induk akan tetapi dengan menggunakan elektroda E7018 nilai kekuatan tarik maksimumnya mengalami peningkatan.
2. Spesimen uji lengkung daerah akar las (root) untuk kedua jenis elektroda las mengalami kerusakan (retak) sedangkan pada spesimen uji *face bend* yaitu pada bagian permukaan las tidak mengalami kerusakan/retak pada kedua jenis elektroda las.
3. Pengamatan makro struktur menunjukkan adanya cacat pada daerah las (E6013) terutama pada daerah akar las (*lack of root penetration*) dan sisi dinding (*lack of sidewall fusion*) karena kurangnya arus yang digunakan saat pengelasan.
4. Mikrostruktur pada daerah las dengan elektroda yang berbeda didominasi oleh struktur *primary ferrite (PF)*, *grain boundary ferrite (GF)*, dan sedikit *acicular ferrite (AF)* serta *pearlite (P)*.

Daftar Pustaka

- [1] ASME, 2017, Section IX (Boiler and pressure vessel code welding, brazing and fusing Qualification)
- [2] ASTM Handbook Volume 1 Material Testing
- [3] Evans, G.M., and Bailey, N., 1997, Metallurgy of basic weld metal, Abington Publishing, Norwich, USA
- [4] Kou, S., 1987, *Welding Metallurgy*, Jhon Wiley & Sons.
- [5] Linnert, G.E., 1994, *Welding Metallurgy carbon and Alloys Steels*, Four Editions, Volume 1 Fundamentals, AWS, Miami Florida USA.
- [6] Luckyta, K.C dan Rochiem, R., 2013, Pengaruh PWHT dan Non PWHT Dengan Las SMAW Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Pada Pipa ASTM A-106 Grade B, *Jurnal Teknik POMITS* Vol. 1, No1, hal 1-6
- [7] Machmud, M.N., Maulana, D dan Husaini, 2013, Pengaruh Waktu Tahan pada Perlakuan Panas Pasca Pengelasan terhadap Kekerasan dan Kuat Tarik Baja Karbon ASTM A106 Grade B, *Jurnal Teknik Mesin Unsyiah*, volume 1, nomor 3, Banda Aceh.
- [8] Mizhar, S, 2007, Pengaruh Mangan (Mn) Terhadap Ketangguhan dan Creep Stress Rupture pada Sambungan Las SMAW Pipa Baja 15Mo3 Header Boiler, Tesis Prodi Teknik Mesin S2 UGM, Yogyakarta.
- [9] Muljono, D., Somantri, A., dan Wijaya, B., Kajian Spesifikasi Baja Untuk Keamanan Fasilitas Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir, *Prosiding Seminar Nasional Pengembangan Energi Nuklir IV*, 2011 Pusat Pengembangan Energi Nuklir Badan Tenaga Nuklir Nasional ISSN 1979-1208 367
- [10] Nofri, M., dan Fardiansyah, A., 2018., *BINA TEKNIKA*, Volume 14 Nomor 2, Edisi Desember, halaman 119-129.
- [11] Sawaldi, A., AlFathier, dan Ibrahim, A., 2019, Pengaruh PWHT terhadap struktur mikro pada lasan pipa baja ASTM A106 grade B, *Journal of Welding Technology*. Volume 1, No. 2, hal 31-35.
- [12] Silva, C.C., A. B.D.S. Neto, da Silva, F.D.A., Junior, F.D.E.F.S., and Farias, J.S, 2009, *Welding of ASTM A106 Gr. B steel pipes for high-temperature service – part 1 – residual stress analysis*, *Welding International* Vol. 23, No. 4, 270–281.
- [13] Silva, C.C., A. B.D.S. Neto, da Silva, F.D.A., Junior, F.D.E.F.S., and Farias, J.S, 2010, *Welding of the ASTM A106 Gr. B steel pipes for high-temperature service – part 2 – microstructure and hardness*, *Welding International* Vol. 24, No. 3, 231–240.

- [14] Suherman, Muliadi, D., Ridho, M.S., dan Marpaung, C.P., 2018, Pengaruh Kuat Arus Terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro pada Sambungan Las SMAW Baja SA 516 GR.70, Jurnal Mekanik Volume 4 nomor 2 Jurusan Teknik Mesin ITM Medan.
- [15] Suherman, R. M. Ambarita, R. K. Simangunsong, P.J. Simanjuntak, 2018 Pengaruh Jenis Elektroda E6013 Pada Pengelasan SMAW Terhadap Sifat Fisis Dan Mekanis Baja SA 106 Grade B, Prosiding Seminar Nasional Era Industri 4.0, Universitas Pembangunan Masyarakat Indonesia, Medan
- [16] Yingsamphancharoen, T., Srisuwan, N and Rodchanarowan, A., 2016, The Electrochemical Investigation of the Corrosion Rates of Welded Pipe ASTM A106 Grade B, Metals, MDPI.