

Pengujian *Bending* dan Struktur Mikro Sambungan Temu Bahan AISI 1010 dengan Variasi Arus pada Pengelasan SMAW

Eko Sutarto^{a*}, Gilang Fachrurrozi^a, Amelia Rahmatika^b

^aTeknik Mesin, STT Ronggolawe Cepu, Kab. Blora

^bTeknologi Pengelasan dan Fabrikasi, Institut Teknologi Sains Bandung, Cikarang Pusat, Kab. Bekasi

*ksutarto@mail.com

Diterima : 20-12-2024

-

Direview : 25-12-2024

-

Diterbitkan : 31-12-2024

Intisari

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui kekuatan lentur pada bahan AISI 1010 yang memenuhi kriteria penerimaan ASME BPVC. IX QW-163 hasil uji tekuk metoda *face bend test*, mengamati kemungkinan terjadinya keretakan pada sisi tarik permukaan benda uji dengan metoda *dye penetrant test* dan kemungkinan adanya perubahan struktur mikro pada sambungan temu pada pengelasan busur listrik dengan arus 70, 80, dan 90 A dengan menggunakan elektroda E6013 diameter 2,6 mm. Dari hasil pengujian tekuk diperoleh data rata-rata tegangan lentur las dengan arus 70, 80, dan 90A masing-masing adalah 973,67, 986,3, dan 1.049,46 Mpa, sedang dari hasil pengamatan tidak terdapat keretakan pada permukaan tarik benda uji, dan dari perbandingan foto mikro sebelum dan setelah pengelasan tidak ada perubahan struktur mikro yang berarti.

Kata Kunci : AISI 1010, SMAW, Sambungan tumpul, *face bend test*

Abstract

The aim of this research is to determine the flexural strength of AISI 1010 material which meets the ASME BPVC acceptance criteria. IX QW-163 bending test results using the face bend test method, observing the possibility of cracks on the tensile side of the surface of the test object using the dye penetrant test method and the possibility of changes in the microstructure of the joints in electric arc welding with a current of 70, 80 and 90 A with using E6013 electrodes with a diameter of 2.6 mm. From the results of the bending test, the average bending stress data obtained from welds with currents of 70, 80, and 90A were 973.67, 986.3, and 1,049.46 MPa respectively, while from the observation results there were no cracks on the tensile surface of the test object, and from the comparison of microphotographs before and after welding there is no significant change in microstructure.

Keywords: AISI 1010, SMAW, Butt Joint, *face bend test*

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Bahan AISI 1010 adalah baja karbon rendah, banyak digunakan di industri manufaktur maupun konstruksi seperti; pembuatan kincir angin, komponen-komponen mesin perkakas, struktur bangunan, pipa saluran, *rivet* dan konstruksi lainnya (Saputra dan Masugino, 2022). AISI 1010 merupakan baja karbon polos (*plain carbon steel*) dengan kandungan karbon $\pm 0,10\%$ (Calister dan David, 2020). Kemampuan mesin (*machinability*) bahan AISI 1010, terutama dalam kondisi *cold draw* atau *cold work* cukup baik dan memiliki sifat mampu bentuk (*formability*) dan keuletan (*ductility*) yang baik, serta dapat dengan mudah dibentuk menggunakan metode pembentukan konvensional serta baja ini mempunyai kekuatan tarik yang relatif rendah tetapi dapat didinginkan mendadak (*quenching*) dan ditempa untuk meningkatkan kekuatan serta dapat dilas menggunakan semua teknik las konvensional. Bahan AISI 1010 terutama digunakan untuk aplikasi seperti baut-baut pengencang dan berkepala. (www.azom.com). Metode pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) merupakan metoda pengelasan busur listrik tertua yang dikenal manusia (Wiryosumarto, 2007:2), bahan uji penelitian ini adalah AISI 1010

tebal 6 (mm) penyambungan menggunakan jenis sambungan temu/tumpul (*butt joint*) (Wiryosumarto, 2007:212) dengan metoda pengelasan SMAW *down hand position* pada varian arus sebesar; 70, 80, dan 90 A, menggunakan elektroda E6013 dan akan diuji kekuatan lenturnya menggunakan uji tekuk/*bending* pada sisi pengelasannya dengan pengamatan kemungkinan adanya retakan pada sisi lasan menggunakan metoda *dye penetrant test* serta uji metalografi terhadap kemungkinan terjadinya perubahan struktur mikro pada bahan uji.

Untuk mengetahui dan memahami pengaruh kuat arus pengelasan terhadap kelenturan bahan uji, penulis berasumsi bahwa pengujian tekuk adalah efektif untuk mengetahui perbedaan keuletan bahan uji.

1.2. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

- Mengetahui pengaruh variasi kuat arus las SMAW terhadap kekuatan tekuk bahan AISI 1010 dan memeriksa kemungkinan adanya keretakan pada lasan.
- Mengetahui pengaruh variasi kuat arus las SMAW terhadap perubahan mikro struktur bahan AISI 1010.

2. Kerangka Teori

2.1. AISI 1010

AISI 1010 merupakan baja karbon rendah, salah satu bahan yang banyak digunakan dalam proses pengelasan, baja karbon rendah sering disebut dengan baja lunak. Baja jenis ini mempunyai kadar karbon antara 0,8 hingga 0,13% C yang mempunyai sifat mudah untuk ditempa (Irwanto, 2016:18). dengan komposisi kimia sebagai berikut (Tabel 1):

Tabel 1 Komposisi kimia AISI 1010

Unsur	Komposisi (%)
Fe	99,18-99,62
Mn	0,3 - 0,6
S	≤0,05
P	≤0,04
C	0,8 - 0,13

Pengaruh unsur-unsur kimia terhadap sifat mekanik bahan adalah; karbon merupakan unsur utama dalam baja yang mempengaruhi kekuatan, ketangguhan, dan keuletan. Mangan adalah unsur penting kedua setelah karbon dalam hal kekuatan, ketangguhan dan keuletan, deoksidasi sekunder dan juga bertindak sebagai desulfuriser. Belerang untuk meningkatkan kemampuan mesin komponen, namun diyakini dapat mengurangi sifat mampu bentuk (Prah et al., 2019). Fosfor dalam baja dapat memberikan efek menguntungkan dan juga merugikan. Fosfor adalah salah satu penguat larutan padat ferit yang paling ampuh. Penambahan fosfor hanya 0,17% akan meningkatkan hasil dan kekuatan tarik baja lembaran rendah karbon sekitar 62 MPa (9 ksi) sekaligus meningkatkan respons pengerasan panggang dan daya tarik yang dalam. Karena sifat-sifat ini, baja berkekuatan tinggi yang difosforisasi ulang banyak digunakan untuk aplikasi pembentukan dingin. Fosfor juga digunakan sebagai aditif pada baja untuk meningkatkan karakteristik pemesinan dan ketahanan terhadap korosi di atmosfer (Total Materia, 2007). Dengan komposisi kimia seperti itu (Tabel 1) AISI 1010 memiliki sifat mekanik seperti disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2 *Mechanical Properties AISI 1010 Cold Drawn Carbon Steel* (Irwanto, 2016:19)

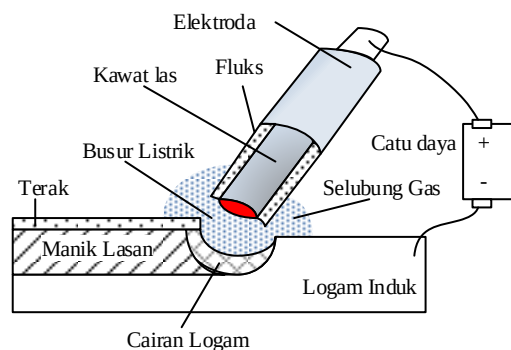
Tensile Strength (kg/mm ²)	Yield Strength (kg/mm ²)	Elastic Modulus (kg/mm ²)	Bulk Modulus (kg/mm ²)
37,2	31,1	19380 – 21420	14276

Logam induk mengalami perubahan struktur mikro akibat pengaruh panas pengelasan. Daerah ini, yang terletak di antara batas fusi dan bahan induk yang tidak terpengaruh, disebut zona yang terpengaruh panas (*heat effected zone/haz*). Besar kecilnya perubahan struktur mikro bergantung pada: 1. Komposisi bahan, 2. Laju pendinginan, pendinginan cepat kekerasan lebih tinggi, 3. Masukan panas (*heat input*), masukan panas tinggi HAZ lebih lebar, dan 4. HAZ tidak dapat dihilangkan pada pengelasan fusi.

2.2. Las SMAW

SMAW merupakan teknik pengelasan yang paling lama dan umum digunakan yang memanfaatkan energi listrik menjadi energi panas yang nantinya energi panas tersebut akan digunakan untuk memanaskan logam induk (*base/parent metal*). Pada proses menyatukan dua jenis

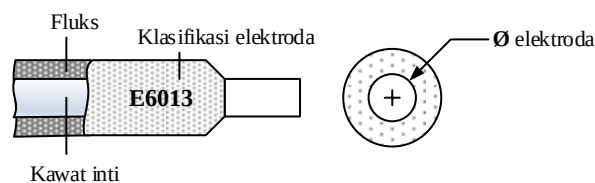
logam dengan bahan yang sama, arus listrik dari mesin las SMAW disalurkan melalui sebuah elektroda yang dibungkus fluks sebagai aditif atau logam pengisi (*filler metal*) untuk membuat sambungan menjadi lebih kokoh (Mulyadi dan Iswanto, 2020: 13). Prinsip kerja las SMAW ini yaitu saat ujung elektroda didekatkan pada benda kerja akan terjadi busur listrik membuat permukaan logam induk dan ujung elektroda meleleh bersamaan yang mengisi celah kampuh pada logam induk (Gambar 1). Selain melelehkan logam induk dan ujung kawat las, panas juga membakar fluks pelapis elektroda yang akan menghasilkan perisai gas pada lelehan logam agar tidak terkontaminasi dengan udara sekitar, sedangkan residu fluks menjadi *slag*/terak yang berfungsi mengurangi laju pendinginan.



Gambar 1. Las busur listrik dengan elektroda terbungkus (Wiryosumarto, 1996:9)

2.3. Elektroda

Elektroda SMAW adalah kawat las yang terbungkus *fluks* fungsi utama elektroda sebagai penghantar arus listrik dan fungsi kedua sebagai logam pengisi lasan. *Fluks* pada elektroda berfungsi sebagai pemantap busur dan juga sebagai sumber terak yang melindungi proses pengelasan terhadap kontaminasi udara luar (Gambar 2).



Gambar 2 Elektroda SMAW

Pemilihan elektroda harus disesuaikan dengan jenis logam benda kerja yang akan dilas, dan spesifikasi mesin las yang digunakan (Marwanto, 2007:7). E6013 adalah elektroda berlapis titania tinggi klasifikasi AWS A5.1 Kelas E6013. Elektroda ini terutama dirancang untuk memberikan pembasahan yang baik dan penetrasi yang dangkal untuk aplikasi lembaran logam tipis (menggunakan elektroda berdiameter lebih kecil), namun dengan penetrasi yang cukup untuk pengelasan baja ukuran sedang. E6013 merupakan elektroda serba guna yang menghasilkan busur stabil lembut yang mudah diregenerasi, kontrol terak yang mudah untuk pengelasan vertikal ke bawah, percikan rendah, dan tampilan manik yang indah, dapat digunakan dalam berbagai posisi pengelasan dengan arus AC atau DC (polaritas lurus atau terbalik). Komposisi kimia E6013 0,08%C, 0,45%Mn, 0,18 Si, 0,012%P, dan 0,009%S. Umumnya digunakan untuk pengelasan bodi mobil, rangka dan bodi truk, besi hias, furnitur logam, peralatan pertanian, pelindung mesin, tangki

penyimpanan, atau di mana pun tampilannya penting atau diinginkan. Faktor penting dalam pengelasan busur adalah posisi pengelasan. Posisi pengelasan mengacu pada cara sambungan las diorientasikan pada ruang relatif terhadap tukang las. Posisi datar adalah posisi paling umum di mana sambungan las diletakkan rata (di atas meja) dan kolam logam cair (*weld pool*) tertahan di dalam sambungan oleh gravitasi. Ini biasanya merupakan posisi termudah untuk membuat pengelasan (Phillips. 2016)

Tabel 2. Klasifikasi Elektroda Tipe E-6013 (AWS A5.1)

Klas	Fluks	Posisi	Jenis Listrik	σ_{tarik} (kg/mm ²)	σ_{yield} (kg/mm ²)	Δ_1 (%)
E 6010	Natrium selulosa tinggi	F,V, OH,H	DC+	43,6	35,2	22
E 6011	Kalium selulosa tinggi	F,V, OH,H	AC/DC+	43,6	35,2	22
E 6012	Natrium titania tinggi	F,V, OH,H	AC/DC-	47,1	38,7	12
E 6013	Natrium titania tinggi	F,V, OH,H	AC/DC±	47,1	38,7	12
E 6020	Oksida besi tinggi	H-S F	AC/DC- AC/DC±	43,6	35,2	25
E 6027	Oksida besi tinggi	H-S F	AC/DC- AC/DC±	43,6	35,2	25

Keterangan :

F : Pengelasan datar

V : Pengelasan vertikal

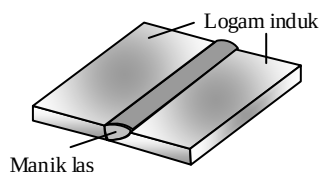
OH : Pengelasan diatas kepala

H : Pengelasan horizontal

H-S : Pengelasan horisontal las sudut

2.4. Sambungan Tumpul

Sambungan tumpul adalah bentuk sambungan yang menempelkan kedua sisi atau ujung dari kedua benda kerja. Pada sambungan tumpul, kedua benda kerja akan disejajarkan sama rata, kemudian dari setiap ujung benda kerja disatukan kemudian baru dilakukan pengelasan.



Gambar 3. Sambungan tumpul

Sambungan tumpul merupakan sambungan yang sederhana dan mudah diaplikasikan, sambungan tumpul tanpa kampuh hanya boleh digunakan pada benda kerja $t \leq 6$ mm. Untuk $t > 6$ mm hingga 20 mm digunakan alur V. (Wiryosumarto, 1996:212).

2.5. Uji tekuk

Pengujian tekuk bertujuan untuk mengukur benda uji dalam menerima pembebanan elastisitas, dan memeriksa kekuatan mekanis bahan. Metode pengujian *bending test* didasarkan

pada *triple point bending* yaitu benda uji ditumpu pada tiga titik, satu titik dibagian atas dan dua titik tumpuan dibagian bawah benda uji (Iswanto, 2016: 24) (Gambar 4). Alat dan benda uji tekuk sesuai ASME BPVC.IX-2015 sein QW-171 and QW-172 Kekuatan *bending* maksimal benda uji hasil pengelasan dapat ditentukan menggunakan persamaan (1) dan (2):

$$\sigma = \frac{P \times Ls}{4W} \quad (1)$$

dan persamaan:

$$W = \frac{b.h^2}{6} \quad (2)$$

Dengan:

σ = Tegangan bending (N/mm²)

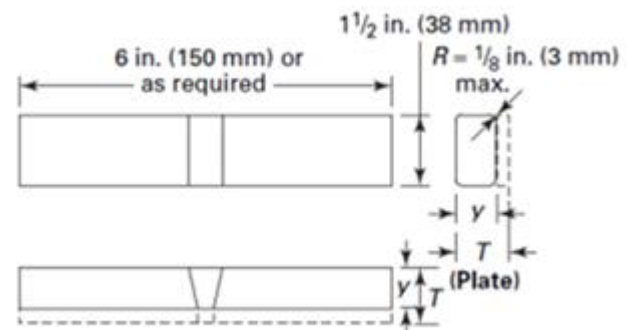
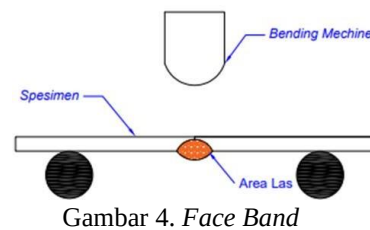
P = Beban maksimum (N)

Ls = Jarak antartumpuan (mm)

W = Moment inersia (mm³)

b = Lebar benda uji (mm)

h = Tebal benda uji (mm)



Gambar 5. Benda uji tekuk (Irwanto, 2016: 25)

Pengujian tekuk yang dilakukan pada benda uji adalah *face bend* (*bending* pada permukaan las), yaitu jika permukaan las mengalami tegangan tarik dan akar las mengalami tegangan tekan. Pengamatan dilakukan pada permukaan las yang mengalami tegangan tarik untuk mengetahui ketahanan manik lasannya (Gambar 5).

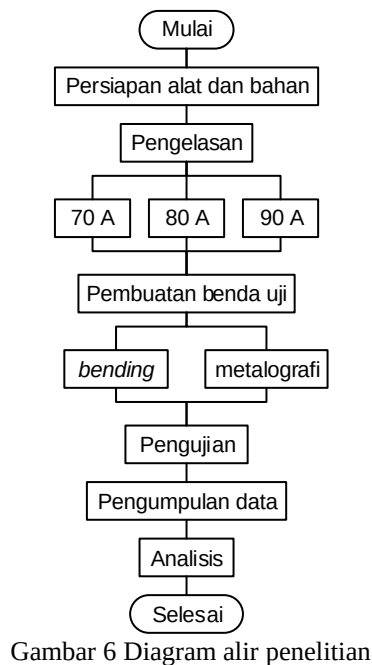
2.6. Struktur Mikro

Metalografi adalah studi tentang struktur mikro fisik logam dan paduan, dengan bantuan mikroskop. Analisis metalografi sangat penting untuk memahami sifat mekanik bahan, termasuk ukuran butir, struktur kristal, dan adanya cacat seperti retakan atau inklusi non-logam akibat proses deformasi benda uji akibat pembebanan tarik. Pada dasarnya pengamatan perbedaan intensitas sinar pantul permukaan logam yang dimasukkan ke dalam mikroskop sehingga terjadi gambar yang berbeda (gelap, agak terang, terang). Dengan demikian apabila seberkas sinar dikenakan pada permukaan benda uji maka sinar tersebut akan dipantulkan sesuai dengan orientasi sudut permukaan bidang yang terkena sinar. Bahan uji logam yang dipoles biasanya tidak

menunjukkan karakteristik struktural. Etsa metalografi pada permukaan logam dilakukan untuk memperlihatkan struktur kristal logam dan menghasilkan kontras optik antara berbagai konstituen. Apabila permukaan benda uji tidak rata, maka semakin sedikit intensitas sinar yang terpantul ke dalam mikroskop. Akibatnya, warna yang tampak pada mikroskop adalah warna hitam. Kinerja dan sifat bahan terutama sifat mekanik logam ditentukan oleh struktur mikro, dengan menganalisis struktur mikro bahan maka kinerja dan keandalan saat digunakan dapat dipahami dengan lebih baik.

3. Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian ini mengacu sesuai dengan diagram alir (Gambar 6)



Gambar 6 Diagram alir penelitian

Keterangan:

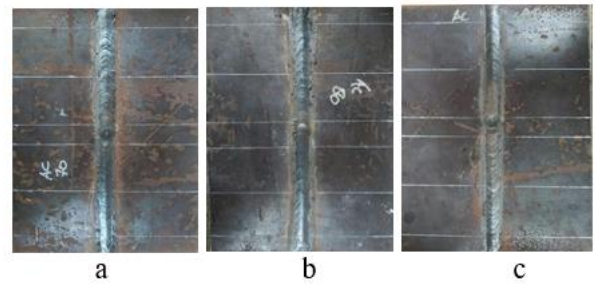
Persiapan alat dan bahan; proses penyiapan semua bahan dan peralatan yang diperlukan penelitian. Proses pengelasan, sesuai standar ASME 2015, bahan AISI 1010 tebal 6 mm dipotong menjadi ukuran 75 x 200 mm sebanyak 6 buah (3 pasang) tanpa kampuh yang masing-masing dilas sesuai nilai varian arus penelitian (Gambar 7).



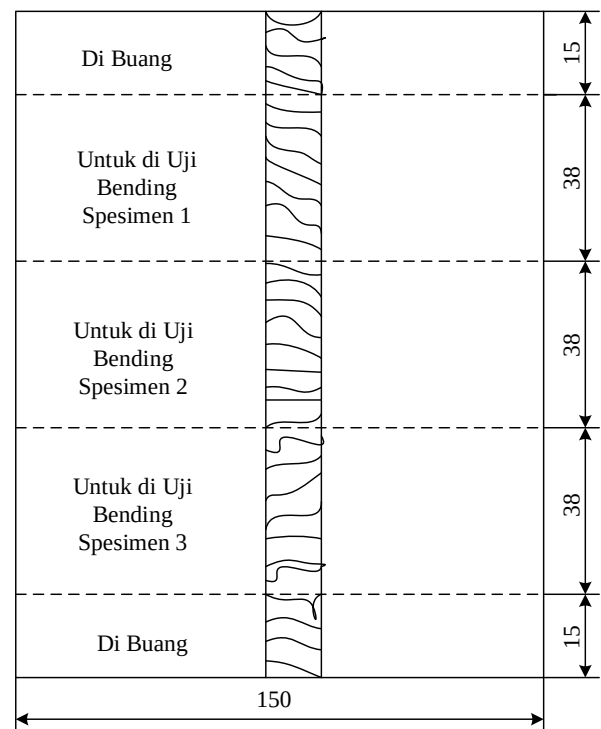
Gambar 7 Bahan pengelasan

Spesimen di las dengan teknik *down hand position* dengan 70, 80, dan 90 A (Gambar 8).

Gambar 8. Hasil pengelasan a. 70 A, b. 80 A, c. 90 A



Pembuatan benda uji *bending*; sesuai standar ASME 2015, pasangan bahan hasil pengelasan berukuran 150x38 mm (Gambar 9) dengan diberi tanda besaran arus yang dipakai las dan diberi nomor urut 1, 2, dan 3 yang menunjukkan benda uji nomor urut 1 dan seterusnya.



Gambar 9. Skema pemotongan benda uji *bending*

1. Pengujian *bending*



Gambar 10. Proses Pengujian *Bending*

Setelah proses pembuatan benda uji, tahapan berikutnya adalah pengujian *bending* menggunakan *Bending machine* data dikumpulkan dan ditabulasikan (Tabel 3). Kekuatan bending secara maksimal dari logam hasil proses pengelasan dapat dicari dengan persamaan (1) dan persamaan (2).

Dari hasil pengujian *bending*, akan dilakukan pengumpulan data yang nantinya digunakan sebagai pembandingan dengan pengelasan arus 70, 80, dan 90 A.

2. Pengujian struktur mikro

Pengamatan struktur mikro dilakukan menggunakan mikroskop dengan pembesaran 50, 100, dan 500x. Alat uji foto mikro terdiri dari mikroskop sebagai pengamatan spesimen dan layar sebagai penampil gambar foto mikro. Pengamatan struktur mikro ini dilakukan untuk mengetahui struktur mikro AISI 1010 sebelum dan setelah dilas dengan menggunakan polaritas AC, DC-, dan DC+. Pengamatan struktur mikro dilakukan dengan menggunakan mikroskop *erumex holland* dengan perbesaran lensa okuler 10x dan perbesaran lensa obyektif 50, 100, dan 500x. Metalografi adalah alat yang berguna untuk memahami struktur mikro dan sifat mekanik paduan dan logam. Ini adalah metode yang hemat biaya, digunakan di berbagai industri, yang memberikan hasil yang akurat, andal, dan dapat direproduksi yang dapat digunakan untuk menentukan sifat dan kinerja material dalam berbagai kondisi seperti tekanan dan suhu. Metalografi dapat digunakan untuk membantu mengoptimalkan desain serta mendeteksi cacat dan menentukan penyebab kegagalan.



Gambar 11. Proses uji struktur mikro

3. Kesimpulan

Kesimpulan mencakup dari seluruh inti hasil pengujian yang sudah dilakukan terhadap spesimen.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Uji bending

Hasil pengujian *bending*, dari pengamatan secara visual tidak terlihat adanya cacat secara makro atau keretakan dari hasil pengujian pada tiap benda uji. (Gambar 12).



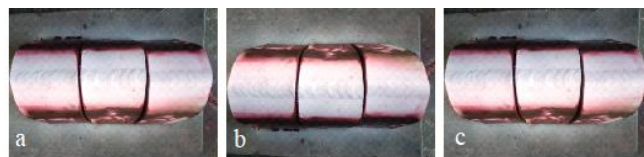
Gambar 12. Hasil uji *bending* arus las a. 70A, b. 80A, c. 90A

Guna memastikan ada tidaknya cacat pada permukaan benda uji hasil *bending* dilakukan dengan bantuan *liquid penetrant test*. *Liquid penetrant test* merupakan salah satu uji tidak merusak yang bertujuan untuk mengetahui cacat pada permukaan benda uji. Metode pengujian *penetrant* ini menggunakan prinsip kapilaritas, dimana kapilaritas akan menunjukkan letak diskontinuitas yang terjadi. Berdasarkan ASME section V artikel 6, dijelaskan klasifikasi prosedur *Liquid Penetrant Test* adalah: bahan yang dibutuhkan; benda uji, *visible dye penetrants* (terdiri dari *penetrant*, *cleaner/remover*, *developer* (Gambar 13),



Gambar 13. Bahan *visible dye penetrant*

sedang peralatan yang digunakan meliputi; lampu, lap pembersih, *light meter*.. Hasil pengamatan *dye penetrant* ditunjukkan pada (Gambar 14)



Gambar 14. Hasil pengamatan *Visible dye penetrant* untuk kuat arus a. 70 A, b. 80 A, c. 90 A

Dari hasil pengamatan *visible dye penetrant* tidak terlihat adanya keretakan pada permukaan tarik benda uji dan hasil pengujian *bending* diperoleh data (Tabel 4).

Tabel 4. Tegangan *bending* pengujian

No.	Benda uji		Gaya max (kN)	Tegangan bending (MPa)
	No uji	Arus (A)		
1	1		9,35	984,2
2	2	70	9,29	977,9
3	3		9,11	958,9
4	1		9,71	1022,1
5	2	80	9,52	1022,1
6	3		8,88	934,7
7	1		10,35	1089,5
8	2	90	9,54	1004,2
9	3		10,02	1054,7

Hasil analisis uji *bending*, dengan menggunakan persamaan 1 dan 2 maka diperoleh hasil perhitungan sebagai berikut:

- a. Hasil analisis perhitungan uji *bending* benda uji 70A₁

$$W = \frac{38 \text{ mm} \times (6 \text{ mm})^2}{6}$$

$$W = 228 \text{ mm}$$

$$\sigma = 984,21 \text{ N/mm}^2 = 984,21 \text{ MPa}$$

$$\sigma = 1.089,47 \text{ N/mm}^2 = 1.089,47 \text{ MPa}$$

- b. Hasil analisis perhitungan uji *bending* benda uji 80A₁

$$\sigma = \frac{9.710 \text{ N} \times 96 \text{ mm}}{4 \times 228 \text{ mm}^3}$$

$$\sigma = 1.022,1 \text{ N/mm}^2 = 1.022,1 \text{ MPa}$$

- c. Hasil analisis perhitungan uji *bending* benda uji 90A₁

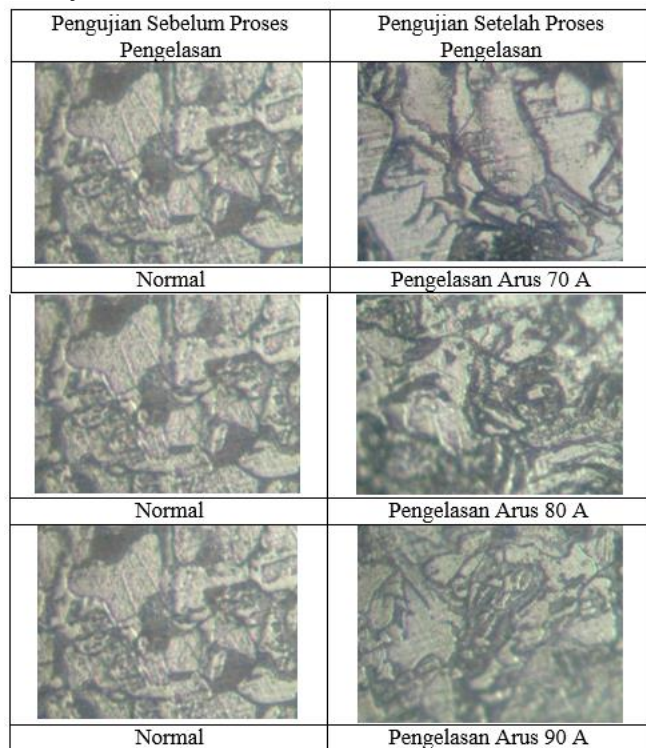
$$\sigma = \frac{10.350 \text{ N} \times 96 \text{ mm}}{4 \times 228 \text{ mm}^3}$$

$$\sigma = \frac{9.350 \text{ N} \times 96 \text{ mm}}{4 \times 228 \text{ mm}^3}$$

Tabel 5. Hasil analisis dan pengujian *bending*

No.	Benda uji No uji Arus (A)	Perhitungan σ_b (MPa)	Pengujian σ_b (MPa)
1	1	984,21	984,2
2	2	977,89	977,9
3	3	958,94	958,9
4	1	1022,1	1022,1
5	2	1022,1	1022,1
6	3	934,73	934,7
7	1	1089,47	1089,5
8	2	1004,21	1004,2
9	3	1004,73	1004,7

4.2. Uji struktur mikro



Gambar 14. Hasil pengujian struktur mikro a. Normal, b. 70 a, b. 80 A, c. 90 A

Pengamatan yang dilakukan pada bahan dengan variasi arus 70, 80, dan 90 A diketahui bahwa logam induk memiliki struktur mikro yang terdiri dari *ferrite* dan *pearlite*. menunjukkan bahwa struktur mikro dari Plat baja AISI 1010 sebelum dan setelah pengelasan, terjadi perubahan pada ferlit dan perlit pada arus 70, 80, dan 90 A.

5. Kesimpulan

- Dari hasil proses penyiapan spesimen, pengujian, dan pengumpulan data pada pengelasan SMAW bahan baja AISI 1010 dengan variasi arus 70, 80, dan 90 A menggunakan elektroda E6013 dengan diameter 2,6 mm, dengan pengujian *bending* (*face band*) maka Diperoleh kesimpulan bahwa pengelasan dengan arus 90 A memiliki tegangan *bending* yang lebih besar yaitu 1.089,5 MPa dari pengelasan dengan arus 70, 80 dan 90 A. Dan pengelasan dengan arus 70 A, mempunyai tegangan *bending* yang paling rendah yaitu 958,9 MPa.
- Dari hasil penelitian dapat diketahui bahwa pada pengelasan dengan arus 70 A memiliki perbedaan

ukuran *average size diameter* 103,964 μm lebih besar dari *average size diameter* spesimen normal. Untuk spesimen dengan pengelasan arus 80 A mempunyai perbedaan 27,7 μm lebih besar dari *average size diameter* spesimen normal. Sedangkan pada spesimen pengelasan 90 A mempunyai perbedaan *average grain size* 18,567 μm lebih kecil dibandingkan dengan *average grain size* spesimen normal. Dari hasil pengujian struktur mikro ini dapat disimpulkan bahwa, ukuran butir pada benda uji sebelum dan sesudah proses pengelasan akan mengakibatkan perbedaan ukuran struktur *grain size* pada benda uji. Perubahan ukuran *grain size* pada benda uji akan mempengaruhi kekuatan *bending* pada spesimen, yang terbukti dari hasil pengujian.

Daftar Pustaka

- Anonim, AISI 1010 Carbon Steel (UNS G10100). Available at <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=6539>
- ASME (2015) Section IX Welding, Brazing, and Fusing Qualifications 2015 ASME Boiler and Pressure Vessel Code An International Code. New York. Available at: www.techstreet.com.
- Callister, William D, Jr. David G R. 2020. Materials Science and Engineering Global Edition. Wiley
- Irwanto, Rouf A. (2016) 'Perbandingan Variasi Gerakan Elektroda Pada Proses Shielded Metal Arc Welding (SMAW) Terhadap Struktur Mikro dan Kekuatan Bending Baja Karbon Rendah', *Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang*.
- Iswanto, dkk. (2020) 'Analisa perbandingan kekuatan hasil pengelasan TIG dan pengelasan MIG pada Aluminium 5083', *Jurnal Program Studi Teknik Mesin UM Metro, TURBO* Vol. 9 No. 1. 2020
- Marwanto, A. (2007) 'Shield Metal Arc Welding', *Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Yogyakarta*
- Ogbunnaoffor C. K., Odo J.U., and Nnuka, E. E. 2016. *The Effect Of Welding Current and Electrode Types on Tensile Properties of Mild Steel*. International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 7, Issue 4, April -2016. ISSN 2229-5518
- Oktavian, D., Muhamad, dan Sopyan, A. R. (2021) 'Analisis Kekuatan Uji Bending Pengelasan Shielded Metal Arc Welding (SMAW) Bahan SS400 Menggunakan Kawat Las E6013 Berbagai Variasi Arus Listrik', *Jurnal Teknik dan Sains Fakultas Teknik Universitas Teknologi Sumbawa*, Volume 2 Nomor 1 Januari 2021.
- Prahl, Ulrich, Faisal Qayyum, Sergey Guk, R. Kawalla, 2019, *Effect of Sulphur Content on Formability of a Low Alloyed Steel*, Conference: NEMU 2019: Recent developments in massive formingAt: Institute for Forming Technology (IFU), University of Stuttgart, Germany pg. 147-156
- Saputra, Sartono Dwi. Masugino. 2022. *Pengaruh Tegangan Listrik (Volt) Proses Electroplating Nikel Terhadap Ketahanan Korosi Dan Kekerasan Lapisan Pada Baja AISI 1010*, *Journal of Mechanical Engineering Learning JMEL* 11 (2) (2022)
- Total Materia, 2007, Effect of Phosphorus on the Properties of Carbon Steels: Part One, <https://www.totalmateria.com/en-us/articles/effect-of-phosphorus-carbon-steels-1/> diakses 01 Juni 2024
- Wirjosumarto Harsono, (2008) 'Teknologi Pengelasan Logam' Pradnya Paramita, Jakarta.