

ANALISA VARIASI ARUS PENGELASAN SMAW DENGAN ELEKTRODA 7018 PADA BAJA KARBON AISI 1050 TERHADAP KEKUATAN TARIK

Ahmad Bakhori

Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sumatra Utara

ahmadbakhorinas@yahoo.co.id

Abstrak

Pada dasarnya bahan teknik sangatlah diperlukan data dan spesifikasi kekerasan maupun tekanan bahan itu sendiri sebelum di gunakan, sehingga dalam penggunaan suatu bahan tidak terjadi kesalahan dan penyimpangan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk dapat mengetahui seberapa besar ketangguhan hasil sambungan las SMAW terhadap kekuatan tarik pada baja karbon rendah aisi 1050 setelah dilakukan pengujian. Dalam penelitian ini di gunakan mesin las SMAW (Shielded Metal Arc Welding) dengan variasi arus 60 A, 80 A dan 100 A menggunakan elektroda E7018 dengan diameter 3,2 mm, kemudian dilakukan pengujian tarik. Hasil uji tarik menunjukkan bahwa kekuatan tarik tertinggi ada pada pengelasan dengan arus 100 A yaitu sebesar 643,01 N/mm² Sedangkan nilai kekuatan tarik terendah adalah pada pengelasan arus 60 A yaitu 599,30 N/mm² Sementara hasil kekuatan tarik baja aisi 1050 sebelum dilas adalah sebesar 680 N/mm² berarti terjadinya penurunan kekuatan tarik setelah mengalami Pengelasan.

Kata Kunci : Pengelasan SMAW, Baja Karbon, Uji Tarik, Variasi Arus.

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengembangan teknologi dibidang konstruksi yang semakin majudidak dapat dipisahkan dari pengelasan karena mempunyai peranan pentingdalam rekayasa dan reparasi logam. Pembangunan konstruksi pada masasekarang ini banyak melibatkan unsur pengelasan khususnya bidang rancangbangun karena sambungan las merupakan salah satu pembuatan sambunganyang secara teknis memerlukan keterampilan yang tinggi bagi pengelasan nyaagar diperoleh sambungan dengan kualitas baik.

Faktor yang mempengaruhi las adalah prosedur pengelasan yaitusuatu perencanaan untuk pelaksanaan penelitian yang meliputi carapembuatan konstruksi las yang sesuai rencana dan spesifikasi denganmenentukan semua hal yang diperlukan dalam pelaksanaan tersebut.

Mutu dari hasil pengelasan disamping tergantung dari pengerjaan lasnya sendiri dan juga sangat tergantung dari persiapan sebelum pelaksanaan pengelasan, karena pengelasan adalah proses penyambungan antara dua bagian logama tau lebih dengan menggunakan energi panas. Mesin las SMAW menurut arusnya dibedakan menjadi tiga macam yaitu mesin las arus searah atau *Direct Current* (DC), mesin las arus bolakbalik (AC), dan mesin las arus ganda yang merupakan mesin las yang dapatdigunakan untuk pengelasan dengan arus searah (DC) dan pengelasan dengan arus bolak balik (AC).

Pilihan ketika mengunakan DC polaritas negatif atau positif adalah terutama ditentukan elektroda yang digunakan. Beberapa elektroda SMAW di desain untuk digunakan hanya DC- atau DC+. Elektroda lain dapatmenggunakan keduanya DC- dan

DC+.Pengelasan ini menggunakan elektroda E7018 dengan diameter 3,2 mm, maka arus yang digunakan berkisar antara 60-100 Ampere. Dengan interval arus tersebut, pengelasan yang dihasilkan akan berbeda-beda.

Tidak semua logam memiliki mampu las yang baik. Bahan yang mempunyai sifat mampu las yang diantaranya adalah baja paduan rendah. Baja ini dapat dilas dengan elektroda terbungkus, las busur rendah dan las MIG (las logam gas mulia).

Kekuatan hasil las dipengaruhi oleh tegangan busur, besar arus, kecepatan pengelasan, besarnya penembusan dan polaritas listrik. Penentuan besar arus dalam pengelasan ini mengambil 60 Ampere 80 Ampere, dan 100 Ampere. Pengambilan 60 Ampere dimaksudkan sebagai pembandingan dengan interval arus diatas.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Untuk mengetahui pengaruh arus pengelasan terhadap kekuatan tarik daerah las baja paduan sedang menghasilkan pengelasan SMAW dengan elektroda E7018.
2. Untuk mengetahui pengaruh arus pengelasan terhadap ketangguhan baja paduan sedang hasil pengelasan SMAW dengan elektroda E7018.
3. Untuk mengetahui perbandingan variasi arus pada elektroda dengan ampere 60,80 dan 100.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengelasan

Pengelasan (*welding*) adalah salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan

atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa logam penambah dan menghasilkan sambungan yang kontinu. Lingkup teknik pengelasan dalam konstruksi sangat luas, meliputi perkapalan, jembatan, rangka baja, bejana tekan, pipa pesat, pipa saluran dan sebagainya. Disamping proses las dapat juga untuk reparasi misalnya mengisi lubang-lubang pada coran, membuat lapisan las pada perkakas, mempertebal bagian yang sudah aus, dan lainnya. Pengelasan bukan tujuan utama dari konstruksi, tetapi sarana untuk mencapai pembuatan yang lebih baik. Karena itu rancangan dan cara pengelasan harus memperhatikan dan memperlihatkan kesesuaian antara sifat-sifat las dengan kegunaan konstruksi serta kegunaannya.

2.2 Elektroda

Elektroda adalah konduktor yang mana aliran listrik keluar masuk larutan atau sarana lainnya pada instrumen listrik misalnya baterai, tabung elektron atau selic elektrolit. Pada sebagian instrumen elektroda pula dinamakan pelat atau kutub. Larutan yang memiliki kandungan ion (sebuah atom atau kumpulan atom yang memiliki muatan listrik) yang memisahkan elektroda baterai. Satu diantara elektroda tersebut yaitu elektroda negatif melakukan reaksi dengan mendonorkan sisa elektron. Sementara elektroda positif reaksi kimia yang dialaminya yaitu melepas elektron. tatkala kedua elektroda tersebut dikoneksikan oleh sebuah medan listrik eksternal, sisa elektron akan merambat dari elektroda negatif menuju elektroda positif.

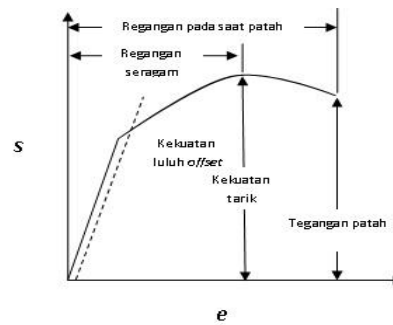
2.3 Standar Kawat / Elektroda Las Listrik

Ada standar tertentu yang dipergunakan oleh para pelaku industri pengelasan untuk bisa menentukan elektroda yang akan dipakai dan besaran arus listrik yang diperlukan. Standar yang umum dipakai adalah standar yang ditentukan oleh AWS (*American Welding Society*), yang merupakan badan pengelasan resmi di Amerika Serikat. Standar yang ditetapkan oleh badan ini telah diakui secara luas dan dipergunakan sebagai standar pengelasan di berbagai negara.

2.4 Pengujian Tarik

Dalam sambungan las sifat tarik berhubungan dengan sifat dari logam induk, jenis elektroda yang digunakan, sifat daerah HAZ, sifat logam las dan sifat dinamik dari sambungan berhubungan erat dengan geometri dan distribusi tegangan dalam sambungan.

Pengujian pada baja plat tersebut dibebani dengan kenaikan beban sedikit demi sedikit sehingga plat uji patah. Agar dapat mengetahui kekuatan tarik dengan bentuk kurva tegangan-regangan teknik, seperti pada gambar berikut:



Gambar 1. Kurva Tegangan – Regangan

Tegangan yang digunakan pada kurva adalah tegangan membusur rata-rata dari pengujian tarik. Tarik maksimum dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\sigma_t = \frac{P_{maks}}{A_o} \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan :

- P_{maks} = Gaya yang bekerja/Beban maksimal (kg)
- A_o = Luas penampang (cm²)
- σ_t = Tegangan tarik (kg/cm²)

Regangan yang digunakan untuk kurva tegangan regangan teknik adalah regangan linier rata-rata yang diperoleh dengan cara membagi perpanjangan yang dihasilkan setelah pengujian dilakukan dengan panjang awal. Dapat dituliskan sebagai berikut :

$$e = \frac{Li - Lo}{Lo} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan :

- e = Besar regangan
- Li = Panjang benda uji akhir (mm)
- Lo = Panjang benda uji awal (mm)

Pada tegangan dan regangan yang dihasilkan, dapat diketahui nilai modulus elastisitas. Persamaannya dituliskan dalam persamaan sebagai berikut :

$$E = \frac{\sigma}{e} \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan :

- E = Besar modulus elastisitas (kg/mm²)
- E = Regangan
- σ = Tegangan (kg/mm²)

III. METODE PENELITIAN

Metode penelitian merupakan cara yang digunakan dalam proses penelitian sehingga pelaksanaan dan hasil penelitian dapat di pertanggung jawab kan secara ilmiah. Untuk dapat memperoleh data dari penelitian uji kekuatan tarik terhadap baja, maka langkah – langkah dalam penelitian meliputi:

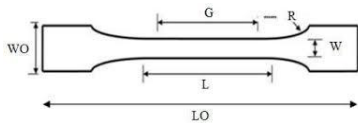
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Tempat dilaksanakannya penelitian ini adalah Laboratorium Politeknik Negeri Medan, Jalan Almamater NO. 1 Kampus Universitas Sumatera Utara. Waktu dilaksanakannya penelitian ini pada bulan Agustus 2022.

3.2 Metode Pelaksanaan Pengujian

Spesimen Uji Tarik

Mempersiapkan material yaitu pada Baja AISI 1050, pada pembentukan spesimen sesuai standar pengujian, serta pembuatan kampuh untuk dilas. Kampuh yang digunakan adalah kampuh V.



Gambar 2. Standar Uji Tarik ASTM

3.3 Proses Pengelasan

Setelah spesimen dibentuk sesuai standar, kemudian spesimen dilas menggunakan pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*). Sebelum proses pengelasan, spesimen dibersihkan dari kotoran untuk menghindari terjadinya cacat las. Berikut prosedur pengelasan sesuai parameter yang sudah ditentukan yaitu:

- Pengelasan kampuh V tunggal untuk spesimen uji tarik dengan arus 60, 80, 100 Ampere.
- Elektroda yang digunakan adalah E7018.
- Setelah pengelasan selesai, spesimen didinginkan dengan media pendingin udara.



Gambar 3. Proses pengelasan.

3.4 Proses Pengujian

Salah satu tujuan penelitian ini adalah untuk membandingkan sifat mekanik Baja AISI 1050 dengan pengelasan SMAW berdasarkan variasi arus yang digunakan.



Gambar 4. Proses Pengujian

IV. ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Uji Tarik (*Tensile Test*)

Hasil penelitian dilakukan terhadap baja AISI 1050 dimana pengujian ini dilakukan di Laboratorium Politeknik Negeri Medan. Penelitian ini menggunakan elektroda E7018 dengan variasi arus 60, 80, dan 100 Ampere. Hasil pengujian tarik masing-masing variasi dapat dilihat pada tabel berikut :

Hasil Uji Tarik Pada Arus 60 Ampere

Dari hasil penelitian pada arus 60 ampere dapat diuraikan sebagai berikut :

- Kode spesimen 60A-1 dengan lebar 15,04 mm tebal 7,78 mm memiliki gaya luluh 37100 N, gaya maksimal 61600 N, menghasilkan tegangan luluh 317,06 N/mm², tegangan tarik 526,45 N/mm², regangan 3,43 %, dan modulus elastisitas 153,5 N/mm².
- Kode spesimen 60A-2 dengan lebar 14,47 mm tebal 7,64 mm memiliki gaya luluh 38400 N, gaya maksimal 73000 N, menghasilkan tegangan luluh 374,35 N/mm², tegangan tarik 660,33 N/mm², regangan 6,48 %, dan modulus elastisitas 101,9 N/mm².
- Kode spesimen 60A-3 dengan lebar 14,27 mm tebal 7,66 mm memiliki gaya luluh 47800 N, gaya maksimal 66800 N, menghasilkan tegangan luluh 437,30 N/mm², tegangan tarik 611,12 N/mm², regangan 6,17 %, dan modulus elastisitas 99,0 N/mm².

Dari uraian diatas dapat diambil nilai rata-rata pada tegangan luluh sebesar 367,44 N/mm², nilai rata-rata tegangan tarik yaitu 599,30 N/mm², sedangkan nilai rata-rata regangan adalah 5,36 %, dan memiliki nilai rata-rata modulus elastisitas sebesar 118,14 N/mm². Sehingga dapat disimpulkan nilai kekuatan tarik pada arus 60 ampere mengalami penurunan dari kekuatan baja tanpa lasnya yaitu 599,30 N/mm² (kekuatan tarik pengujian tertinggi pada arus 60 Ampere) dan 680 N/mm² (tanpa las).

4.1.1 Hasil Uji Tarik Pada Arus 80 Ampere

Dari tabel hasil penelitian pada arus 80 Ampere dapat diuraikan sebagai berikut :

- Kode spesimen 80A-1 dengan lebar 15,08 mm tebal 7,82 mm memiliki gaya luluh 52400 N, gaya maksimal 73400 N, menghasilkan tegangan luluh 444,35 N/mm², tegangan tarik 622,43 N/mm², regangan 5,91 %, dan modulus elastisitas 105,3 N/mm².
- Kode spesimen 80A-2 dengan lebar 13,92 mm tebal 7,74 mm memiliki gaya luluh 50200 N, gaya maksimal 65600 N, menghasilkan tegangan luluh 465,93 N/mm², tegangan tarik 608,87 N/mm², regangan 5,71 %, dan modulus elastisitas 106,6 N/mm².
- Kode spesimen 80A-3 dengan lebar 14,43 mm tebal 7,6 mm memiliki gaya luluh 42400 N, gaya maksimal 69400 N, menghasilkan tegangan luluh 386,62 N/mm², tegangan tarik

632,82 N/mm², regangan 7,19 %, dan modulus elastisitas 88,0 N/mm².

Dari uraian diatas dapat diambil nilai rata-rata pada tegangan luluh sebesar 432,30 N/mm², nilai rata-rata tegangan tarik yaitu 621,37N/mm², sedangkan nilai rata-rata regangan adalah 6,27 %, dan memiliki nilai rata-rata modulus elastisitas sebesar 99,98 N/mm². Sehingga dapat disimpulkan nilai kekuatan tarik pada arus 80 Ampere mengalami penurunan dari kekuatan baja tanpa lasnya yaitu 621,37 N/mm² (kekuatan tarik pengujian tertinggi pada arus 80 ampere) dan 680 N/mm² (tanpa las).

4.1.3 Hasil Uji Tarik Pada Arus 100 Ampere.

Dari hasil penelitian pada arus 80 ampere dapat diuraikan sebagai berikut :

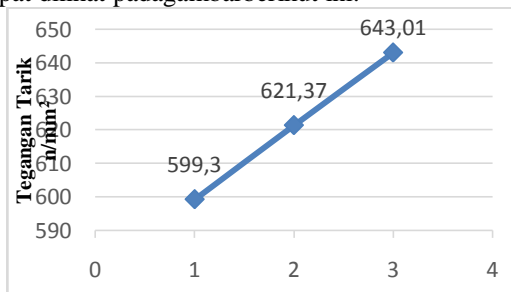
1. Kode spesimen 100A-1 dengan lebar 14,81 mm tebal 7,69 mm memiliki gaya luluh 53200 N, gaya maksimal 77600 N, menghasilkan tegangan luluh 467,12 N/mm², tegangan tarik 681,37 N/mm², regangan 10,06 %, dan modulus elastisitas 67,7 N/mm².
2. Kode spesimen 100A-2 dengan lebar 13,47 mm tebal 7,73 mm memiliki gaya luluh 61200 N, gaya maksimal 71600 N, menghasilkan tegangan luluh 587,77 N/mm², tegangan tarik 687,65 N/mm², regangan 6,01 %, dan modulus elastisitas 114,4 N/mm².
3. Kode spesimen 100A-3 dengan lebar 14,49 mm tebal 7,69 mm memiliki gaya luluh 48200 N, gaya maksimal 62400 N, menghasilkan tegangan luluh 432,57 N/mm², tegangan tarik 560,00 N/mm², regangan 6,80 %, dan modulus elastisitas 82,4 N/mm².

Hasil dari pengujian tarik yang di dapat pada uraian diatas dapat diambil nilai rata-rata pada tegangan luluh sebesar 495,82 N/mm², nilai rata-rata tegangan tarik yaitu 643,01N/mm², sedangkan nilai rata-rata regangan adalah 7,62 %, dan memiliki nilai rata-rata modulus elastisitas sebesar 209,6 N/mm². Sehingga dapat disimpulkan nilai kekuatan tarik pada arus 100 Ampere mengalami penurunan dari kekuatan baja tanpa lasnya yaitu 643,01 N/mm² (kekuatan tarik pengujian tertinggi pada arus 80 ampere) dan 680 N/mm² (tanpa las).

4.2 Grafik Tegangan, Regangan, dan Modulus Elastisitas

4.2.1 Grafik Tegangan Tarik

Grafik tarik arus 60, 80, dan 100 ampere dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 5. Arus dengan Tegangan Tarik

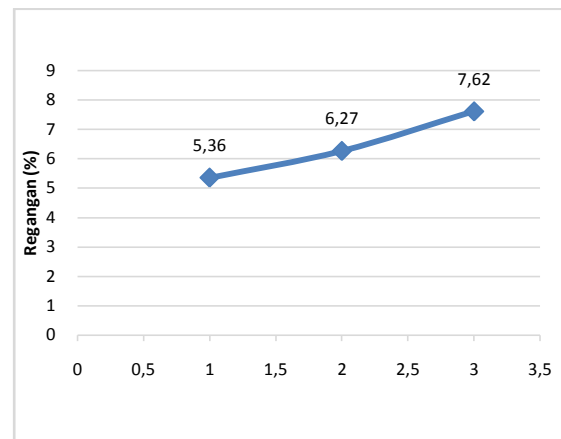
Dari grafik tegangan tarik diatas dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Arus 60 Ampere memiliki nilai tegangan tarik sebesar 599,30 N/mm²
2. Arus 80 Ampere memiliki nilai tegangan tarik sebesar 621,37 N/mm²
3. Arus 100 Ampere memiliki nilai tegangan tarik sebesar 643,01 N/mm²

Dari uraian terhadap tegangan tarik di atas dapat disimpulkan bahwa baja AISI 1050 menggunakan elektroda E7018 dengan arus 100 ampere memiliki nilai tegangan tarik rata-rata tertinggi yaitu 643,01 N/mm². Sedangkan nilai rata-rata tegangan tarik terendah terdapat pada arus 60 ampere dengan nilai 599,30 N/mm². Hal ini menunjukkan adanya pengaruh kuat arus terhadap pengelasan baja AISI 1050 untuk uji tarik, semakin besar kuat arus pengelasan maka tegangan rata-rata semakin naik.

4.2.2 Grafik Nilai Regangan.

Grafik nilai regangan 60, 80, dan 100 Ampere dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 6. Nilai Regangan

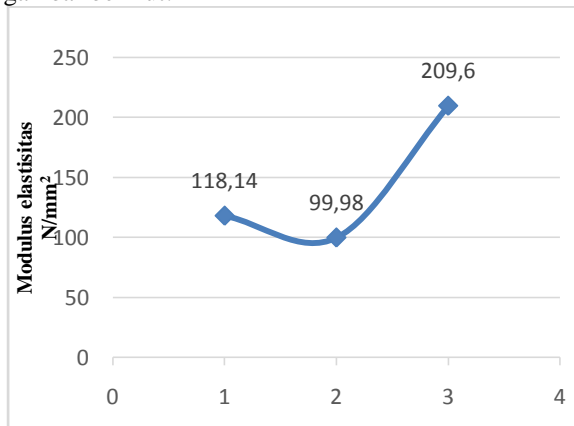
Dari grafik tegangan tarik diatas dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Arus 60 ampere memiliki nilai regangan sebesar 5,36 %
2. Arus 80 ampere memiliki nilai regangan sebesar 6,27 %
3. Arus 100 ampere memiliki nilai regangan sebesar 7,62 %

Dari uraian terhadap regangan diatas dapat disimpulkan bahwa baja AISI 1050 menggunakan elektroda E7018 dengan arus 100 ampere memiliki nilai regangan rata-rata tertinggi yaitu 7,62 %. Sedangkan nilai rata-rata regangan terendah terdapat pada arus 60 ampere dengan nilai 5,36 %. Semakin besar arus yang digunakan pada pengelesan baja AISI 1050 maka regangan akan terus turun seiring penambahan arus pada pengelasan.

4.2.3 Grafik Modulus Elastisitas

Grafik modulus elastisitas dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 7. Arus dengan Modulus Elastisitas

Dari grafik tegangan tarik diatas dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Arus 60 ampere memiliki nilai modulus elastisitas sebesar 118,14 N/mm²
2. Arus 80 ampere memiliki nilai modulus elastisitas sebesar 99,98 N/mm²
3. Arus 100 ampere memiliki nilai modulus elastisitas sebesar 209,6 N/mm²

Dari uraian terhadap modulus elastisitas diatas dapat disimpulkan bahwa nilai modulus elastisitas tertinggi terdapat pada pengelasan dengan kuat arus 100 ampere sebesar 209,6 N/mm². Sedangkan nilai modulus elastisitas terendah terdapat pada pengelasan dengan kuat arus 80 ampere sebesar 99,98 N/mm².

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan pada baja aisi 1050 dengan menggunakan elektroda E7018 ini dapat ditarik kesimpulan yaitu suhu pada proses uji pengelasan sangat berpengaruh terhadap nilai kekuatan tarik spesimen hasil pengelasan dengan perlakuan panas.

1. Berdasarkan hasil kekuatan tarik rata rata pada arus 60 A memiliki nilai rata rata terbesar adalah 599,30 N/mm², dengan regangan rata rata sebesar 5,36 % dan rata rata nilai modulus elastisitas 118,14 N/mm².
2. Berdasarkan hasil kekuatan tarik pada arus 80 A memiliki nilai kekuatan tarik rata rata 621,37N/mm², dengan regangan rata rata memiliki nilai sebesar 6,27% dan rata rata nilai modulus elastisitas 99,98 N/mm².
3. Berdasarkan hasil kekuatan tarik pada arus 100 A memiliki nilai kekuatan tarik rata rata 643,01N/mm², dengan regangan rata rata memiliki nilai sebesar 7,62% dan rata rata nilai modulus elastisitas 209,6 N/mm².

4. Berdasarkan hasil kekuatan tarik baja aisi 1050 sebelum dilas adalah sebesar 680 N/mm² berarti terjadinya penurunan kekuatan tarik setelah mengalami Pengelasan.

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan di atas, berikut ini adalah beberapa saran yang dapat diberikan dari hasil penelitian pada baja aisi 1050 dengan arus 60 A, 80 A, 100 A yaitu

1. Sebaiknya dilakukan pemanasan elektroda terlebih dahulu sebelum dilakukan pengelasan untuk menghilangkan hidrogen yang ada pada flux, karena hidrogen akan menyebabkan las-lasan menjadi berkualitas jelek.
2. Dalam analisa uji tarik sebaiknya dilakukan dengan lebih teliti.
3. Diharapkan kepada peneliti selanjutnya dapat mencari hasil uji tarik dan ketangguhan terhadap hasil pengelasan pada kelompok perbandingan jenis elektroda E 7018.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Azwinur, A., Jalil, S. A., & Husna, A. 2017. *Pengaruh variasi arus pengelasan terhadap sifat mekanik pada proses pengelasan SMAW*. Jurnal Polimesin, 15(2), 36-41.
- [2]. Hamid, A., 2016. *Analisa Pengaruh Arus Pengelasan Smaw Pada Material Baja Karbon Rendah Terhadap Kekuatan Material Hasil Sambungan*. Jurnal Teknologi Elektro, 7(1), 142425.
- [3]. Bontong, Y. 2016, *Analisis Pengaruh Arus Pengelasan Dengan Metode Smaw Dengan Elektroda E7018 Terhadap Kekuatan Tarik Dan Ketangguhan Pada Baja Karbon Rendah*. Journal Dynamic Saint, 2(1).
- [4]. Endramawan, T., & Sifa, A. 2017. *Aplikasi Standar Aws Untuk Menentukan Acceptance Criteria Pada Pengelasan Smaw Menggunakan Nondestructive Test-Ultrasonic Test*. Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin, 6(2).
- [5]. Wahyudi, R., Nurdin, N., & Saifuddin, S. 2019. *Analisa Pengaruh Jenis Elektroda Pada Pengelasan Smaw Penyambungan Baja Karbon Rendah Dengan Baja Karbon Sedang Terhadap Tensile Strength*. Journal of Welding Technology, 1(2), 43-47.
- [6]. Nunes, A. 1998. *Heat Input And Temperature Distribution In Friction Stirwelding*. Journal of materials processing & manufacturing science, 7, 163.
- [7]. Priangga, D. J., & Hendrawan, M. A. 2016. *Pengaruh Desain Sambungan Las Spot Welding Terhadap Kekuatan Sambungan Pada Material Mild Steel* (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta).

- [8]. Hidayat, W. 2019. *Klasifikasi dan Sifat Material Teknik Serta Pengujian Material*.
- [9]. Azwinur, A., Ismy, A. S., Nanda, R., & Ferdiansyah, F. 2020. *Pengaruh Arus Pengelasan Smaw Terhadap Kekuatan Sambungan Las Double Lap Joint Pada Material Aisi 1050*. Journal of Welding Technology, 2(1), 1-7.
- [10]. Mauliza, A., & Usman, S. 2022. *Analisa Pengaruh Arus Terhadap Kekuatan Tarik Material Baja Karbon AISI 1050 Hasil Pengelasan SMAW*. Journal of Welding Technology. Volume, 4(1), 22.