

PENGARUH VARIASI ARUS DAN WAKTU PENGELASAN SPOT WELDING TERHADAP KEKUATAN SAMBUNGAN PADA BAJA GALVANIS

Muhammad Adnan Fadhiil, Wijianto

**Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas
Muhammadiyah Surakarta**

Abstrak

Pengelasan Spot Welding (Resistance Spot Welding) adalah salah satu jenis pengelasan yang sering digunakan dengan menjepit benda diantara dua elektroda tembaga yang dialiri listrik. Penelitian ini berujuan untuk mengetahui sifat mekanik dari baja galvanis setelah mengalami proses pengelasan dengan menggunakan variasi arus dan waktu 4000 A dan 5000 A dengan masing masing waktu 0,4 detik dan 0,5 detik, pengujian ini dilakukan untuk mengetahui dilakukan pengujian fisis dan mekanis dengan menggunakan pengujian tarik dengan ASTM E8, untuk komposisi kimia menggunakan ASTM E425-08, untuk pengujian struktur mikro dengan standart ASTM E3-01, dan Pengujian bending dengan standart ASTM E910. Hasil dari pengujian tarik menghasilkan nilai rata-rata tegangan tarik tertinggi pada arus 5000 Ampere dengan waktu 0,5 nilai tegangan tarik rata-rata sebesar (31,79 N/mm²). Hasil pengujian struktur mikro plat galvanis dengan pembesaran 200x ditemukan adanya unsur ferit (warna terang) dan perlit (warna gelap), diketahui semakin besar arus maka semakin jelas butiran ferit dan perlit. Hasil dari pengujian komposisi kimia pada plat baja galvanis terdapat 18 unsur yang dapat diartikan bahwa material tersebut merupakan plat baja galvanis, Berdasarkan dari pengujian hasil yang didapatkan merupakan plat baja galvanis karbon rendah dengan karbon dibawah 2%, Berdasarkan dari pengujian hasil yang didapatkan dengan kandungan Karbon (C) sebesar 0,0053%. Dan hasil pengujian bending diketahui menghasilkan nilai rata-rata tegangan tertinggi terjadi pada arus 4000 Ampere dengan waktu 0,4 nilai tegangan tarik rata-rata sebesar (359 N/mm²).

Kata kunci : Baja Galvanis, Pengujian fisis dan mekanis, *Resistance spot welding*, Variasi arus dan waktu,

Abstract

Spot Welding (Resistance Spot Welding) is a type of welding that is often used by clamping an object between two electrically charged copper electrodes. This research aims to determine the mechanical properties of galvanized steel after undergoing the welding process using variations in current and time of 4000 A and 5000 A with a time

of 0.4 seconds and 0.5 seconds respectively. This test was carried out to determine whether physical and mechanical tests were carried out using using tensile testing with ASTM E8, for chemical composition using ASTM E425-08, for microstructure testing with ASTM E3-01 standards, and bending testing with ASTM E910 standards. The results of the tensile test produced the highest average tensile stress value at a current of 5000 Ampere with a time of 0.5, the average tensile stress value was (31.79 N/mm²). The results of testing the microstructure of the galvanized plate with 200x magnification found the presence of ferrite (light color) and pearlite (dark color). It is known that the greater the current, the clearer the ferrite and pearlite grains. The results of testing the chemical composition of galvanized steel plates contain 18 elements which can be interpreted as meaning that the material is a galvanized steel plate. Based on the test results obtained, it is a low carbon galvanized steel plate with carbon below 2%. Based on the test results obtained with carbon content. (C) of 0.0053%. And the bending test results are known to produce the highest average voltage value occurring at a current of 4000 Ampere with a time of 0.4, an average tensile stress value of (359 N/mm²).

Keywords : Current and time variations, Galvanized Steel, Physical and mechanical testing, Resistance spot welding,

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengelasan merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari pertumbuhan industri karena memegang peranan utama dalam rekayasa dan manufaktur mesin. Pada era industri teknik pengelasan telah banyak dipergunakan secara luas pada proses penyambungan di konstruksi bangunan baja dan konstruksi mesin. Luasnya penggunaan teknologi ini disebabkan karena pengembangan dengan teknik pengelasan menghasilkan konstruksi yang ringan dan sederhana dalam prosesnya.

Salah satu teknik pengelasan yang dilakukan yaitu pengelasan titik atau biasa disebut *resistance spot welding* (RSW). Metode pengelasan ini dilakukan dengan cara mengalirkan arus listrik pada permukaan logam plat yang akan disambung sehingga permukaan tersebut menjadi panas dan mencair karena adanya resistansi listrik. Keunggulan dari pengelasan titik dibanding dengan pegelasan lain yaitu prosesnya cepat sehingga cocok untuk produksi masal, suplai panas yang diberikan cukup akurat dan regular, sifat mekanik hasil las kompetitif

dengan logam induk dan tidak memerlukan kawat las.

Kegagalan pada las titik dibagi menjadi 2 tipe yaitu *Interfacial failure* (IF) dan *Pull out failure* (PF). *Interfacial failure* merupakan kegagalan dalam pengelasan titik dimana terjadi kerusakan atau keretakan pada zona fusi. *Pull out failure* merupakan kegagalan dimana terjadi kerusakan pada daerah sekitar zona fusi sehingga plat mengalami kerusakan yaitu plat sobek. *Pull out failure* merupakan tipe kegagalan yang diharapkan oleh engineer karena memiliki kemampuan menahan beban geser lebih besar dibandingkan *Interfacial failure*. Parameter terpenting dalam mencari tipe kegagalan RSW adalah ukuran nugget las. Industri telah merekomendasikan berbagai macam standar ukuran minimal nugget las untuk ketebalan plat tertentu agar memudahkan dalam pengelasan.

Baja galvanis merupakan baja yang dilapisi seng pelindung (Zn) mencapai +95% yang bertujuan untuk melindungi dari karat dan korosi sehingga penggunaannya akan lebih tahan lama. Baja galvanis banyak digunakan untuk material konstruksi *outdoor* seperti konstruksi bangunan, pipa untuk aliran fluida maupun kabel listrik, otomotif seperti custom motor dan bisa untuk fasilitas umum seperti alat untuk pegangan tangan.

Untuk menguji kualitas suatu hasil lasan tipe sambungan perlu dilakukan beberapa tes atau pengujian. Salah satu metode pengujian tersebut adalah *Destructive Test* (DT). Jenis pengujian pada metode *Destructive Test* ini yang paling umum digunakan adalah jenis pengujian tarik (*Tensile Test*) dan pengujian tekuk (*Bending Test*). Uji tarik (*Tensile Test*) merupakan suatu pengujian terhadap tegangan dan regangan secara mekanik yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan bahan terhadap gaya tarik.

Untuk standar spesimen uji tarik ini menggunakan standar ASTM (*American Standard Testing and Material*). Uji tekuk (*Bending Test*) merupakan suatu pengujian yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan suatu material akibat pembebanan dan kekenyalan hasil sambungan las pada *Weld Metal*.

Pada pengujian tekuk ini dilakukan pada spesimen uji sehingga secara bersamaan akan mulai terbentuk tegangan tarik, tekan dan geser. Pada pengujian tekuk ini menggunakan tipe pembebanan yaitu *3 Point Bending*.

1.2 Tujuan Penelitian

1. Mengidentifikasi jenis material berdasarkan komposisi kimia dan uji struktur mikro.
2. Mengetahui pengaruh variasi kuat arus dan waktu pengelasan terhadap sambungan *resistance spot welding* baja galvanis.
3. Mengetahui kekuatan sambungan pengelasan menggunakan uji tarik dan uji bending pada *resistance spot welding* baja galvanis.

1.3 Batasan Masalah

1. Proses pengelasan menggunakan jenis mesin las titik atau *spot welding*.
2. Elektroda yang digunakan adalah elektroda tembaga berdiameter 4 mm.
3. Jenis material yang digunakan adalah plat baja galvanis dengan ketebalan 1 mm.
4. Pengelasan *Spot weld* dengan variasi arus 4000A dan 5000A, dengan variasi waktu pengelasan 0,4 detik dan 0,5 detik terhadap material baja galvanis.
5. Pengujian yang dilakukan meliputi :
 - a. pengujian komposisi kimia (ASTM E415-08)
 - b. pengujian tekuk / bending untuk sambungan las (ASTM E910).
 - c. pengujian tarik untuk sambungan las (ASTM E8).
 - d. pengujian struktur mikro (ASTM E3-01)

1.3 Manfaat Penelitian

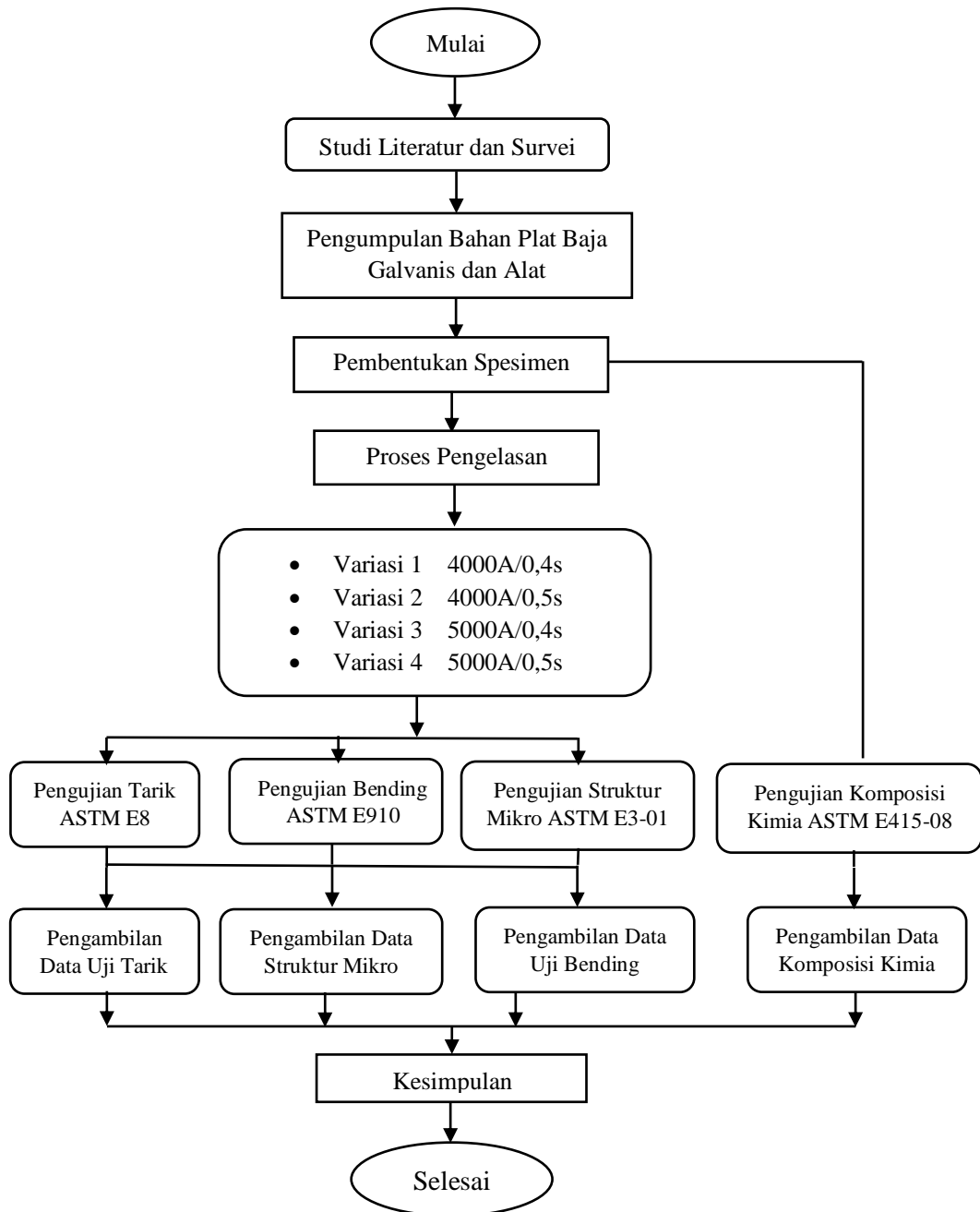
Dari penelitian yang dilakukan ada beberapa manfaat yang bisa di ambil antara lain:

1. Bidang akademik:
 - a. Sebagai referensi untuk perkembangan dan penelitian selanjutnya mengenai proses pengelasan.
 - b. Dapat memperluas wawasan terhadap ilmu metalurgi sehingga dapat menumbuhkan semangat untuk melakukan pengembangan mendatang.
2. Pengembangan industri:
 - a. Untuk meningkatkan kualitas sambungan dalam material galvanis.

- b. Semakin meningkatnya pengguna proses pengelasan galvanis dalam bidang teknologi.
- c. Memberikan masukan atau pertimbangan khusus secara teliti terhadap proses pengelasan *Spot Welding*.

2. METODE

2.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

2.2 Langkah-Langkah Penelitian

1. Mencari referensi mengenai pengelasan Spot Welding dengan material plat Galvanis, pengujian tarik, pengujian bending, pengujian komposisi kimia, dan pengujian struktur mikro dari buku, jurnal-jurnal, dan tugas akhir terdahulu.
2. Menentukan standart pengujian tarik ASTM E8 M, pengujian bending ASTM E910, pengujian komposisi kimia E415-08 dan pengujian struktur mikro ASTM E3-1
3. Mempersiapkan alat dan bahan yang diperlukan dalam penelitian ini.
4. Melakukan proses pengelasan.
5. Setelah melakukan pengelasan dilanjutkan pengujian tarik, pengujian bending, pengujian struktur mikro dan komposisi kimia.

Membahas dan menyimpulkan hasil dari penelitian yang sudah dilakukan berdasarkan data yang valid.

2.3 Alat dan Bahan Pengujian

1. Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: Mesin las Spot Welding, penggaris, jangka sorong, gergaji besi, mesin amplas, mesin poles, amplas, sarung tangan, autosol, tang.
2. Bahan yang digunakan dalam penelitian antara lain: Plat *Galvanis tebal 1mm*
3. Alat pengujian yang digunakan antara lain: Alat pengujian tarik dan bending, Alat pengujian komposisi kimia (spectrometer) dan alat pengujian struktur mikro (mikroskop)

2.4 Spesimen

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah plat baja Galvanis dengan dimensi 110 mm x 25,4 mm x 1 mm (ASTM IX)



Gambar 2 Spesimen Plat Baja Galvanis

2.5 Proses Pengelasan

1. Menyiapkan alat dan bahan yang akan dilakukan pengelasan
2. Kemudian menyetel arus yang akan menjadi acuan pengelasan
3. Kemudian benda dijepit pada tang yang digunakan untuk memegang benda
4. Kemudian tempatkan benda pada las titik dan kemudian lakukan pengelasan dan apabila sudah dijamin material yang sudah di las
5. Menentukan arus pengelasan yaitu:
 - a). Pengelasan dengan arus 4000 Ampere dengan waktu 0,4
 - b). Pengelasan dengan arus 4000 Ampere dengan waktu 0,5
 - c). Pengelasan dengan arus 5000 Ampere dengan waktu 0,4
 - d). Pengelasan dengan arus 5000 Ampere dengan waktu 0,5
6. Melakukan pengelasan.



Gambar 3 Hasil Pengelasan Spot welding.

2.6 Proses Pengujian Tarik

1. Memastikan bahwa indikator pada alat pengujian tarik menunjukkan titik nol.
2. Memasang spesimen pengujian pada ragum pada mesin pengujian.
3. Melakukan pengujian diawali dengan tenaga 0 kgf hingga spesimen putus pada beban maksimal yang dapat ditahan.
4. Angka tegangan dan regangan akan dimunculkan pada monitor pada *dial gauge*.
5. Melepas spesimen pengujian tarik yang sudah patah.
6. Mengulangi langkah pengujian sebanyak 3 kali dalam satu varian arus las.

2.7 Proses Pengujian Bending

1. Memastikan bahwa indikator pada alat pengujian tekuk menunjukkan titik nol.
 2. Memasang spesimen pengujian tekuk pada ragum pada mesin pengujian.
 3. Melakukan pengujian diawali dengan tenaga 0 kgf hingga spesimen putus pada beban maksimal yang dapat ditahan.
 4. Angka tegangan dan regangan akan dimunculkan pada monitor pada *dial gauge*.
 5. Melepas spesimen pengujian tekuk yang sudah patah.
- Mengulangi langkah pengujian sebanyak 3 kali dalam satu varian arus las.

2.8 Proses Pengujian Struktur Mikro

1. Pastikan spesimen sudah mendapat perlakuan preparasi berupa pengamplasan dan pemolesan.
2. Melakukan pengetsaan dengan campuran HNO₃ sebanyak 2 ml dan *alcohol* sebanyak 98 ml di dalam wadah.
3. Kemudian bilas dengan alir mengalir, setelah itu keringkan.
4. Menghidupkan mikroskop untuk pengujian struktur mikro.
5. Meletakkan spesimen pada alas mikroskop pengujian struktur mikro.
6. Mengatur pembesaran sebesar 100 X dan 200X.
7. Mencari fokus pada daerah yang akan diamati.
8. Melihat hasil gambar struktur mikro pada monitor.
9. Melakukan pemotretan.

2.9 Proses Pengujian Komposisi Kimia

1. Setelah dilakukan proses preparasi pada spesimen yang berupa pengamplasan dan pemolesan. Dan pastikan permukaan rata tidak miring.
2. Menghidupkan mesin spectrometer.
3. Pilih program atau parameter yang digunakan untuk pengujian sesuai base metal yang akan dilakukan pengujian.
4. Tempatkan spesimen pada dudukan kerja dan pastikan sampel menutup rapat lubang spark.
5. Putar *clamp sample* dan turunkan agar mengunci sampel yang akan di uji.
6. Memperhatikan komentar “waiting for start” apakah sudah aktif atau belum. Jika sudah berarti alat sudah terhubung dan siap menganalisa spesimen.
7. Spart/tembah spesimen yang di uji minimal 3 kali dan ubah posisi spesimen.
8. Menyimpan dan cetak hasil pengujian komposisi kimia.
9. Mengganti spesimen sebanyak jumlah spesimen yang akan dilakukan pengujian komposisi kimia.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Komposisi Kimia Baja Galvanis Dengan Standar ASTM E415-08

Tabel 1 Hasil Pengujian Komposisi Kimia

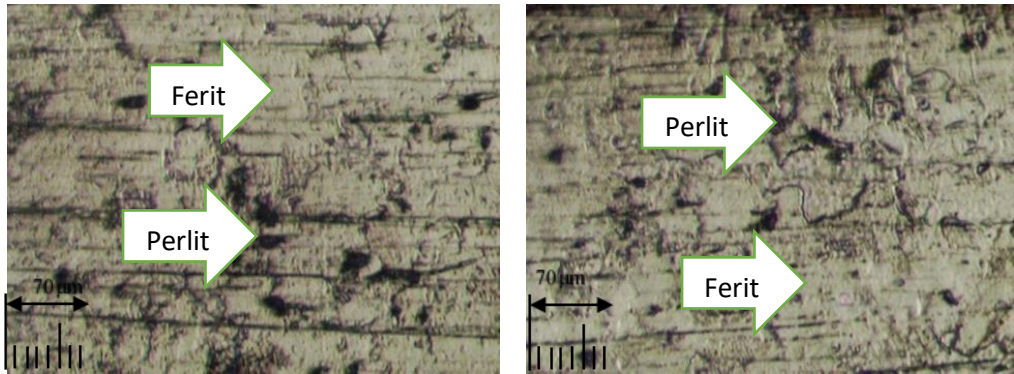
UNSUR	Keterangan	74/23-S227 (%)
Fe	Besi	99,54
Mn	Mangan	0,172
P	Fosfor	0,077
Mo	Molibdedenum	0,032
Ni	Nikel	0,028
W	Wolfram	0,028
Nb	Niobium	0,022
Ti	Titanium	0,020
Si	Silikon	0,019
Cu	Cuprum	0,015
Cr	Kromium	0,012
S	Sulfur	0,0094
Al	Alumunium	0,0055
C	Karbon	0,0053
Co	Kobalt	0,0035
Sn	Stannum	0,0038
V	Vanadium	<0,0030
B	Boron	0,0016

3.2 Pembahasan Pengujian Komposisi Kimia

Berdasarkan tabel 4.1 Hasil dari pengujian komposisi kimia pada plat baja galvanis terdapat 18 unsur yang dapat diartikan bahwa material tersebut merupakan plat baja galvanis karbon rendah dengan karbon dibawah 2% .

3.3 Pengujian Struktur Mikro Dengan Standar ASTM E3-1

1. Struktur mikro hasil pengelasan *Spot welding* arus 4000 A dengan waktu 0,4 detik dan arus 4000 A dengan waktu 0,5 detik pembesaran 200x



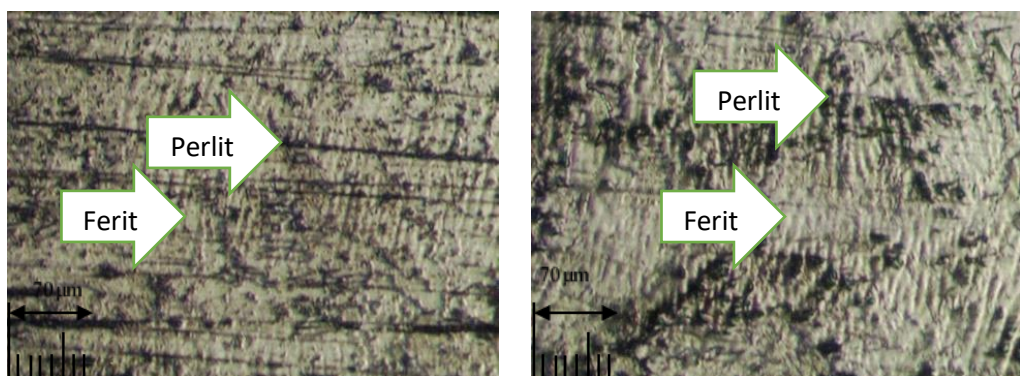
(a) arus 4000A 0,4 detik

(b) arus 4000A 0,5 detik

Gambar 4 Struktur Mikro arus 4000A dengan waktu 0,4 detik dan 0,5 detik

Pada hasil struktur mikro pada dengan pembesaran 200x menggunakan skala 70 µm. skala 70 µm dibagi dengan 1000 maka diperoleh 0,07 mm. maka setiap garis skala mewakili 0,07 mm baik secara horizontal maupun vertical dari hasil gambar pembesaran 200x.

2. Struktur mikro hasil pengelasan *Spot Welding* dengan arus 5000 A dengan waktu 0,4 detik dan waktu 0,5 detik pembesaran 200x



(a) arus 5000 0,4 detik

(b) arus 5000 0,5 detik

Gambar 5 Struktur Mikro arus 5000A dengan waktu 0,4 detik dan 0,5 detik

Pada hasil struktur mikro pada dengan pembesaran 200x menggunakan skala 70 μm . skala 70 μm dibagi dengan 1000 maka diperoleh 0,07 mm. maka setiap garis skala mewakili 0,07 mm baik secara horizontal maupun vertical dari hasil gambar pembesaran 200x.

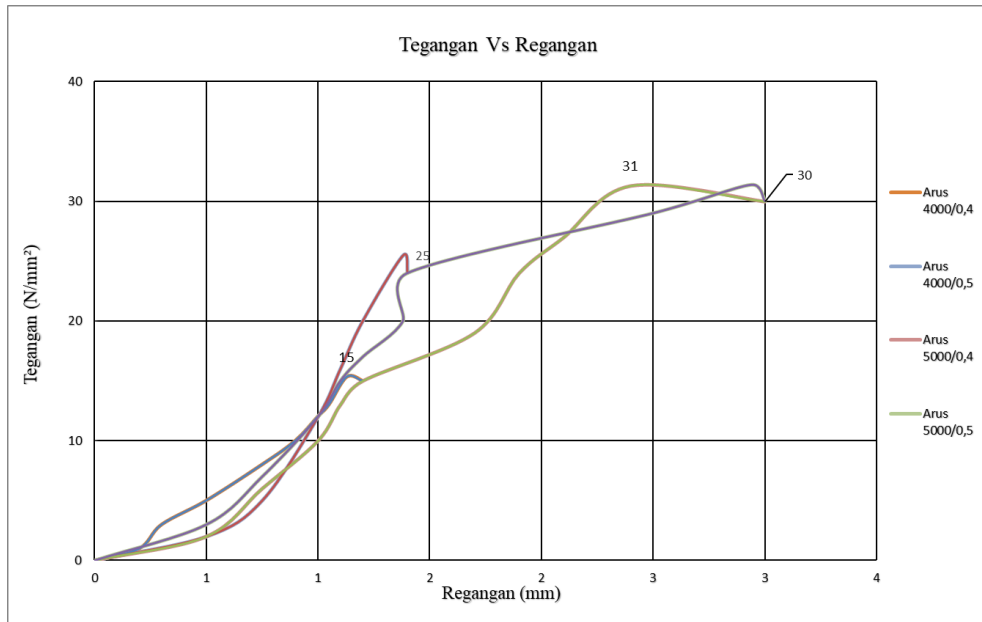
3.4 Pembahasan Pengujian Struktur Mikro

Pada pengujian struktur mikro plat galvanis dengan pembesaran 200x ditemukan adanya unsur ferit (warna terang) dan perlit (warna gelap), pada *weld pool* fasa yang terbentuk masih berupa ferit perlit dan telah dicapai suhu austenite (logam meleleh). Hasil yang didapatkan dari pengujian struktur mikro pada arus 4000A dengan waktu 0,4 detik dan 0,5 yaitu terlihat ferit perlit yang terdapat pada gambar memiliki perbedaan yang cukup jelas dibandingkan arus 5000A dengan waktu 0,4 detik dan 0,5 detik yaitu diketahui semakin besar arus maka semakin jelas butiran ferit dan perlit.

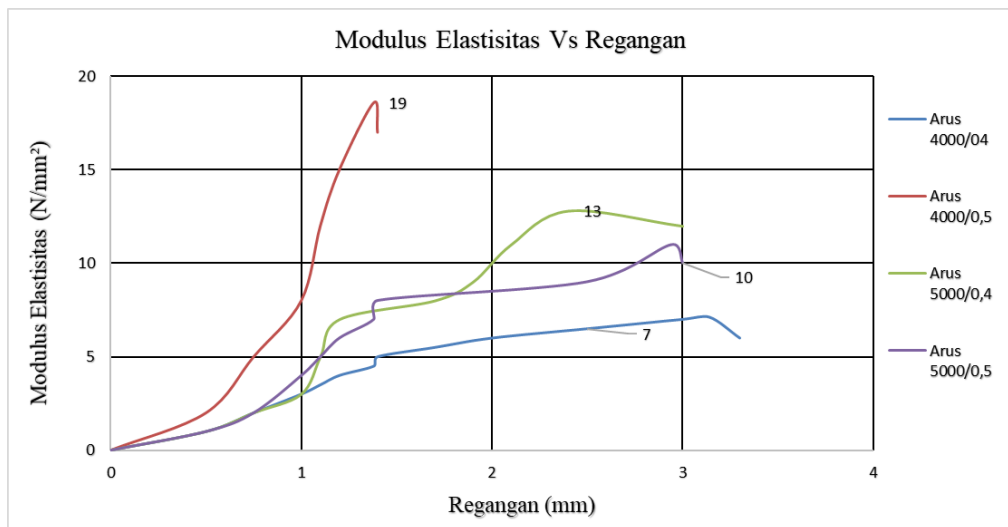
3.5 Pengujian Tarik Dengan Standar ASTM E8 M

Tabel 2 Hasil Final Pengujian Tarik

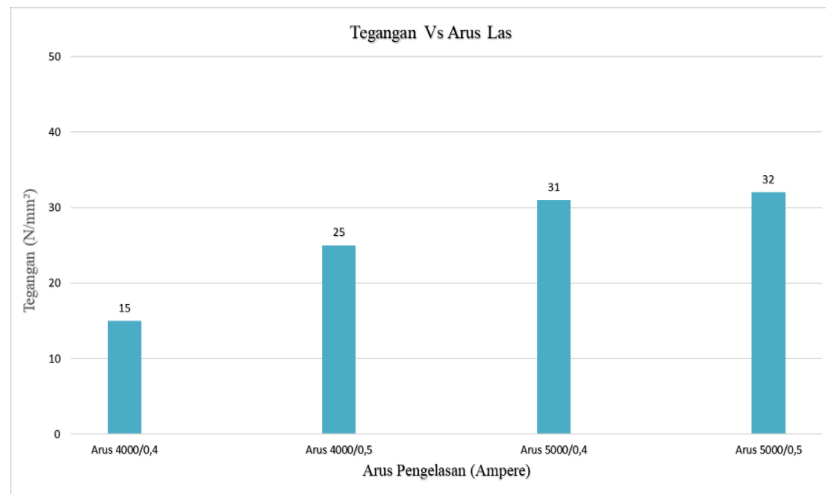
Variable Arus dan Waktu	F (N)	Tegangan (N/mm ²)	Regangan (mm)	Modulus Elastisitas (N/mm ³)
4000A/0,4 s	1290	15,32	1,13	7,12
4000A/0,5 s	2147	25,46	1,37	18,58
5000A/0,4 s	2630	31,31	2,49	12,81
5000A/0,5 s	2680	31,79	2,94	10,98



Gambar 6 Diagram Perbandingan Tegangan Dengan Regangan



Gambar 7 Diagram Perbandingan Modulus Dengan Regangan



Gambar 8 Diagram Perbandingan Tegangan Dengan Arus

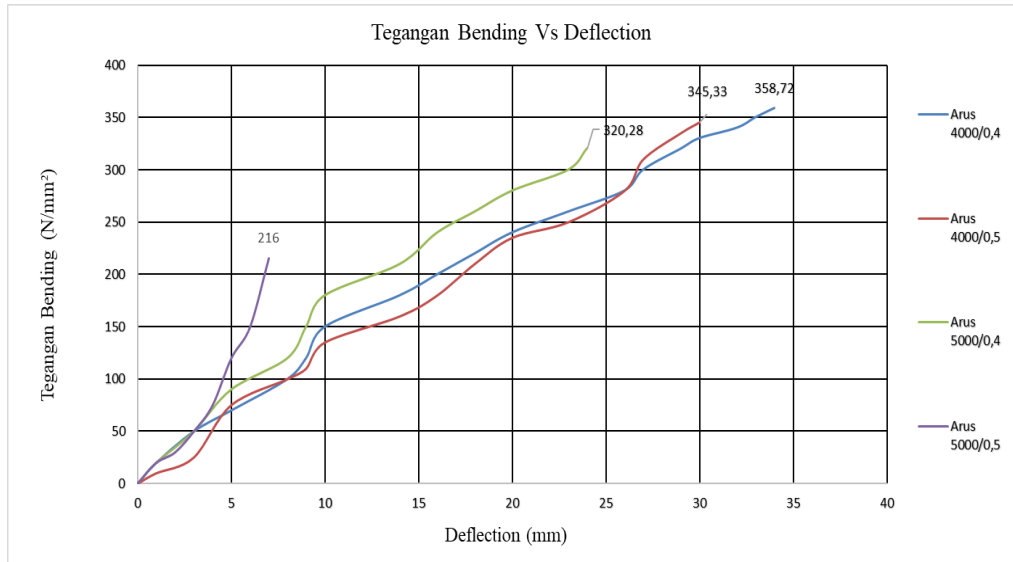
3.6 Pembahasan Pengujian Tarik

Dari tabel varian arus tabel 2 pengelasan ditunjukkan nilai rata-rata tegangan tertinggi terjadi pada arus 5000 Ampere dengan waktu 0,5 nilai tegangan tarik rata-rata sebesar (31,79 N/mm²) sedangkan nilai regangan tertinggi pada arus 5000 Ampere dengan waktu 0,5 sebesar (2,94 mm). Nilai modulus elastisitas tertinggi berdasarkan nilai rata-rata pada tabel varian arus nilai tertinggi pada arus 4000 Ampere dengan waktu 0,5 detik dengan nilai (18,58 N/mm³).

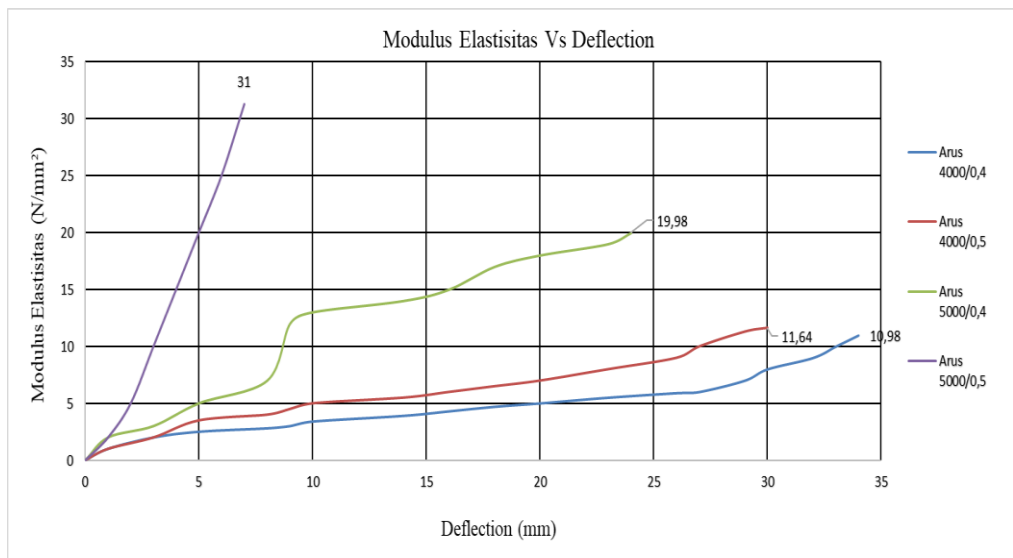
3.7 Hasil Pengujian Bending Dengan Standar ASTM E910

Tabel 3 Hasil Final Pengujian Bending

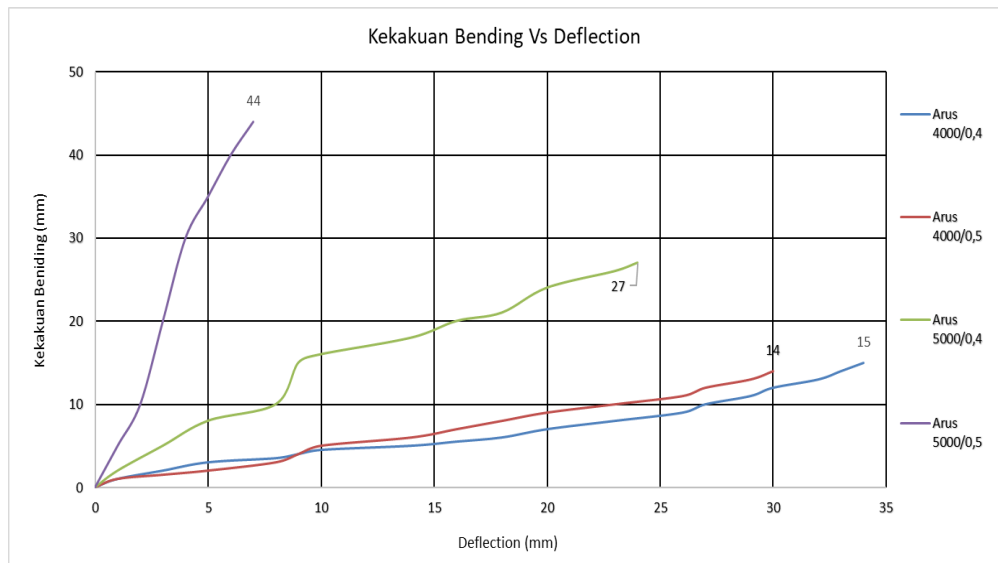
Variable Arus dan Waktu	F (N)	Tegangan (N/mm ²)	Deflection (mm)	Modulus Elastisitas (N/mm ³)	Kekakuan (kgf/m ²)
4000A/0,4 s	98	359	34	11	15
4000A/0,5 s	94	345	30	11	14
5000A/0,4 s	89	320	24	20	27
5000A/0,5 s	60	216	7	31	44



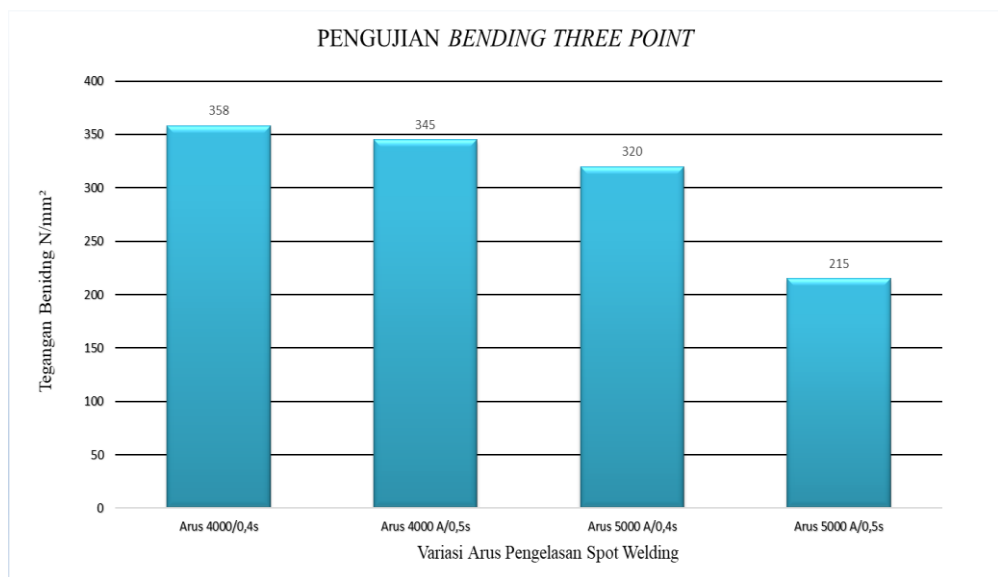
Gambar 9 Diagram Perbandingan Tegangan Bending Dengan Deflection



Gambar 10 Diagram Perbandingan Modulus Elastilitas Dengan Deflection



Gambar 11 Diagram Perbandingan Kekakuan Bending Dengan Deflection



Gambar 12 Diagram Perbandingan Tegangan Bending Dengan Arus

3.8 Pembahasan Pengujian Bending

Dari tabel varian arus tabel 3 pengelasan ditunjukkan nilai rata-rata tegangan tertinggi terjadi pada arus 4000 Ampere dengan waktu 0,4 nilai tegangan tarik rata-rata sebesar (359 N/mm²) sedangkan nilai deflection tertinggi pada arus 4000 Ampere dengan waktu 0,4 sebesar (34 mm). Nilai modulus elastisitas tertinggi

berdasarkan nilai rata-rata pada tabel varian arus nilai tertinggi pada arus 5000 Ampere dengan waktu 0,5 detik dengan nilai (31 N/mm³) dan nilai kekakuan yang paling tinggi yaitu pada arus 5000 Ampere dengan waktu 0,5 detik dengan nilai (44 kgf/m²).

4. PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan tujuan penelitian didapatkan kesimpulan yang diambil dari hasil dan pembahasan yaitu:

1. Tujuan pengujian komposisi kimia untuk mengetahui unsur dan jumlah yang terkandung pada spesimen yang dilakukan pengujian. Kandungan dengan penyusun utama, hasil dari pengujian komposisi kimia pada plat galvanis terdapat 18 unsur, Berdasarkan dari pengujian hasil yang didapatkan merupakan plat baja galvanis karbon rendah dengan karbon dibawah 2% .
2. Tujuan pengujian struktur mikro dilakukan untuk mengetahui isi unsur kandungan yang terdapat didalam benda pengujian setelah mengalami proses pengelasan.
3. Tujuan penelitian pengujian tarik untuk mengetahui tegangan, regangan, modulus elastisitas dan pada penelitian pengujian bending untuk mengetahui tegangan, deflection, modulus elastisitas, dan kekakuan bending.

4.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan ada beberapa hal yang dapat menjadi bahan pertimbangan untuk penelitian selanjutnya yaitu:

1. Untuk pengelasan plat baja galvanis sebaiknya lebih mudah digunakan dengan mesin yang portable agar supaya pada saat digunakan lebih mudah.
2. Dilakukan riset dan mencari jurnal yang lebih banyak agar data lebih lengkap dan lebih rapi.
3. Pada saat proses pengujian hendaknya selalu mengawasi dan melakukan sendiri agar paham terhadap proses pengujiannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Amin, A., 2017. Pengaruh Variasi Arus Listrik Terhadap Kekuatan Tarik dan Struktur Mikro Sambungan Las Titik (*Spot Welding*) Logam *Dissimilar Stainless Steel* dan Baja Karbon Rendah, *Jurnal Teknik Mesin UNISKA*, 2 (2): 63-67
- Anrial dan Hendri. 2012. Analisa Kekuatan Tarik Hasil Spo Welding Baja Karbon Rendah. *Jurnal Teknik Mesin Institut Teknologi Padang*, 1 (2):6-9
- ASTM E415 *Hand Book.*, 2019., *Volume 14.*, *Standart Test Method For Analysis Of Carbon And Low-Alloy Steel By Spark Atomic Emission Spectrometry.*
- ASTM E3 *Hand Book.*, 2017., *Volume 01.*, *Standart Practice For Preparation Of Metallographic Spesimens.*
- ASTM E8 M *Hand Book.*, 2019., *Volume 13a.*, *Standart Test Methods For Tension Testing Of Metallic Materials.*
- ASTM *Metals Hand Book.*, 1997., *Volume 02.*, *Properties And Selection Nonferrous Alloys And Spesial Purpose.*
- ASM *Hand Book.*, 2004., *Volume 09.*, *Color Metallography and Microstructures.*
- Hendra, N., dan Syafra, F,F 2013. Studi Kekuatan Sambungan Plat pada *Spot Welding* Ditinjau dari Kekuatan Tarik dan Geser, *Jurnal Teknik Mesin Insitut Teknologi Padang*, 1 (4): 52-57.
- Pouranavari, M (2013) Resistance Spot Welding of AISI 430 *Ferritic Stainless Steel: Phase Transormation and Mechanical Properties, Meterial and Design*, 258-263
- Qui, X., Zhang, H., Wei,A., Chen,J (2011) *Microstructure and Mechanical Properties of Resistance Spot Welding Dissimilar Thickness DP780/DP600 Dual-Phase Steel Joints, Material and Design*, 443-449
- V.R. Ferrari, V.G Coury dkk (2022) *Effect of semi-solid structur on interface formation of dissimilar alumunium to galvanis steel welds produced by load-controlled Refill Friction Stie Spot Welding.*,

doi.org/10.1016/j.jmapro.2022.10.001

Wiryo Sumarto, H., & Okumura, T., 2000. *Teknologi Pengelasan Logam*. Erlangga
Jakarta.