

Jurnal Artikel

PENGARUH JENIS ELEKTRODA E 6010 DAN E 7016 TERHADAP SIFAT MEKANIS DAN STRUKTUR MIKRO PIPA API 5L GRADE X 52

Sri Endah Susilowati¹, Didit Sumardiyanto²

^{1,2}Program Studi Teknik Mesin, Universitas 17 Agustus 1945 Jakarta

¹sri.endah@uta45jakarta.ac.id, ²didit.sumardiyanto@uta45jakarta.ac.id

Abstrak

Perkembangan konstruksi tidak dapat di pisahkan dari pengelasan karena pengelasan memiliki peranan penting dalam suatu konstruksi. Pengelasan merupakan penyambungan logam dengan cara mencairkan logam induk dan logam pengisi dan menghasilkan sambungan yang kontinyu. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jenis elektroda E 6010 dan E 7016 terhadap kekuatan mekanis dan struktur mikro pipa API 5L Grade X 52. Penelitian ini menggunakan bahan pipa API 5L Grade X 52. Bahan diberi perlakuan pengelasan dengan variasi penggunaan elektroda E 6010 dan E 7016 dengan diameter 2,6 mm dan menggunakan mesin las SMAW DC polaritas terbalik dengan elektroda kutub positif dan logam induk kutub negatif. Jenis kampuh yang digunakan adalah kampuh V dengan sudut 60o. Kekuatan tarik tertinggi di peroleh elektroda E 7016 dengan Nilai kekuatan tarik sebesar 617 MPa, sedangkan elektroda E 6010 memiliki kekuatan tarik 554 MPa pada sambungan las. Ketangguhan tertinggi terjadi pada elektroda E 7016 dengan Nilai ketangguhan sebesar 1,856 Joule/mm². Kekerasan rata-rata tertinggi terjadi di daerah logam lasan E 7016 sebesar 186,9 Kg/mm². Hal ini terlihat pada hasil struktur mikronya yang memiliki struktur ferit acicular dan ferit batas butir sehingga memiliki nilai kekerasan yang tinggi di banding daerah lainnya.

Kata kunci: Elektroda, SMAW, Kekuatan tarik, Ketangguhan, Kekerasan, E6010, E 7016.

Abstract

Construction development cannot be separated from welding because welding has an important role in construction. Welding is the joining of metals by melting the base metal and filler metal and producing a continuous connection. This research aims to determine the effect of electrode types E 6010 and E 7016 on the mechanical strength and microstructure of API 5L Grade X 52 pipes. This research uses API 5L Grade with a diameter of 2.6 mm and uses a reverse polarity SMAW DC welding machine with a positive pole electrode and negative pole base metal. The type of seam used is a V seam with an angle of 60o. The highest tensile strength was obtained by the E 7016 electrode with a tensile strength value of 617 MPa, while the E 6010 electrode had a tensile strength of 554 MPa in the welded joint. The highest toughness occurs in the E 7016 electrode with a toughness value of 1,856 Joules/mm². The highest average hardness occurred in the weld metal area E 7016 at 186.9 Kg/mm². This can be seen in the results of the microstructure which has an acicular ferrite structure and grain boundary ferrite so it has a high hardness value compared to other areas.

Keywords: Electrode, SMAW, Tensile strength, Toughness, Hardness, E6010, E 7016.

1. PENDAHULUAN

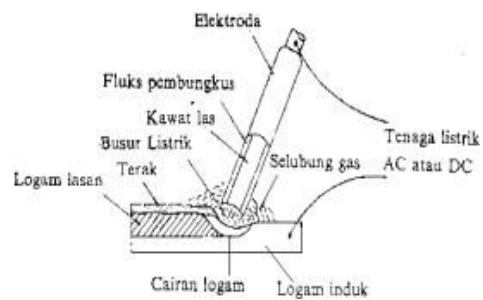
Pada era globalisasi ini banyak melibatkan unsur pengelasan khususnya bidang rancang bangun karena sambungan las merupakan salah satu pembuatan sambungan yang paling banyak digunakan dan secara teknis memerlukan peralatan, metode, proses dan ketrampilan yang baik untuk mendapatkan sambungan las yang baik. Pembuatan sambungan las yang baik di pengaruhi beberapa faktor produksi. Faktor produksi pengelasan adalah jadwal pembuatan, proses pembuatan, alat dan bahan yang di perlukan, urutan pelaksanaan, persiapan pengelasan (meliputi : pemilihan mesin las, penunjukan juru las, pemilihan elektroda, penggunaan jenis kampuh) (1). Tidak semua logam memiliki mampu las yang baik. Bahan yang mempunyai sifat mampu las yang baik adalah baja karbon rendah. Baja karbon rendah biasa di gunakan untuk plat-plat tipis dan kontruksi umum (1). Dalam penelitian sebelumnya oleh (2) dengan menggunakan pipa API 5L Grade B dan jenis elektroda E 6010 dan E 7018 pada penelitian tersebut elektroda E 6010 kekerasannya lebih tinggi di banding dengan E 7018 sebesar 188 kg/mm². Sedangkan penelitian yang di lakukan oleh (3) dengan jenis elektroda E 7016 dan E 7018 dan bahan pipa galvanis 3 inch kekuatan tarik tertinggi di peroleh E 7016 sebesar 51,86 Kg/mm². Dari rujukan di atas dapat di simpulkan bahwa jenis elektroda dapat mempengaruhi sifat mekanik dari suatu material.

2. DASAR TEORI

A. Pengelasan SMAW (Shield Metal Arc Welding)

Pengelasan SMAW adalah sebuah proses penyambungan logam yang

menggunakan energi panas untuk mencairkan benda kerja dan elektroda (bahan pengisi). Menurut (4) pada Modul Teori Pengelasan Logam : 2008, secara umum dapat dikatakan bahwa mempunyai sifat mampu las tinggi bila pemindahan terjadi dengan butiran yang halus, sedangkan proses pemindahan dipengaruhi oleh besar kecilnya arus dan juga oleh komposisi bahan pembungkus (*fluks*) yang digunakan.



Gambar 1. Las SMAW

Las SMAW memiliki kelebihan diantaranya sensitivitas gangguan pengelasan cukup baik, selaput pembungkus elektroda memiliki fungsi serba guna, dapat dilakukan dalam berbagai posisi pengelasan.

B. Pipa API 5L Grade X 52

Material pipa API 5L Grade X 52 merupakan material pipa yang sering di gunakan untuk saluran minyak dan gas khususnya di bawah tanah. Material ini termasuk dalam material pipa baja karbon, material pipa baja karbon sering di gunakan dalam dunia industri khususnya migas karena pipa ini sangat cocok untuk aliran minyak dan gas di bawah tanah. Pipa ini termasuk dalam material pipa baja karbon rendah (*low carbon steel*) yang mempunyai kadar karbon < 0,25 % dan memilikisifat tahan aus.

Tabel 1. Komposisi Kimia Pipa API 5L Grade X 52

(sumber : Tubos Reunidos Industrial)

Sifat mekanik dari pipa API 5L Grade X 52 dapat di lihat dari tabel di bawah ini:

Sifat Mekanik	Nilai Mekanik
Tensile Strenght	460 MPa
Yield Strenght	360 MPa
Kekerasan	99 HRB
Ketangguhan	14/18 Joule

(sumber : Tubos Reunidos Industrial)

yang biasanya ditentukan dari suatu hasil pengujian tarik adalah kuat luluh (*Yield Strength*) dan kuat tarik (*Ultimate Tensile Strength*). Kekuatan tarik atau kekuatan tarik maksimum (*Ultimate Tensile Strength / UTS*), adalah beban maksimum dibagi luas penampang lintang awal benda uji.

C. Elektroda Berselaput

Elektroda berselaput yang dipakai pada las busur listrik mempunyai perbedaan komposisi selaput maupun kawat inti. Pelapisan *fluksi* pada kawat inti dapat dengan cara *destruksi*, semprot atau celup. Ukuran standar diameter kawat inti dari 1,5 mm sampai 7 mm dengan panjang antara 350 sampai 450 mm. Jenis-jenis selaput *fluksi* pada elektroda misalnya *selulosa, kalsium karbonat (Ca CO₃), titanium dioksida (rutil), kaolin, kalium oksida mangan, oksida besi, serbuk besi, besi silikon, besi mangan* dan sebagainya dengan persentase yang berbeda-beda untuk tiap jenis elektroda.

D. Parameter

D.1. Pengujian Tarik

Uji tarik adalah suatu metode yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu bahan/material dengan cara memberikan beban gaya yang sesumbu (5). Kekuatan yang biasanya ditentukan dari suatu hasil pengujian tarik adalah kuat luluh (*Yield*

Kandungan unsur	Lambang	Nilai
Carbon	C	0,21
Mangan	Mg	1,35
Silikon	Si	0,45
Fosfor	P	0,025
Belerang	S	0,010

Strength) dan kuat tarik (*Ultimate Tensile Strength*). Kekuatan tarik atau kekuatan tarik maksimum (*Ultimate Tensile Strength / UTS*), adalah beban maksimum dibagi luas penampang lintang awal benda uji.

$$S_u = P_{maksimal} / A_0$$

Dimana :

$$S_u = \text{Kuat Tarik (MPa)}$$

$$P_{maks} = \text{Beban Maksimum (N)}$$

$$A_0 =$$

Luas Penampang Awal (mm²)

D.2. Pengujian Ketangguhan

Pada metode *charpy*, batang uji diletakkan mendatar dan ujung-ujungnya ditahan kearah mendatar oleh penahan yang berjarak 40 mm. Bandul akan berayun memukul batang uji tepat dibelakang takikan. Untuk pengujian ini akan digunakan sebuah mesin dimana sebuah batang dapat berayun dengan bebas. Pada ujung batang dipasang pemukul yang diberi pemberat. Batang uji diletakkan di bagian bawah mesin dan takikan tepat pada bidang lintasan pemukul.

Bila diketahui luas penampang di bawah takikan (A) mm², dapat disimpulkan perolehan nilai ketangguhan batang uji dihitung sebagai berikut:

$$K = W / A_0$$

Dimana :

$$K = \text{Nilai Ketangguhan (joule / mm}^2 \text{)}$$

$$W = \text{Energi pukul (joule)}$$

$$A_0 = \text{Luas penampang (mm}^2 \text{)}$$

D.3. Pengujian Tarik

Kekerasan (*Hardness*) adalah salah satu sifat mekanik (*Mechanical properties*) dari suatu material. Pengujian kekerasan dengan metode vickers bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam yaitu daya tahan material terhadap *indentor* intan yang cukup kecil dan mempunyai bentuk geometri berbentuk *pyramid*. Angka kekerasan *Vickers* (HV) didefinisikan sebagai hasil bagi (*koefisien*) dari beban uji (*p*) dengan luas permukaan bekas luka tekan (*injakan*) dari *indentor* (*diagonalnya*) yang dikalikan dengan $\sin(136^\circ/2)$. Rumus untuk menentukan besarnya nilai kekerasan dengan metode vickers yaitu :

$$VHN = 1,854 \times P/L^2$$

Dimana :

VHN = Angka kekerasan *Vickers* (*Kg/mm²*)

P = Beban (*kg*)

L = *Diagonal* (*mm*)

D.4. Pengujian Struktur Mikro

Pada proses pengelasan, transformasi *g(austenit)* menjadi *a (ferit)* merupakan tahap yang paling krusial karena struktur mikro logam las yang berarti juga sifat-sifat mekanisnya sangat ditentukan pada tahap ini. Diantara faktor-faktor yang mempengaruhi transformasi *g (austenit)* menjadi *a (ferit)* adalah masukan panas (*heat input*), komposisi kimia logam las, kecepatan pendinginan dari temperatur $800^\circ C - 500^\circ C$, bentuk sambungan las dan kandungan oksigen pada logam las. Proses pendinginan hasil pengelasan pada umumnya berlangsung secara cepat sehingga untuk menganalisa jenis struktur mikro hasil pengelasan tidak dapat digunakan diagram fasa.

3. METODOLOGI PENELITIAN

A. Metode Penelitian

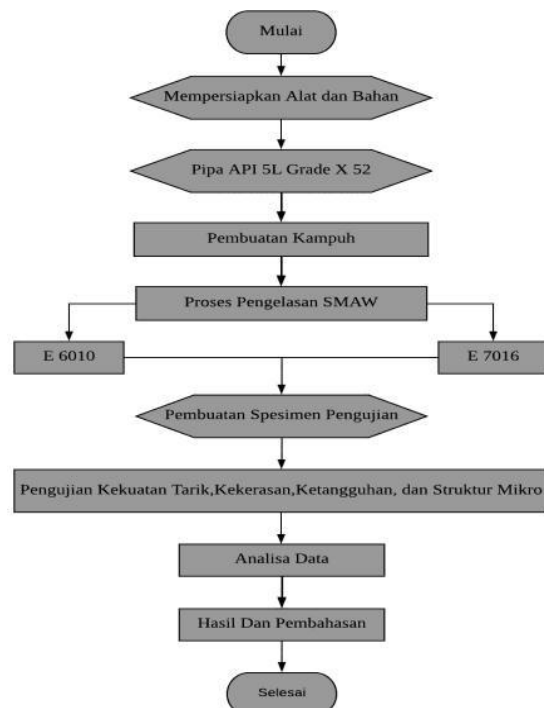
Metodologi yang akan dilakukan adalah metode eksperimen hasil pengelasan pipa API 5L dengan menggunakan jenis elektroda yang bervariasi guna mendapatkan sifat mekanik dan struktur mikro yang sesuai dengan kebutuhan di industri.

B. Waktu dan Tempat Penelitian

Proses pengelasan ini di lakukan pada bulan Februari dan pelaksanaan pengujian di lakukan selama 2 bulan pada bulan Maret sampai April.

Proses pengelasan SMAW (*Shield Metal Arc Welding*), pengelasan pipa API 5L X52 di lakukan di workshop PT MESITECH MITRA PURNA dan untuk proses pengujian Kekuatan tarik, Kekerasan Vickers dan Ketangguhan di lakukan di BKI (Balai Klarifikasi Indonesia) dan pengujian SEM (*Scanning Electron Microscopy*) di lakukan di UI (Universitas Indonesia).

C. Flowchart Alur Penelitian



Gambar 2. Flowchart Alur Penelitian

D. Prosedur Penelitian

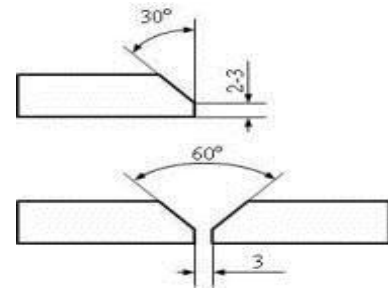
D.1. Persiapan Penelitian

- a) Persiapan Bahan

Bahan yang di perlukan dalam penelitian ini adalah pipa API 5L Grade X 52 dengan diameter 6 inci dan tebal 8 mm. Elektoda jenis E 6010 dan E 7016 dengan diameter 2,6 mm.
- b) Persiapan Alat – alat
 - a. Mesin Las SMAW (*Shield Metal Arc Welding*)
 - b. Mesin Skrap
 - c. Mesin Frais
 - d. Peralatan Pengelasan
 - e. Mesin Uji SEM (*Scanning Electron Microscopy*)
 - f. Mesin Uji Tarik TENSILON RTF
 - g. Mesin Uji Kekerasan
 - h. Mesin Uji Impact Charpy TINIUS OLSEN 406 E
 - j. Mesin amplas
 - k.

D.2. Pembuatan Kampuh V Terbuka

Pembuatan kampuh V terbuka dengan menggunakan mesin gerinda bahan yang sudah di potong dengan menggunakan blender dengan ukuran 20 cm sebanyak 6 joint setelah bahan di potong kemudian bahan di ukur dengan sigmat agar membentuk sudut 60 derajat yang kemudian akan di gerinda untuk membentuk sudut dengan mesin frais.



Gambar 3. Kampuh V

(Sumber :

<http://ahmadsabiq289.blogspot.com>)

D.3. Jenis Filler Metal

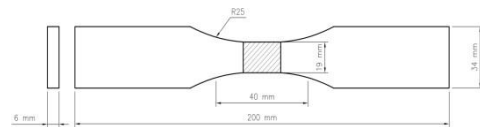
Jenis *filler metal* yang digunakan dalam pengelasan ini adalah AWS E 7016 dan AWS E 6010.

D.4. Proses Pengelasan Benda Uji

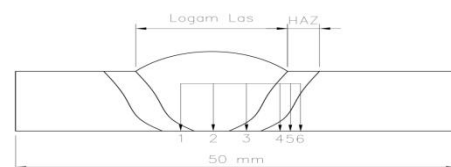
Benda uji di las dengan elektroda E 6010 dan E 7016 dengan menggunakan 3 tahapan yaitu *root*, *filler*, *capping* dan di atur kuat arusnya sesuai standar WPS.

D.5. Pembuatan Spesimen Uji

Setelah benda uji di las kemudian masuk ke tahap pembuatan spesimen pengujian. Benda uji di buat sesuai standar spesimen uji ASME IX Section 2017.



Gambar 4. Spesimen Uji ASME IX



Gambar 5. Spesimen Uji ASME IX

D.6. Pengujian Tarik

Benda uji di lakukan pengujian tarik untuk mengetahui kekuatan tarik dari

material pipa API 5L Grade X 52 dengan jenis elektroda yang bervariasi.

D.7. Pengujian Ketangguhan

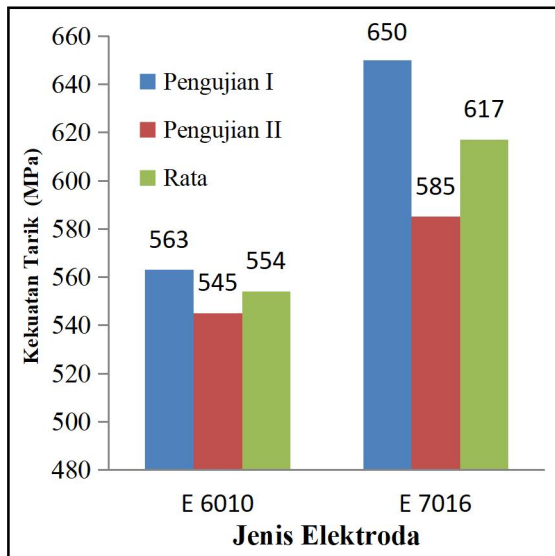
Benda uji di lakukan pengujian ketangguhan untuk mengetahui ketangguhan dari material pipa API 5L Grade X 52 dengan jenis elektroda yang bervariasi.

D.8. Pengujian Kekerasan

Benda uji di lakukan pengujian kekerasan untuk mengetahui kekerasan terbesar dari material pipa API 5L Grade X 52 dengan jenis elektroda yang bervariasi.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Tarik

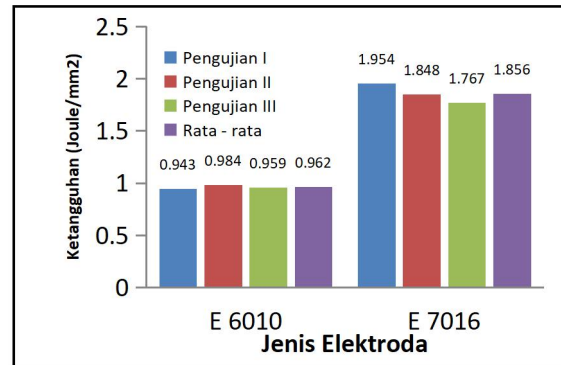


Gambar 6. Hasil Uji Tarik

Nilai kekuatan tarik dari jenis elektroda E 6010 memperoleh nilai 554 MPa dan untuk jenis elektroda E 7016 memperoleh nilai 617 MPa dalam pengujian bahan dilakukan pada temperatur suhu kamar. Hal ini menunjukkan bahwa elektroda dengan jenis elektroda E 6010 memiliki perbedaan kekuatan tarik sebesar 31,5 % MPa, jadi

dari hasil data nilai uji tarik tersebut nilai kekuatan tarik elektroda E 6010 lebih rendah daripada nilai kekuatan tarik elektroda E 7016 dengan proses pengelasan SMAW (*Shield Metal Arc Welding*) dengan proses pengelasan pipa sesuai standar pengelasan untuk pipa.

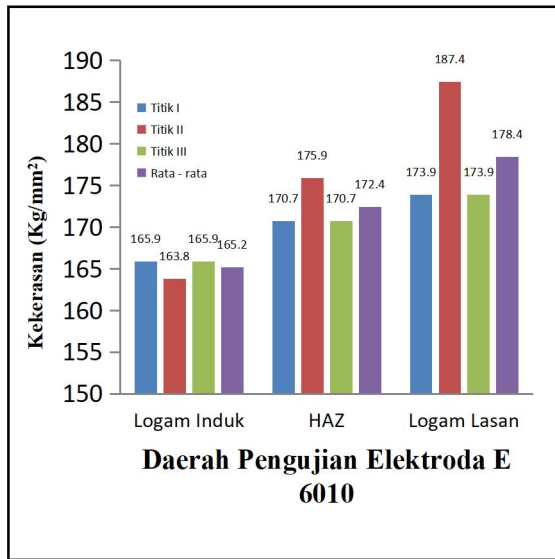
B. Pengujian Ketangguhan



Gambar 7. Hasil Uji Ketangguhan

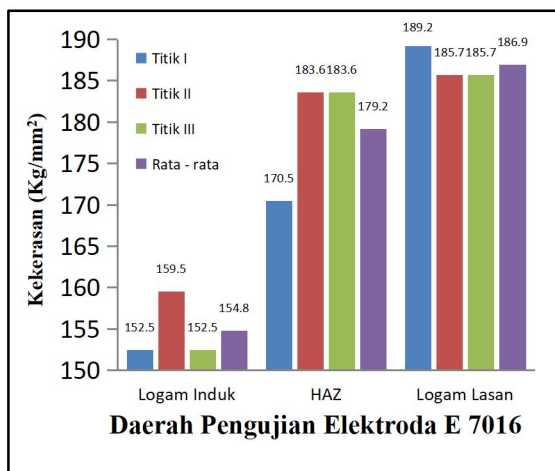
Adapun untuk nilai ketangguhan dari pengujian *impact* pipa API 5L Grade X 52 dengan jenis elektroda E6010 memperoleh nilai ketangguhan sebesar 0,9622 Joule/mm² sedangkan jenis elektroda E 7016 memperoleh nilai ketangguhan sebesar 1.8564 Joule/mm² dari hasil pengujian ini maka dapat di simpulkan bahwa nilai ketangguhan pipa API 5L Grade X 52 dengan jenis elektroda E 7016 memiliki nilai ketangguhan yang lebih tinggi di bandingkan dengan jenis elektroda E 6010 yang di lakukan dengan proses pengelasan SMAW (*Shield Metal Arc Welding*).

C. Pengujian Kekerasan



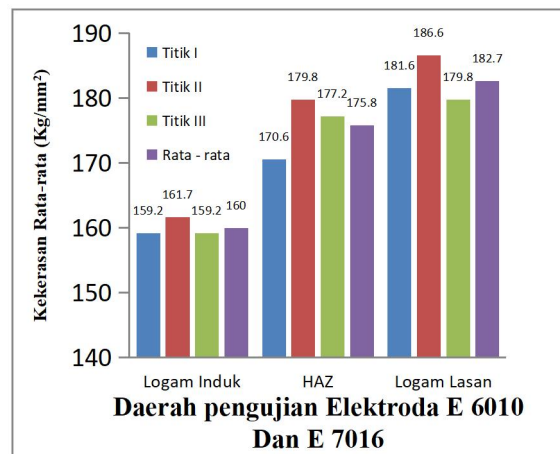
Gambar 8. Hasil Uji Kekerasan E 6010

Dari gambar di atas menunjukkan 3 daerah pengujian kekerasan yang di bagi menjadi 3 titik pengujian setiap daerahnya dari material pipa API 5L Grade X 52. Pada daerah logam lasan memperoleh nilai rata-rata 178,4 Kg/mm². Pada daerah logam induk (*base metal*) memperoleh nilai rata-rata 165,2 Kg/mm² sedangkan pada daerah HAZ memperoleh nilai kekerasan rata-rata 172,43. Nilai kekerasan tertinggi dengan elektroda E 6010 terdapat pada daerah logam lasan dengan nilai kekerasan rata-rata 178,4 Kg/mm².



Gambar 9. Hasil Uji Kekerasan E 7016

Nilai kekerasan elektroda E 7016 pada daerah logam lasan memiliki nilai kekerasan rata-rata 186,9 Kg/mm². Pada daerah logam induk (*base metal*) nilai kekerasan rata-rata 154,83 Kg/mm² sedangkan pada daerah HAZ nilai kekerasan rata-rata 179,2 Kg/mm². Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada elektroda E 7016 daerah logam lasan dengan nilai kekerasan rata-rata 186,9 Kg/mm².



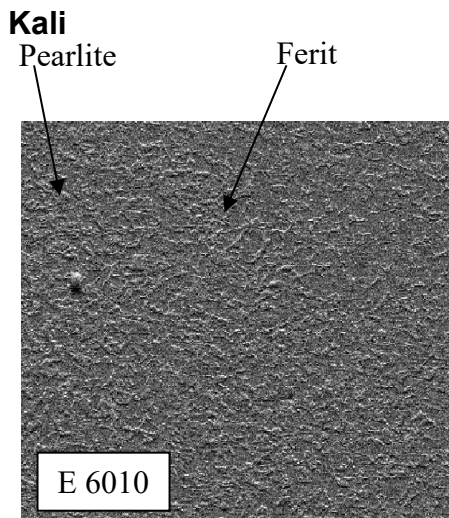
Gambar 10. Hasil Uji Kekerasan E 6010 dan E 7016

Gambar di atas menunjukkan gabungan nilai kekerasan rata-rata hasil pengelasan dengan elektroda E 6010 dan E 7016. Nilai kekerasan dengan elektroda E 7016 lebih tinggi dari pada E 6010 pada daerah logam lasan dan juga pada daerah HAZ.

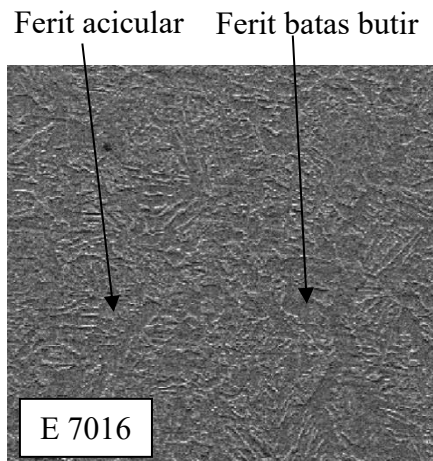
D. Pengujian Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro di lakukan dengan perbesaran 500 kali dan 1000 kali dan di lakukan pada daerah lasan dari pengelasan jenis elektroda E 6010 dan E 7016 dengan material pipa API 5L Grade X 52.

D.1. Struktur Mikro Perbesaran 500



Gambar 11. Struktur Mikro E 6010

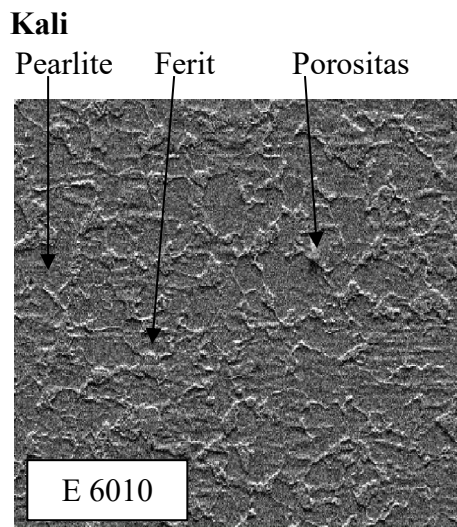


Gambar 12. Struktur Mikro E 7016

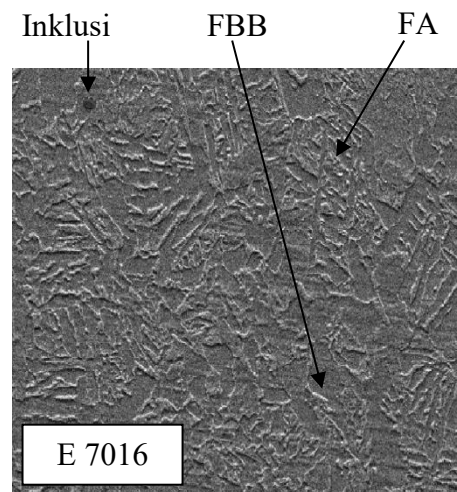
Pada hasil pengujian SEM (*Scanning Electron Microscopy*) struktur mikro yang di hasilkan dari Gambar 4.7 dapat di lihat dari perbedaan gambar uji sem dengan perbesaran 500 X, elektroda E 6010 di dominasi dengan adanya fasa *ferit* dan *pearlite*. Dimana ferit terbentuk akibat pendinginan yang lambat dari *austenit* baja *hypotektoid* dan berbentuk putih terang sedangkan *pearlite* terbentuk di bawah temperatur *eutectoid* memilikir kekerasan yang rendah dan memerlukan waktu *inkubasi* yang lama, biasanya berwarna gelap. Pada elektroda E 7016 fasa yang terbentuk adalah *fasa ferit batas butir* dan *fasa ferit acicular*. *Fasa ferit batas butir*

merupakan jenis struktur mikro terbentuk pertama kali pada transformasi *g (Austenit)* menjadi *a (Ferit)* sedangkan *ferit acicular* yaitu berbentuk *intragnular* dengan ukuran kecil dan mempunyai orientasi arah yang acak fasa ini mempunyai ketangguhan yang baik di bandingkan struktur mikro yang lain.

D.2. Struktur Mikro Perbesaran 1000



Gambar 13. Struktur Mikro E 6010



Gambar 14. Struktur Mikro E 7016

Pada gambar dengan perbesaran 1000 X fasa yang terbentuk hampir sama dengan perbesaran 500 X tetapi dengan perbesaran 1000 X akan lebih jelas bentuk-bentuk fasa dari material yang di uji. Pada E 6010 sama seperti perbesaran

500 X material ini di dominasi fasa *ferit* dan *pearlite* dan terlihat ada porositas yang terjadi dari proses pengelasan yang di lakukan. Pada elektroda E 7016 terlihat adanya *inklusi* dimana *inklusi* sendiri membantu tumbuhnya *fasa ferit acicular*.

5. KESIMPULAN & SARAN

KESIMPULAN

Hasil pengelasan SMAW (*Shield Metal Arc Welding*) bahan pipa API 5L Grade X 52 dengan jenis elektroda E 6010 dan E 7016 memperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Nilai kekuatan tarik pada pipa API L Grade X 52 memiliki nilai *raw material* sebesar 460 Mpa sedangkan hasil pengelasan SMAW (*Shield Metal Arc Welding*) dengan jenis elektroda E 6010 dan E 7016 memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi di banding *raw material* dari pipa API 5L Grade X 52 dengan nilai kuat tarik rata-rata elektroda E 6010 sebesar 554 MPa dan jenis elektroda E 7016 memperoleh nilai kuat tarik rata-rata sebesar 617 MPa dari hasil tersebut mengalami perbedaan sebesar 63 MPa Nilai Kuat tarik E 7016 lebih tinggi di bandingkan E 6010.
2. Nilai kekerasan pada bahan pipa API 5L Grade X 52 dengan pengelasan SMAW (*Shield Metal Arc Welding*) dengan jenis elektroda E 6010 dan E 7016 pada daerah logam induk E 7016 lebih rendah di banding E 6010 dengan perbedaan sebesar 5,2 %. Pada daerah HAZ nilai kekerasan E 7016 lebih tinggi di banding E 6010 dengan selisih 3,4 % sedangkan di daerah logam lasan E 7016 memiliki

kekerasan lebih tinggi di banding E 6010 dengan selisih 4,25 %.

3. Nilai ketangguhan *raw material (Impact)* pada bahan pipa API 5L Grade X 52 sebesar 0,777 Joule/mm² dan dari hasil pengelasan SMAW (*Shield Metal Arc Welding*) dengan jenis elektroda E 6010 dan E 7016 memperoleh nilai ketangguhan yang lebih tinggi di banding nilai *raw material* pipa API 5L Grade X52. Nilai ketangguhan dari E 6010 sebesar 0,9622 Joule/mm² lebih rendah dari E 7016 dengan nilai ketangguhan rata-rata sebesar 1,8564 Joule/mm².
4. Struktur mikro pada daerah logam lasan E 7016 memiliki struktur mikro yang paling baik di bandingkan dengan daerah yang lainnya karena pada daerah.

SARAN

1. Perlu di lakukan penelitian lebih lanjut untuk memanaskan elektroda terlebih dahulu sebelum melakukan pengelasan guna menghindari terjadinya pengelasan yang tidak sempurna.
2. Perlu di lakukan *Pre - Heating* pada bahan uji sebelum di lakukan pengelasan untuk menghindari *distrosi* dan perubahan metalurgi yang tidak diinginkan pada logam induk.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Wiryosumarto. *Teori Pengelasan*. 2000.
- [2]. *Pengaruh Jenis Elektroda E 6010 dan E 7018 terhadap material pipa api 5l grade b*. Tampubolon, Frabinous. 2012.
- [3]. *Analisis Jenis Elektroda E7016 dan E7018 Proses Las SMAW pada Pipa Galvanis 3 inch terhadap Kekuatan*

- Tarik*. Rachmandani, Achmad Yunus Arif. 2015.
- [4]. Riswa Dwijatmiko M.Pd. *Teori Pengelasan Logam*. 2008.
- [5]. Askeland. *The Science and Engineering*. 1985.
- [6]. Saripuddin, M., & Umar Lauw, D. (2013). *Pengaruh Hasil Pengelasan Terhadap Kekuatan, Kekerasan, dan Struktur Mikro Baja St 42*. Universitas Islam Makasar.
- [7]. Putra, Dimas Pratama, 2011. *Analisa Hasil Pengelasan SMAW pada Baja Tahan Karat Feritik dengan Variasi Arus dan Elektroda*.
- [8]. Santoso, Trinova budi, dan Hutomo, Prihartanto Tri, 2015. *Pengaruh Kuat Arus Lisrik terhadap Kekuatan Tarik dan Struktur Mikro Las SMAW dengan Elektroda E7016*.
- [9]. Danarbroto, H. (2012). *Karakterisasi Sifat Mekanis dan Struktur Mikro Pipa Baja JIS Z 2201*. *Dinamika Sains*, 10 (24).
- [10]. Okumura, T., & Wiryosumarto, H. (1996). *Teknologi Pengelasan Logam*. Pradaya Paramita. Jakarta.
- [11]. Sumardiyanto, D., Sulilowati, S.E., & Cahyo, A. (2018). *Effect of Cutting Parameter on Surface Roughness Carbon Steel S45C*. *Journal of Mechanical Engineering and Automation*, 8(1), 1-6.
- [12]. Ramdani, R., Pratikno, H., & Yuliadi, M.Z. (2017). *Analisa Pengaruh Variasi Sudut Bevel Akibat Kombinasi Pengelasan Fcaw dan SMAW terhadap Kekuatan Impact Butt Join pada Spesimen Pipa Api 51 Grade X42*. *Jurnal Teknil ITS*, 5(2).
- [13]. *API 5L "Specification For Line Pipe"* 200