

DRAFT PUBLIKASI

**PENGARUH VARIASI JENIS ELEKTRODA TERHADAP
KETANGGUHAN IMPAK DAN KEKUATAN LENGKUNG
(*BENDING*) SAMBUNGAN LAS SMAW PADA BAJA KARBON
RENDAH**



Disusun Oleh :

Tegar Putra Alam

210015164

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN S1
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL YOGYAKARTA
2021**

**SURAT PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH
DAN PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI**

Dosen Pembimbing Pertama :

Nama : Ir. Wartono, M.Eng.
NIP/NIK : 196211151994031001
Program Studi : Teknik Mesin S1
E-Mail : wartono@itny.ac.id

Dosen Pembimbing Kedua :

Nama : Anita Susiana, S.T., M.Eng
NIP/NIK : 197300095
Program Studi : Teknik Mesin S1
E-Mail : anitasusiana@itny.ac.id

Mahasiswa/i :

Nama : Tegar Putra Alam
Nomor Mahasiswa/I : 210015164
Program Studi : Teknik Mesin S1
E-Mail : Alamputategar@gmail.com
HP : 089688832308
Alamat Lengkap : RT 01 RW 05, Ketraman, Adikarso, Kebumen, Jawa Tengah.
Tanggal Sidang : 15 Februari 2021
Judul Skripsi : Pengaruh Variasi Jenis Elektroda Terhadap Ketangguhan Impak Dan Kekuatan Lengkung (*Bending*) Sambungan Las SAMW Pada Baja Karbon Rendah
Judul Artikel Ilmiah : Pengaruh Variasi Jenis Elektroda Terhadap Ketangguhan Impak Dan Kekuatan Lengkung (*Bending*) Sambungan Las SAMW Pada Baja Karbon Rendah

Menyatakan bahwa artikel mahasiswa tersebut di atas telah diperiksa oleh dosen pembimbing pertama dan kedua dan disetujui untuk **dipublikasikan di portal Jurnal Mahasiswa Teknik Mesin** (<https://journal.sttnas.ac.id>) serta menyatakan dengan sebenarnya bahwa artikel ilmiah yang tersebut di atas adalah **ASLI**, dan merupakan hasil karya ilmiah mahasiswa tersebut di atas sendiri bersama dosen pembimbingnya dan **BEBAS PLAGIASI**. Jika ternyata dikemudian hari terbukti merupakan plagiasi punya orang lain atau auto plagiasi, maka mahasiswa tersebut di atas bersedia menerima **SANKSI** yang berlaku di STTNAS Yogyakarta.

Demikian surat persetujuan Publikasi Karya Ilmiah dan pernyataan Bebas Plagiasi ini dibuat untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya dan terima kasih.

Dosen Pembimbing Pertama



Ir. Wartono, M.Eng.
NIP: 196211151994031001

Mengetahui:
Ketua Program Studi Teknik Mesin



Ir. Wartono, M.Eng.
NIDN: 196211151994031001

PENGARUH VARIASI JENIS ELEKTRODA TERHADAP KETANGGUHAN IMPAK DAN KEKUATAN LENGKUNG (*BENDING*) SAMBUNGAN LAS SMAW PADA BAJA KARBON RENDAH

Tegar Putra Alam⁽¹⁾, Wartono⁽²⁾, Anita Susiana⁽³⁾.

⁽¹⁾Program Studi S1 Teknik Mesin Institut Teknologi Nasional Yogyakarta

^(2,3)Program Studi Teknik Mesin Institut Teknologi Nasional Yogyakarta

^(1,2,3)Intitut Teknologi Nasional Yogyakarta; Jalan Babarsari, Caturtunggal, Depok, Sleman, Yogyakarta 55281 - Telp. (0274)485390 – Fax. (0274)487249

e-mail: ⁽¹⁾alamputategar@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi jenis elektroda terhadap ketangguhan impak dan kekuatan lengkung (*bending*) las SMAW pada baja karbon rendah.

Penelitian ini menggunakan *strip plat* baja karbon rendah berukuran 300 mm × 95 mm × 6 mm yang diberi kampuh “V” dengan sudut 40° dan pengelasan menggunakan las *Shielded Metal Arc Welding (SMAW)*, menggunakan 3 *layer* dengan diameter elektroda 2,6 mm dengan arus 50A pada *layer* pertama, 2,6 mm dengan arus 80A pada *layer* kedua, dan 2,6 mm dengan arus 80A pada *layer* ketiga.

Kandungan karbon pada *strip plate* 0,1304% dan pada *weld metal* 0,0720%. Struktur mikro yang terbentuk adalah *acicular ferrite*, *grain boundary ferrite*, *widmanstatten ferrite*, *ferrite* dan *pearlite*. Nilai kekuatan lengkung *bending* tertinggi pada spesimen jenis elektroda E6013, E7016 dan E7018 berturut-turut sebesar 1.450,8 MPa, 1.623,08 MPa, dan 1.603,54 MPa. Serta nilai ketangguhan impak pada spesimen jenis elektroda E6013, E7016, dan E7018 berturut-turut sebesar 1.505 J/mm², 0.953 J/mm², dan 1.127 J/mm².

Kata Kunci: Variasi Jenis Elektroda, Las SMAW, baja karbon rendah, struktur mikro, uji *bending*, uji impak.

ABSTRACT

This study aims to determine the effect of variations in the type of electrode on the impact toughness and bending strength of SMAW welding on low carbon steel.

This study used a strip of low carbon steel plate measuring 300 mm × 95 mm × 6 mm which was given a "V" seam with a 40 ° angle and welding using Shielded Metal Arc Welding (SMAW), using 3 layers with an electrode diameter of 2.6 mm with current of 50A in the first layer, 2.6 mm with a current of 80A in the second layer, and 2.6 mm with a current of 80A in the third layer.

The carbon content on the strip plate is 0.1304% and on weld metal is 0.0720%. The microstructure formed is acicular ferrite, grain boundary ferrite, widmanstatten ferrite, ferrite and pearlite. The highest bending strength values in the electrode type specimens E6013, E7016 and E7018 are 1,450.8 MPa, 1,623.08 MPa, and 1,603.54 MPa, respectively. As well as the impact toughness values on the electrode type specimens E6013, E7016, and E7018 were 1,505 J / mm², 0.953 J / mm², and 1,127 J / mm², respectively.

Keywords: *Electrode Type Variation, SMAW Welding, low carbon steel, microstructure, bending test, impact tes*

1. PENDAHULUAN

Kemajuan-kemajuan dalam ilmu pengetahuan dan teknologi yang telah dicapai sampai saat ini berpengaruh juga pada industri logam yang semakin berkembang, hal ini disebabkan oleh beberapa aspek yang mendukungnya terutama teknologi proses dan teknologi material. Begitu pula dengan teknologi penyambungan logam yang semakin modern dan bervariasi macam dan caranya. Pengelasan merupakan salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisian, yang paling tepat digunakan untuk konstruksi bangunan dan mesin yang berbahan baku logam seperti aluminium, besi cor, baja karbon, dan sebagainya. Menghasilkan sambungan yang baik dan kuat merupakan tujuan mengapa pengelasan dipilih sebagai metode penyambungan logam sampai saat ini. Tidak mudah untuk menghasilkan sambungan yang baik dari proses pengelasan, dikarenakan sambungan yang terlihat baik secara visual belum tentu baik secara struktural.

Berdasarkan definisi las menurut *Deutsche Industrie Normung (DIN)* adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam maupun logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Sedangkan pengelasan menurut *American Welding Society (AWS)* adalah proses penyambungan logam maupun non logam yang dilakukan dengan memanaskan material yang akan disambung hingga temperatur las yang dilakukan secara dengan atau tanpa menggunakan tekanan (*pressure*) dan dengan atau tanpa menggunakan logam pengisi (*filler*). Maka secara garis besar pengelasan (*welding*) adalah salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan tekananan ataupun tanpa tekanan dan dengan atau tanpa logam tambahan. Salah satu jenis teknologi las yang sering digunakan dalam dunia pengelasan adalah *Shielded Metal Arc Welding (SMAW)* atau biasa dikenal dengan las busur listrik elektroda terbungkus.

Menurut Wiryosumarto, dkk (2000) las elektroda terbungkus adalah cara pengelasan yang banyak digunakan pada masa ini. Dalam cara pengelasan ini digunakan kawat elektroda logam yang dibungkus dengan fluks. Pada proses pengelasan jenis ini, logam induk akan mengalami pencairan akibat pemanasan dari busur listrik yang timbul antara ujung elektroda dan permukaan benda kerja. Selama proses pengelasan, elektroda mengalami pencairan bersamaan dengan logam induk dan akan mengisi kampuh.

Penggunaan jenis elektroda yang berbeda dan jenis standard pengujian tarik yang berbeda menghasilkan kekuatan tarik yang berbeda (Tarkono dkk, 2012). Perbedaan arus pengelasan dengan menggunakan elektroda yang sama juga berpengaruh terhadap kekuatan tarik hasil lasan (Santoso, 2006). Kekuatan tarik hasil pengelasan dengan elektroda E7016 lebih besar daripada hasil pengelasan E6013 (Setyo dkk, 2013). Kekuatan tarik, perpanjangan, reduksi penampang E6013 lebih tinggi nilai dibandingkan elektroda E7016 yang mempunyai heat input lebih besar, sedangkan kekerasan dengan menggunakan elektroda E6013 lebih tinggi karena heat input yang diterima lebih kecil dibandingkan menggunakan elektroda E7016 (Naryono dan Rahman, 2013).

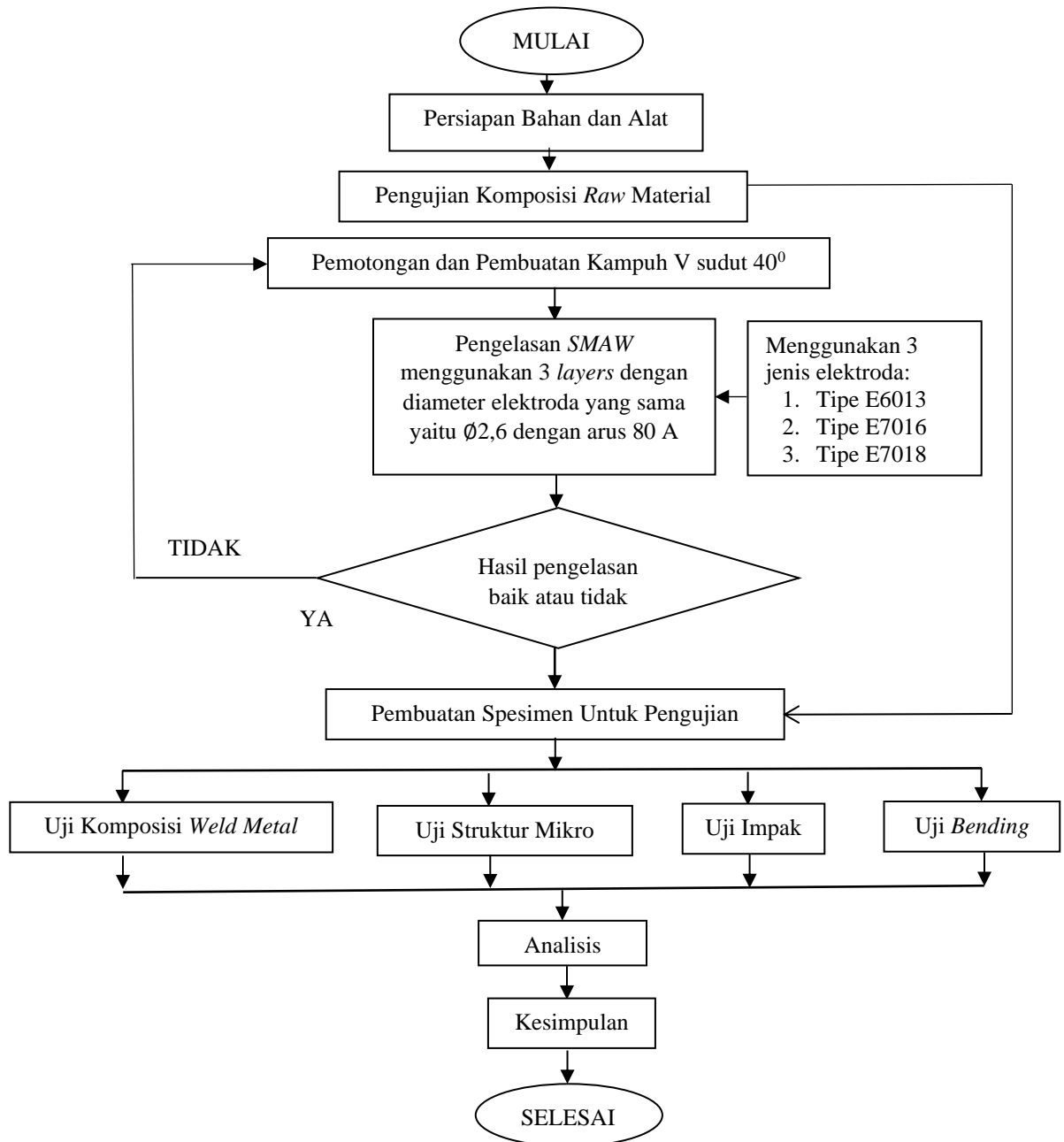
Pengelasan ini menggunakan elektroda E6013, E7016, dan E7018 dengan diameter elektroda 2,6 mm, elektroda E6013 adalah kategori kawat las *AWS SFA 5.1: E6013* untuk *mild steel* aplikasi umum, sangat cocok untuk pengelasan pada konstruksi, bengkel las, *repair & maintenance*, khususnya untuk pengelasan dengan posisi *vertical down* dan semua posisi lainnya, kemudian kawat E7016 adalah kategori kawat las standar *AWS SFA 5.1: E7016* kawat las multi fungsi untuk industri konstruksi, *repair & maintenance*. Alur lasnya halus dan bersih, penetrasinya dalam tanpa *undercut* dan baik untuk pengelasan pada celah, dan elektroda E7018 adalah kategori kawat las *standard AWS SFA 5.1: E7018* dengan *coating type basic* yang memiliki alur las yang ulet, dan bebas terjadi keretakan bahkan pada baja yang memiliki kadar karbon hingga 0,4%. Efisiensi pengelasan 120%. Karakter pengelasannya sangat baik pada segala posisi, alur las memiliki keuletan yang sangat baik.

Arus las merupakan parameter las yang langsung mempengaruhi penembusan dan kecepatan pencairan logam induk. Makin tinggi arus las makin besar penembusan dan kecepatan pencairannya. Untuk setiap elektroda mempunyai batas besar arus yang dapat di gunakan, untuk elektroda diameter 2,6 mm rentang arusnya 60–110 amper (rekomendasi produsen elektroda), dengan interval arus tersebut, pengelasan yang dihasilkan akan berbeda - beda (Soetardjo, 1997). Jenis kampuh yang digunakan adalah kampuh V, sambungan kampuh V dipergunakan untuk menyambung logam atau plat dengan ketebalan 6-15 mm. Penentuan besar arus dalam pengelasan ini mengambil 80 A.

Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jenis elektroda terhadap ketangguhan impact dan kekuatan lengkung (*bending*) sambungan las SMAW pada baja karbon rendah.

2. METODE PENELITIAN



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *strip plate* baja karbon berukuran 300 mm × 95 mm × 6 mm yang sudah diberi kampuh “V” dengan sudut 40° dan Elektroda AWSA5.1 E6013, E7016, dan E7018 berdiameter 2,6 mm.

Proses Pengelasan

Proses pengelasan menggunakan las *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) dengan posisi bawah tangan (1G) dan menggunakan 3 layer, dengan diameter elektroda 2,6 mm dengan arus 50A

pada *layer* pertama, 2,6 mm dengan arus 80A pada *layer* kedua, dan 2,6 mm dengan arus 80A pada *layer* ketiga.



Gambar 2. Spesimen hasil pengelasan

Pengujian

Pengujian komposisi dilakukan pada *raw material* dan daerah *weld metal* menggunakan *spectrometer* milik PT. Itokoh Ceperindo. Foto struktur mikro menggunakan mikroskop optik merk Olympus milik Laboratorium Bahan Teknik Mesin Vokasi UGM. Pengujian kekuatan *bending* menggunakan metode *three point*, dengan posisi *face transversal bend*, spesimen uji *bending* mengacu pada standar ASTM E-190 pengujian dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Mesin Vokasi UGM. Pengujian kekuatan impak menggunakan metode *charpy* spesimen uji impak mengacu pada standar ASTM E-23 (Gambar 4) pengujian dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Mesin Vokasi UGM. Bahan yang digunakan untuk pengujian kekuatan *bending strip plate* dengan ukuran 150 mm × 25 mm × 6 mm masing-masing 3 variabel, kemudian untuk kekuatan impak dengan ukuran 150 mm × 10 mm × 6 mm masing-masing 3 variabel.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil uji komposisi kimia (Tabel 1) menunjukkan bahwa *raw material* mengandung kadar karbon sebesar 0,1304% dan hasil uji komposisi (Tabel 2) menunjukkan daerah *weld metal* mengandung kadar karbon sebesar 0,0720%, sehingga *strip plate* yang digunakan pada penelitian ini masuk kedalam golongan baja karbon rendah dan *weld metal* masuk kedalam golongan baja karbon rendah. Komposisi elektroda E6013, E7016 dan E7018 (Tabel 3) menunjukkan karbon sebesar 0,12%.

Tabel 1. Hasil uji komposisi kimia *raw material*

Fe	C	Si	Mn
99,0879	0,1304	0,1411	0,5245

Tabel 2. Hasil uji komposisi kimia *weld metal*

Fe	C	Si	Mn
98,9364	0,0720	0,2556	1,3053

Tabel 3. Hasil uji komposisi kimia elektroda

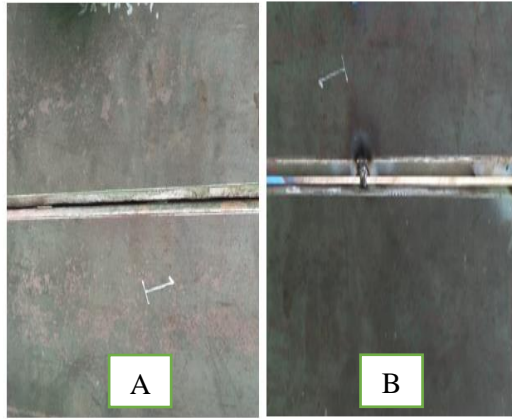
Elektroda	C	Si	Mn
E6013	≤0,12	≤0,35	0,3 – 0,6
E7016	0,12	0,75	1,6
E7018	≤0,12	≤0,75	≤1,6

Pengamatan Visual Sebelum dan Sesudah Pengelasan

Berdasarkan hasil pengamatan visual pada *strip plate* setelah dilas seperti pada (Gambar 4), tidak terlihat adanya cacat las porositas pada permukaan *weld metal*. Hal ini dikarenakan *strip plate* yang akan dilas sudah dipastikan tidak ada kotoran yang menempel seperti pada (Gambar 3) sehingga cacat las porositas dapat dihindarkan. Selain memastikan tidak ada kotoran yang menempel pada

benda kerja yang akan dilas, pastikan juga elektroda yang akan digunakan tidak lembab karena elektroda yang lembab dapat menyebabkan cacat las porositas.

Spatter atau percikan las jika dapat dibersihkan maka dapat dikatakan bukan cacat las. Namun, jika jumlahnya berlebih dan tidak dapat dibersihkan maka dikategorikan dalam cacat las *visual*. Hasil pengamatan *visual* pada (Gambar 4) tidak terlihat adanya cacat las *over spatter* atau percikan las yang berlebih, sehingga dapat dikatakan hasil pengelasan pada *strip plate* seperti pada (Gambar 4) tidak dikategorikan kedalam cacat las *visual*.



Gambar 3. *Strip plate* sebelum dilas



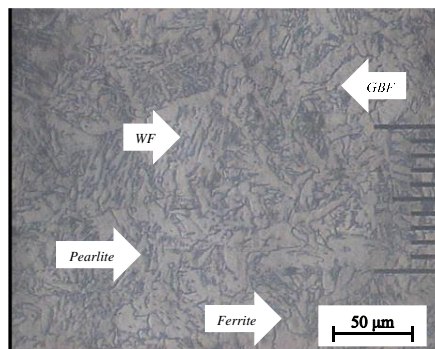
Gambar 4. *Strip plate* setelah dilas

Analisis Hasil Pengujian Struktur Mikro

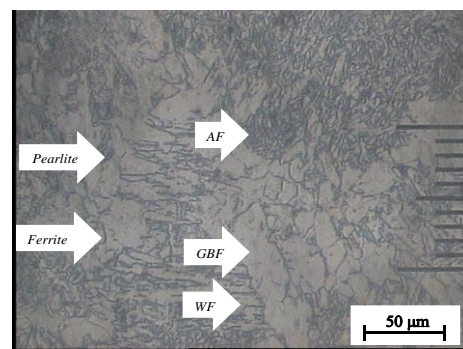
Tujuan dari pengujian ini adalah untuk memperoleh gambaran suatu benda uji tentang sifat-sifatnya, bentuk struktur atau karakteristik tertentu guna penganalisaan terhadap sifat-sifat lain yang dimiliki benda uji, misalnya dengan variasi struktur mikro seperti jumlah, ukuran, bentuk, warna dan distribusi fase.

Pengujian struktur mikro dilakukan pada daerah *weld metal*, *HAZ* kasar, *HAZ* halus, batas las, dan daerah *base metal* dengan pembesaran 100 \times .

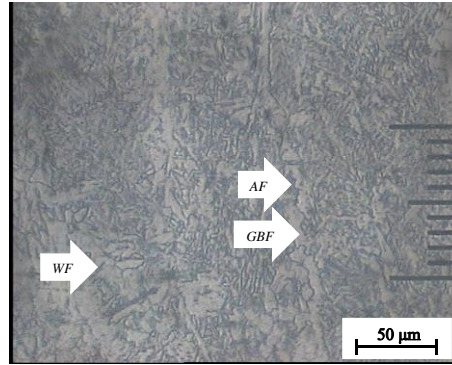
(A). Hasil pengujian Struktur mikro pada daerah *weld metal*



Gambar 5. Struktur mikro *weld metal* elektroda E6013



Gambar 6. Struktur mikro *weld metal* elektroda E7016



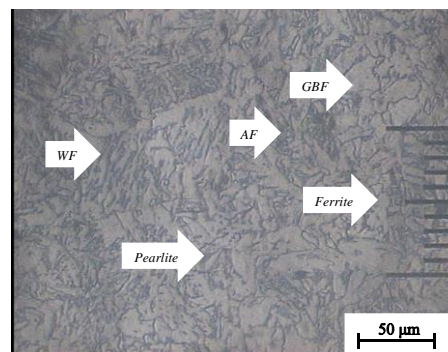
Gambar 7. Struktur mikro *weld metal* dengan elektroda E7018

Keterangan :
AF = *Acicular Ferrite*
WF = *Widmanstatten Ferrite*
GBF = *Grain Boundary Ferrite*

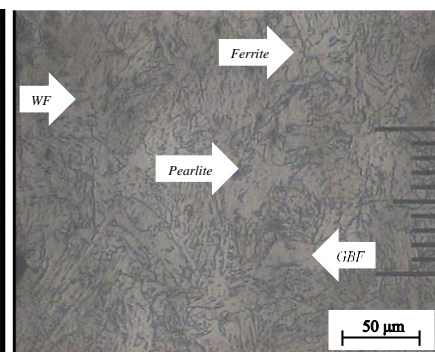
Berdasarkan pengamatan dari struktur mikro pada daerah *weld metal*, struktur yang terbentuk adalah *accicular ferrite*, *grain boundary ferrite* dan *widmanstatten ferrite*. Struktur mikro yang terbentuk pada setiap spesimennya mempunyai variasi bentuk, ukuran, dan jumlah yang berbeda-beda, contohnya pada spesimen elektroda E7016 yang lebih didominasi oleh *accicular ferrite*, *grain boundary ferrite*, *widmanstatten ferrite*, *pearlite* dan *ferrite*. Sedangkan pada spesimen elektroda E7018 struktur mikro yang terbentuk tidak jauh berbeda dengan spesimen elektroda E7016 yaitu *accicular ferrite*, *grain boundary ferrite*, *widmanstatten ferrite*. Berbeda dengan spesimen elektroda E6013 struktur yang terbentuk yaitu *widmanstatten ferrite* dan *grain boundary ferrite*.

Pada *weld metal* terdapat struktur mikro berupa *accicular ferrite*, *widmanstatten ferrite*, dan *grain boundary ferrite*. Hadirnya struktur mikro *widmanstatten ferrite* dapat menurunkan keuletan dan ketangguhan logam las. Yang berbentuk plat-plat sejajar dengan lapisan karbida, sehingga mudah retak merambat sejajar dengan plat. Namun sebaliknya hadirnya *accicular ferrite* sangatlah diharapkan karena dapat meningkatkan kekuatan dan ketangguhan logam las, struktur ini berbentuk jarum pendek yang saling menyilang membentuk anyaman.

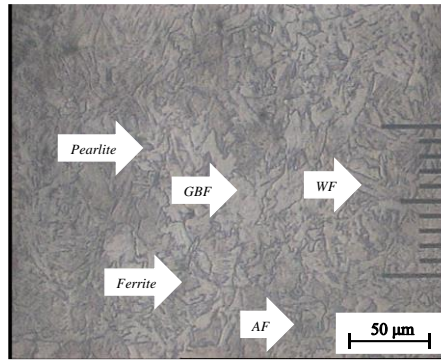
(B). Hasil pengujian struktur mikro pada daerah *HAZ* kasar



Gambar 8. Struktur mikro *HAZ* kasar elektroda E6013



Gambar 9. Struktur mikro *HAZ* kasar elektroda E7016

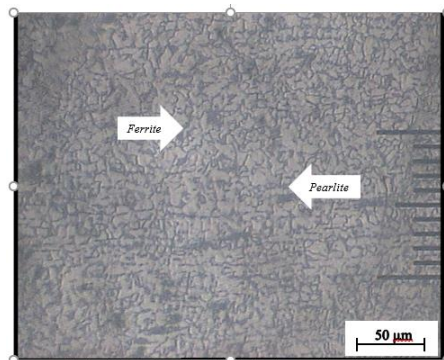


Gambar 10. Struktur mikro HAZ kasar elektroda E7018

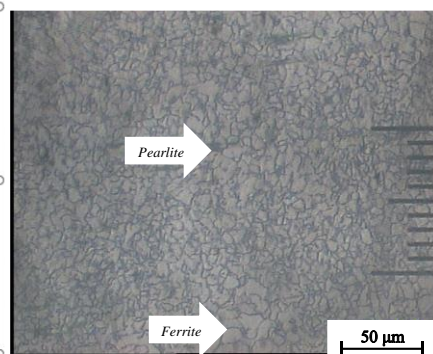
Berdasarkan pengamatan dari struktur mikro pada daerah HAZ kasar, struktur yang terbentuk adalah *accicular ferrite*, *grain boundary ferrite* dan *widmanstatten ferrite*. Struktur mikro yang terbentuk pada setiap spesimennya mempunyai variasi bentuk, ukuran, dan jumlah yang berbeda-beda, contohnya pada spesimen elektroda E6013 dan E7018 yang lebih didominasi oleh *accicular ferrite*, *grain boundary ferrite*, *widmanstatten ferrite*, *pearlite* dan *ferrite*. Sedangkan pada spesimen elektroda E7016 struktur mikro yang terbentuk *widmanstatten ferrite*, dan *grain boundary ferrite*.

Perbedaan antara struktur mikro pada daerah *weld metal* dengan daerah HAZ akan berpengaruh juga pada sifat mekanis kedua daerah tersebut, pada daerah *weld metal* akan mempunyai sifat tangguh yang diperoleh dari struktur *accicular ferrite* dan sifat ulet yang diperoleh dari *grain boundary ferrite*, dan pada daerah HAZ akan mempunyai sifat lunak dan ulet yang diperoleh dari struktur *ferrite* serta kuat dan cukup keras yang diperoleh dari struktur *pearlite* nya.

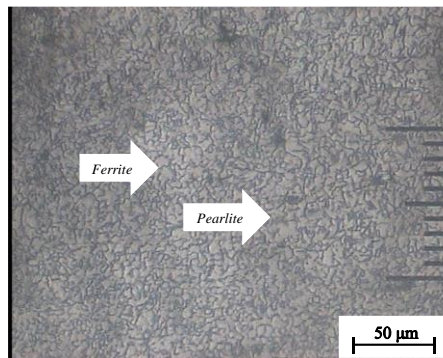
(C). Hasil pengujian struktur mikro pada daerah HAZ halus



Gambar 11. Struktur mikro HAZ halus elektroda E6013



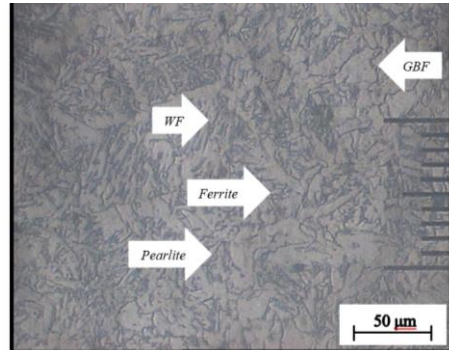
Gambar 12. Struktur mikro HAZ halus elektroda E7016



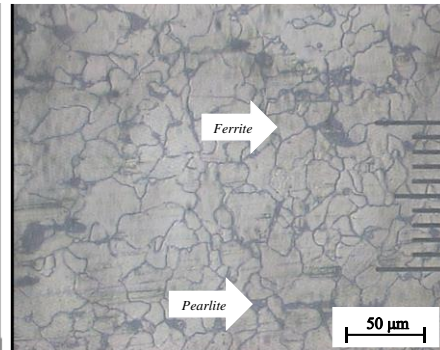
Gambar 13. Struktur mikro HAZ halus elektroda E7018

Hasil pengamatan yang dilakukan pada struktur mikro daerah *HAZ* halus, struktur mikro yang terbentuk berbeda pada daerah *HAZ* kasar, hal ini di tunjukkan pada daerah *HAZ* halus struktur yang terbentuk ialah *ferrite* dan *pearlite* dengan ukuran dan bentuk butir yang semakin halus.

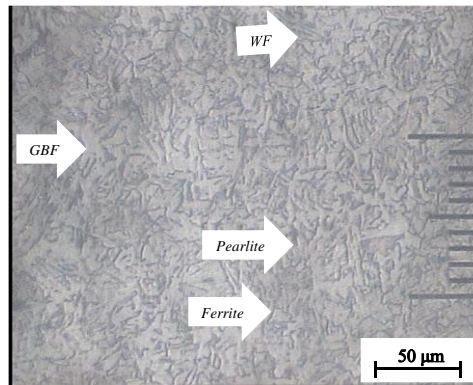
(D). Hasil pengujian struktur mikro pada daerah logam induk



Gambar 14. Struktur mikro logam induk elektroda E6013



Gambar 15. Struktur mikro logam induk elektroda E7016



Gambar 16. Struktur mikro logam induk elektroda E7018

Berdasarkan pengamatan dari struktur mikro pada daerah logam induk, struktur yang terbentuk adalah gabungan dari daerah *weld metal* dengan daerah *HAZ* yaitu *ferrite*, *pearlite*, *grain boundary ferrite* dan *widmanstatten ferrite*.

Struktur mikro yang terbentuk pada daerah logam induk terlihat perbedaannya secara jelas antara spesimen elektroda E6013, E7018 dengan E7016, pada elektroda E6013 dan E7018 terbentuk struktur *ferrite*, *pearlite*, *grain boundary ferrite* dan *widmanstatten ferrite*, sedangkan pada elektroda E7016 yaitu *ferrite* dan *pearlite*.

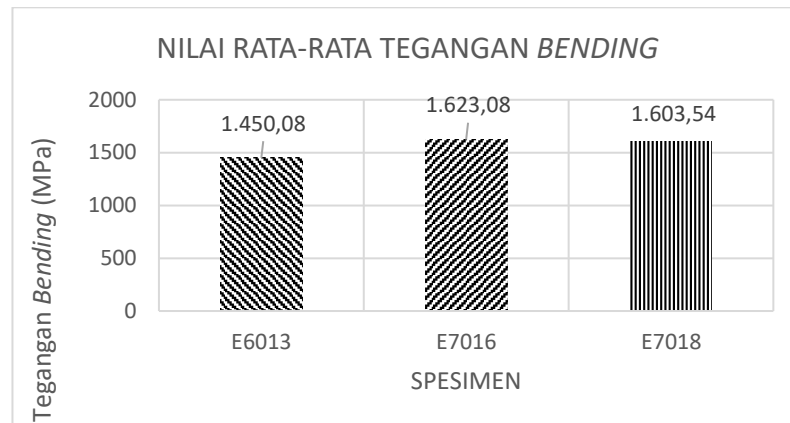
Analisis Hasil Pengujian Kelengkungan *Bending*

Hasil pengujian *bending* dengan variasi jenis elektroda

Tabel 4. Data hasil pengujian *bending* dengan variasi elektroda

No.	Kode	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Gaya (Newton)	Tegangan <i>Bending</i> (MPa)	Pergerakan <i>Loading Nose</i> (mm)
1.	E6013. 1	23,62	5,88	12.020	1.732,69	45,95
2.	E6013. 2	23,76	5,88	9.160	1.312,64	45,45
3.	E6013. 3	25,32	5,88	9.720	1.307,07	45,38

4.	E7016. 1	23,75	6,60	12.950	1.554,68	45,73
5.	E7016. 2	23,10	6,60	12.990	1.603,36	45,53
6.	E7016. 3	24,06	6,60	14.440	1.711,22	45,88
7.	E7018. 1	23,99	6,60	14.700	1.747,11	45,76
8.	E7018. 2	27,22	6,60	14.350	1.503,13	45,30
9.	E7018. 3	23,06	6,60	12.620	1.560,39	45,87



Gambar 17. Grafik nilai rata-rata tegangan *bending*

Pada dasarnya pengujian kelengkungan digunakan untuk mengetahui berbagai sifat mekanik dari suatu material. Kekuatan kelengkungan suatu material dapat dipengaruhi oleh banyak hal, selain karena komposisi kimia dan proses pengelasan, kekuatan kelengkungan juga dapat dipengaruhi oleh perlakuan-perlakuan tertentu seperti perlakuan variasi jenis elektroda yang dapat menyebabkan perubahan nilai kekuatan kelengkungan suatu material.

Setelah dilakukan pengujian kelengkungan pada spesimen uji dan didapatkan data tegangan *bending* seperti diatas maka analisisnya sebagai berikut:

Untuk hasil rata-rata pengujian *bending* tertinggi yaitu pada spesimen jenis elektroda E7016 dengan nilai 1.623,08 MPa. Hal ini dikarenakan pada spesimen jenis elektroda E7016 mengalami perubahan struktur mikro, daerah *weld metal* banyak terdapat struktur mempunyai sifat tangguh yang diperoleh dari struktur *acicular ferrite* dan sifat ulet yang diperoleh dari *grain boundary ferrite* dibandingkan dengan spesimen jenis elektroda E6013.

Hasil foto uji makro *bending*



Gambar 18. Spesimen hasil uji *bending* elektroda E6013



Gambar 19. Spesimen uji *bending* elektroda E7016



Gambar 20. Spesimen uji *bending* elektroda E7018

Pembahasan foto makro uji *bending*

Pada pengujian *bending* spesimen hasil pengujian pada elektroda E6013 terjadi retakan pada daerah las maupun daerah HAZ yaitu berupa lengkung dan terjadi retak/patah pada daerah las, pada spesimen jenis elektroda E6013.1 terjadi keretakan pada daerah las dikarenakan pada saat pengelasan nilai luluh yang dihasilkan kurang maksimal sehingga terjadi retakan saat pengujian *bending* berlangsung, dan dikarenakan menurunnya kadar komposisi Mangan (Mn) pada elektroda E6013, dan Silikon (Si) pada *weld metal*, unsur mangan dalam baja dapat menaikkan kuat tarik tanpa mengurangi atau sedikit mengurangi regangan, sehingga baja dengan penambahan mangan memiliki sifat kuat dan ulet, dan Silikon dalam baja dapat meningkatkan kekuatan, kekenyalan, ketahanan aus, dan ketahanan terhadap panas dan karat.

Pada spesimen elektroda jenis E7016 mendapat nilai uji *bending* tertinggi yaitu dengan nilai 1.623,08 MPa, hal ini dikarenakan pada jenis elektroda E7016 mengalami perubahan struktur mikro, daerah *weld metal* banyak terdapat struktur mempunyai sifat tangguh yang diperoleh dari struktur *accicular ferrite* dan sifat ulet yang diperoleh dari *grain boundary ferrite* dibandingkan dengan jenis elektroda E6013 dan baja yang digunakan baja karbon rendah yang memiliki kekuatan tarik sebesar 38-48 kgf/mm² (Wiriosumarto, 2004).

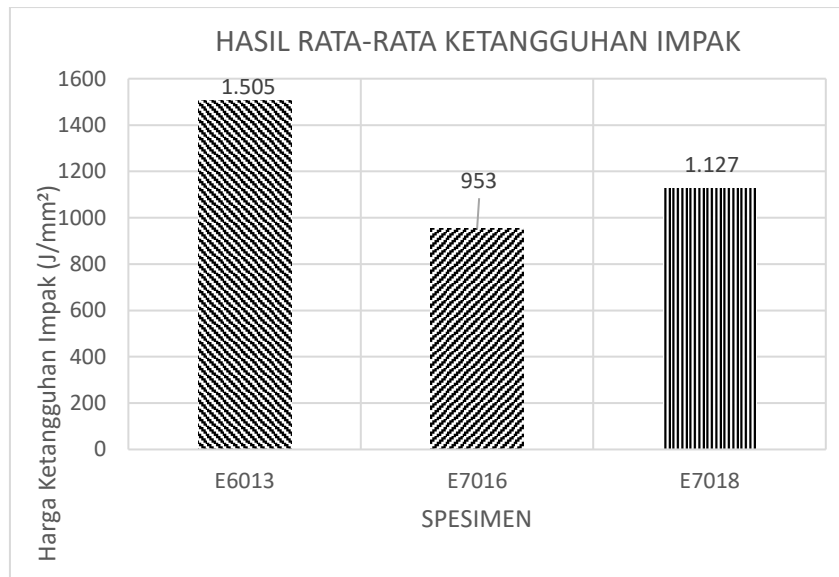
Sedangkan pada nilai *bending* rata-rata spesimen jenis elektroda E7016 sebesar 1.623,08 MPa, pada spesimen jenis elektroda E7018 sebesar 1.603,54 MPa, dan nilai *bending* terendah pada pada spesimen E6013 dengan nilai *bending* sebesar 1.450,8 MPa, dikarenakan pada struktur *accicular ferrite* tidak sebanyak pada spesimen jenis elektroda E7016. Hal ini disebabkan karena struktur *accicular ferrite* dapat meningkatkan kekuatan dan keuletan logam las.

Analisis Hasil Pengujian Ketangguhan Impak

Hasil pengujian impak dengan variasi jenis elektroda

Tabel 5. Data hasil pengujian impak.

No	Kode	Sudut α (°)	Energi Terpasang (J)	Sudut β (°)	Energi Terserap (J)	Luas (mm ²)	Harga Impact (J/mm ²)
1.	E6013. 1	151,0	300	117,5	66,1	51,27	1,290
2.	E6013. 2	151,0	300	113,0	77,5	50,98	1,520
3.	E6013. 3	151,0	300	110,0	85,3	49,98	1,706
4.	E7016. 1	151,0	300	130,0	37,2	51,21	0,725
5.	E7016. 2	151,0	300	127,0	43,7	51,04	0,856
6.	E7016. 3	151,0	300	118,0	64,9	50,74	1,279
7.	E7018. 1	151,0	300	120,5	58,8	51,51	1,141
8.	E7018. 2	151,0	300	124,0	50,5	50,86	0,993
9.	E7018. 3	151,0	300	119,0	62,4	49,98	1,249



Gambar 21. Grafik nilai rata-rata ketangguhan impact

Dari grafik diatas diperoleh nilai ketangguhan impact tertinggi terjadi pada spesimen jenis elektroda E6013 dengan nilai impact sebesar 1,505 J/mm². Hal ini terjadi disebabkan oleh struktur *acicular ferrite* pada struktur mikro. *Acicular ferrite* sangat diharapkan karena dapat meningkatkan kekuatan dan ketangguhan logam las, struktur ini berbentuk jarum pendek yang saling menyilang membentuk anyaman, maka akan menghasilkan sifat mekanis yang lebih baik. Sedangkan nilai terendah pada jenis elektroda E7016 dengan nilai sebesar 0,953 J/mm².

Hasil foto makro uji impact



Gambar 22. Spesimen hasil uji impact elektroda E6013

Gambar 23. Spesimen hasil uji impact elektroda E7016



Gambar 24. Spesimen hasil uji impact elektroda E7018

Pembahasan foto makro uji impact

Dari hasil pengujian impact didapat adanya perbedaan kekuatan impact dengan nilai tertinggi pada jenis elektroda E6013 sebesar 1,505 J/mm². Sedangkan pada nilai impact rata-rata spesimen

jenis elektroda E7018 sebesar 1,127 J/mm², dan nilai impak terendah pada spesimen jenis elektroda E7016 dengan nilai impak sebesar 0,953 J/mm², dikarenakan pada struktur *accicular ferrite* tidak sebanyak pada spesimen jenis elektroda E6013, patahnya lebih berserat, ditandai dengan permukaan patahan berserat yang menyerap cahaya dan berpenampilan buram. Hal ini disebabkan oleh struktur *ferrite* batas butir pada struktur mikro logam las. Ukuran butir ini sangat mempengaruhi sifat mekanis logam las, semakin besar ukuran butir maka akan menghasilkan sifat mekanis yang semakin baik.

Dilihat dari pengujian impak dan pencatatan hasilnya, adanya perbedaan kekuatan impak yang cukup signifikan antara spesimen jenis elektroda E6013, E7016 dan E7018. Terlihat bahwa pada spesimen jenis elektroda E6013 hasilnya patahnya lebih ulet dibandingkan dengan spesimen jenis elektroda E7016 dan E7018. Hal ini disebabkan oleh struktur *acicular ferrite* tidak sebanyak pada spesimen jenis elektroda E6013. Pada pengujian impak ini perpatahan terjadi di daerah lasan, maksud dilakukan pengujian ini dititik beratkan pada kekuatan pengelasan pada material plat strip baja karbon rendah terhadap ketangguhan impak.

4. KESIMPULAN

1. Hasil uji komposisi kimia menunjukkan *raw material* mengandung unsur utama yaitu besi (Fe) sebesar 99,08 %, mangan (Mn) sebesar 0,52 %, silikon (Si) sebesar 0,14 % dan karbon (C) sebesar 0,13 %. Berdasarkan hasil uji komposisi dapat disimpulkan bahwa baja yang digunakan adalah jenis baja karbon rendah dilihat dari nilai karbon (C) sebesar 0,13 %. Sedangkan hasil uji komposisi kimia pada *weld metal* menunjukkan besi (Fe) sebesar 98,93 %, mangan (Mn) sebesar 0,35 %, silikon (Si) sebesar 0,25 % dan karbon (C) sebesar 0,07 %. Pada *weld metal* mengalami kenaikan kadar C (Carbon) dari elektroda 0,12 %, kandungan pada elektroda E6013, E7016 dan E7018 dengan kandungan unsur C sebesar 0,12 %, Mn sebesar 0,6 % untuk elektroda E6013 sedangkan untuk elektroda E7016 dan E7018 Mn sebesar 1,6 %, Si sebesar 0,75 %, P sebesar 0,04 dan S sebesar 0,035 %.
2. Struktur mikro yang terbentuk adalah *accicular ferrite*, *grain boundary ferrite*, *widmanstatten ferrite*, *ferrite* dan *pearlite*. Jenis elektroda akan mempengaruhi ukuran dan bentuk butir struktur mikro pada daerah *weld metal*, *HAZ* dan *base metal*.
3. Hasil pengujian *bending* menunjukkan bahwa nilai kekuatan *bending* tertinggi terdapat pada spesimen jenis elektroda E7016 yaitu sebesar 1.623,08 MPa. Sedangkan pada jenis elektroda E7018 kekuatan *bending* yaitu sebesar 1.603,54 MPa, dan nilai *bending* terendah pada jenis elektroda E6013 dengan nilai *bending* sebesar 1.450,8 MPa.
4. Dari hasil pengujian impak didapat adanya perbedaan kekuatan impak dengan nilai tertinggi pada jenis elektroda E6013 sebesar 1,505 J/mm². Sedangkan pada nilai impak rata-rata spesimen jenis elektroda E7018 sebesar 1,127 J/mm², dan nilai impak terendah pada spesimen jenis elektroda E7016 dengan nilai impak sebesar 0,953 J/mm².

5. SARAN

1. Perlu dilakukan penambahan variasi elektroda agar dapat di ketahui bahan yang baik untuk digunakan sebagai elektroda.
2. Dalam hal pengelasan, prosedur sebelum dan saat pengelasan harus benar-benar dilakukan, hal ini sering dianggap remeh pada saat melakukan pengelasan, padahal hal ini berguna untuk mencegah terjadinya cacat pengelasan seperti *cluster porosity* dan lain sebagainya.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut jarak dan posisi saat pengelasan agar mengetahui cara mengelas sehingga bisa menemukan hasil yang baik.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ir. Wartono, M.Eng., selaku Dosen Pembimbing I dan kepada Anita Susiana, S.T.,M.Eng. selaku Dosen Pembimbing II yang telah membimbing terhadap penelitian ini. Tidak lupa kedua orang tua ku yang telah memberi dukungan yang tiada henti hingga penelitian ini dapat terselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

ASTM. 2010. Standart Test Methods for Testing of Metallic Material, ASTM E8/E8M-13a.

Naryono dan Rahman, 2013. *Pengaruh variasi kecepatan pengelasan pada penyambungan pelat baja SA 36 menggunakan elektroda E6013 dan E7016 terhadap kekerasan, struktur mikro dan kekuatan tariknya.*

Santoso J, 2005. *Pengaruh arus pengelasan terhadap kekuatan tarik dan ketangguhan las SMAW dengan elektroda E7018*, Skripsi, Universitas Negri Semarang.

Setyo dan Rendy, 2013. *Pengaruh Kecepatan Pengelasan dan Jenis Elektroda Terhadap Kekuatan Tarik Hasil Pengelasan SMAW baja ST60*, Jurnal Teknik Mesin Univ. Brawijaya Malang.

Soetardjo. 1997. *Petunjuk Praktek Las Asetilin dan Las Listrik* (Moedjiarto, ed.). Surabaya: SIC Surabaya.

Tarkono, Siahaan, G. dan Zulhanif, 2012. *Studi penggunaan elektroda las yang berbeda terhadap sifat mekanik pengelasan SMAW baja AISI1045*. Jurnal mechanical.

Wiryosumarto, Harsono. dan Okumura, T. 2000. *Teknologi Pengelasan Logam*. Cetakan Kedelapan. Pradnya Paramita. Jakarta