

PENGARUH VARIASI ARUS PENGELASAN SMAW TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO STAINLESS STEEL 304

Muhammad Angga Pramudya

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Muhammad.21068@mhs.unesa.ac.id

Hanna Zakiyya

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

hannazakiyya@unesa.ac.id

Abstrak

Stainless Steel 304 banyak digunakan pada industri otomotif, khususnya sebagai material downpipe pada sistem pembuangan kendaraan bermotor, karena memiliki ketahanan korosi dan sifat mekanik yang baik. Proses pengelasan menjadi tahap penting dalam fabrikasi downpipe, di mana metode Shielded Metal Arc Welding (SMAW) sering dipilih karena kepraktisan dan biaya yang relatif rendah. Namun, parameter pengelasan seperti arus mempengaruhi kualitas sambungan las, terutama pada kekuatan tarik dan struktur mikro. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi arus pengelasan 70 A, 80 A, 90 A, dengan elektroda E308-16 pada pelat Stainless Steel 304 tebal 2 mm terhadap kekuatan tarik sambungan. Uji tarik dilakukan berdasarkan standar ASTM E8 untuk mengevaluasi sifat mekanik hasil las, sedangkan pengamatan struktur mikro dilakukan pada daerah las dan HAZ guna melihat perubahan morfologi butir akibat variasi heat input. Hasil penelitian menunjukkan bahwa arus 70 A menghasilkan kekuatan tarik tertinggi sebesar 631,0034 MPa, diikuti arus 90 A sebesar 592,913 MPa, dan arus 80 A sebesar 522,935 MPa. Pengamatan struktur mikro menunjukkan bahwa variasi arus 70 A menghasilkan struktur terbaik dengan kandungan ferrit sebesar 36% pada HAZ dan 31% pada weld metal. Peningkatan arus meningkatkan heat input sehingga memperbaiki penetrasi dan kualitas sambungan las hingga kondisi optimum. Namun, heat input yang terlalu tinggi dapat menyebabkan pertumbuhan butir kasar pada daerah HAZ yang berakibat pada penurunan kekuatan tarik. Oleh karena itu, arus 70 A merupakan variasi terbaik karena menghasilkan kekuatan tarik tertinggi serta struktur mikro yang lebih kuat dan ulet dibandingkan variasi arus lainnya.

Kata Kunci: Heat input, Stainless Steel 304, SMAW, E308-16, Kekuatan tarik

Abstract

Stainless Steel 304 is widely used in the automotive industry, particularly as a material for downpipes in vehicle exhaust systems, due to its excellent corrosion resistance and mechanical properties. Welding is a crucial stage in downpipe fabrication, where the Shielded Metal Arc Welding (SMAW) method is often chosen for its practicality and relatively low cost. However, welding parameters such as current significantly affect the quality of the weld joint, especially in terms of tensile strength and microstructure. This study aims to investigate the effect of welding current variations of 70 A, 80 A, 90 A, using E308-16 electrodes on 2 mm thick Stainless Steel 304 plates on the tensile strength of the weld joint. Tensile tests were carried out according to ASTM E8 standards to evaluate the mechanical properties of the welds, while microstructural observations were performed on the weld zone and Heat Affected Zone (HAZ) to examine grain morphology changes due to different heat inputs. The results showed that a current of 70 A produced the highest tensile strength of 631.0034 MPa, followed by a current of 90 A of 592.913 MPa, and a current of 80 A of 522.935 MPa. Microstructural observations showed that a current variation of 70 A produced the best structure with a ferrite content of 36% in the HAZ and 31% in the weld metal. Increasing the current increased the heat input thereby improving the penetration and quality of the weld joint to optimum conditions. However, too high a heat input can cause coarse grain growth in the HAZ area which results in a decrease in tensile strength. Therefore, a current of 70 A is the best variation because it produces the highest tensile strength and a stronger and more ductile microstructure compared to other current variations.

Keywords: Heat input, Stainless Steel 304, Shielded Metal Arc Welding (SMAW), E308-16 electrode, Tensile strength

PENDAHULUAN

Toyota Fortuner GR (Gazoo Racing) merupakan SUV kelas menengah yang banyak diminati di Indonesia.

Berdasarkan data Gabungan Industri Kendaraan Bermotor Indonesia, penjualannya di segmen SUV premium terus meningkat sejak 2022 dan telah mencapai lebih dari 50.000 unit per tahun. (Negara & Hidayat, 2021). Toyota

Fortuner GR dibekali mesin turbocharged yang mampu menghasilkan tenaga lebih besar dengan efisiensi bahan bakar yang lebih baik dibandingkan varian non-turbo. Salah satu komponen pentingnya adalah downpipe turbo yang berfungsi menyalurkan gas buang dari turbocharger ke sistem knalpot, sehingga mendukung performa sekaligus menjaga ketahanan kendaraan. (Di Battista dkk., 2022).

Downpipe turbo berfungsi mengalirkan gas buang bertekanan tinggi dari turbocharger dengan suhu operasi sekitar 600–700°C. Karena bekerja pada temperatur ekstrem, komponen ini umumnya menggunakan Stainless Steel 304 setebal sekitar 2 mm yang memiliki ketahanan tinggi terhadap panas, korosi, dan oksidasi serta didukung kandungan kromium 18–20% dan nikel 8–10,5% untuk memberikan kekuatan mekanik yang baik. (Sedriks, 1996).



Gambar 1 Letak *Downpipe Turbo* pada Toyota Fortuner GR

Gambar 1.1 Menunjukkan posisi downpipe turbo pada mesin Toyota Fortuner GR yang terletak di antara turbocharger dan knalpot utama sebagai jalur aliran gas buang. Downpipe menggunakan material Stainless Steel 304 dengan struktur mikro austenitik yang stabil, sehingga mampu menahan deformasi akibat suhu dan beban mekanik selama pengoperasian. (Zheng & Yu, 2018). Namun, pada saat proses fabrikasi, downpipe harus melalui tahap pengelasan untuk menyambungkan plat stainless steel yang membentuk pipa dan fitting.

Stainless Steel 304 banyak digunakan pada komponen otomotif, termasuk downpipe turbo, karena tahan korosi dan stabil pada suhu tinggi. Pada proses fabrikasi, pengelasan SMAW menghasilkan *Heat Affected Zone* (HAZ) yang dapat mengubah mikrostruktur material sehingga berpotensi menurunkan kekuatan tarik, ketahanan retak, serta daya tahan dan performa komponen. (Verma & Taiwade, 2017).

Salah satu faktor yang memengaruhi kualitas sambungan las dan *Heat Affected Zone* (HAZ) adalah variasi arus pengelasan. Besarnya arus menentukan temperatur dan penetrasi las, sehingga arus yang terlalu tinggi dapat menyebabkan deformasi, porositas, dan retak, sedangkan arus yang terlalu rendah menghasilkan penetrasi yang tidak optimal. Karena itu, pemilihan arus yang tepat diperlukan untuk menjaga struktur mikro dan sifat mekanik Stainless Steel 304 agar kualitas sambungan las tetap baik. (Li dkk., 2023).



Gambar 2 Retak pada Downpipe Turbo

Hasil pengamatan menunjukkan adanya retakan pada daerah *Heat Affected Zone* (HAZ) di sekitar sambungan las downpipe turbo setelah digunakan. Kerusakan ini diduga disebabkan oleh beban mekanik berupa tekanan dan getaran gas buang bersuhu tinggi selama pengoperasian. (d'Ambrosio dkk., 2013). Sambungan las pada downpipe turbo harus memiliki kekuatan tarik yang memadai untuk menahan beban kerja dan mencegah kegagalan. Retakan umumnya terjadi pada daerah *Heat Affected Zone* (HAZ), yaitu area transisi antara logam dasar dan logam las yang mengalami perubahan mikrostruktur akibat panas pengelasan sehingga kekuatan mekaniknya dapat menurun. (Mei dkk., 2016).

Zona *Heat Affected Zone* (HAZ) merupakan area kritis yang mengalami perubahan mikrostruktur akibat siklus pemanasan dan pendinginan selama pengelasan. Kondisi ini menyebabkan pertumbuhan butir dan meningkatnya tegangan sisa (*residual stress*), sehingga dapat menurunkan sifat mekanik, terutama kekuatan tarik sambungan las. (Hensel dkk., 2018). Oleh karena itu, kontrol parameter pengelasan menjadi sangat penting untuk meminimalkan perubahan negatif pada zona ini.

Salah satu parameter yang sangat berpengaruh pada proses pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) adalah arus pengelasan. Arus pengelasan menentukan jumlah energi listrik yang masuk ke sambungan, yang secara langsung memengaruhi heat input selama proses pengelasan (Haider dkk., 2019). Arus las yang terlalu tinggi menghasilkan heat input berlebih sehingga memperluas daerah HAZ, memperbesar ukuran butir, dan menurunkan kekuatan tarik sambungan. Sebaliknya, arus yang terlalu rendah menyebabkan penetrasi tidak optimal. (Messler Jr, 2024). Pengelasan dengan metode SMAW memiliki keunggulan sebagai metode yang sederhana dan fleksibel, serta mudah diaplikasikan pada berbagai posisi pengelasan. (Zhang dkk., 2020). Oleh karena itu, penelitian ini fokus untuk mengkaji pengaruh variasi arus las pada proses SMAW terhadap perubahan sifat mekanik, khususnya kekuatan tarik dan struktur makro stainless steel 304 hasil pengelasan.

Berdasarkan standar American Welding Society (2017), arus pengelasan untuk pelat stainless steel setebal 2 mm berada pada rentang 50–80 A. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan variasi arus 50 A, 60 A, 70 A, dan 80 A untuk memperoleh parameter pengelasan yang optimal terhadap sifat mekanik dan struktur mikro hasil las. Hasil penelitian diharapkan menjadi acuan dalam menentukan arus pengelasan yang mampu menghasilkan sambungan las berkualitas, mengurangi risiko retak dan penurunan kekuatan tarik, serta meningkatkan keandalan dan umur pakai downpipe turbo. (Mishra dkk., 2018).

METODE

A. Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen murni untuk menganalisis pengaruh variasi arus pengelasan terhadap sifat mekanik dan mikrostruktur Stainless Steel 304, dengan fokus pada pengujian kekuatan tarik serta analisis mikrostruktur di daerah

las, khususnya *Heat Affected Zone* (HAZ). Proses pengelasan dilakukan menggunakan metode SMAW dengan elektroda E308-16 dan variasi arus untuk menghasilkan heat input yang berbeda.

Penelitian ini menerapkan metode eksperimen melalui pengujian langsung pada spesimen hasil pengelasan untuk menganalisis pengaruh variasi heat input terhadap kekuatan tarik serta perubahan morfologi mikrostruktur, khususnya pada daerah *Heat Affected Zone* (HAZ).

B. Tempat dan Waktu Penelitian

1. Tempat Penelitian

Proses pengelasan, uji tarik dan uji foto mikro dilaksanakan di Lab Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang

2. Waktu Penelitian

Penelitian ini akan dilakuka pada bulan Januari – Maret 2026.

C. Variabel Penelitian

1. Variabel Bebas

Arus yang bervariasi pada nilai 70 A, 80A dan 90 A (American Welding Society, 2017).

2. Variabel Terikat

- Kekuatan tarik (*Tensile Strength*) hasil pengelasan pada Stainless Steel 304, yang diuji menggunakan mesin uji tarik untuk mengetahui sejauh mana variasi arus pengelasan memengaruhi kekuatan sambungan las.
- Struktur mikro hasil pengelasan diamati untuk menganalisis perubahan fasa dan morfologi butir akibat variasi arus pengelasan, sebagai pelengkap analisis sifat mekanik tanpa melakukan uji kekerasan.

3. Variabel Kontrol

Variabel kontrol yang digunakan dalam penelitian meliputi:

- Material yang digunakan adalah Stainless Steel 304 dengan ketebalan 2 mm.
- Jenis elektroda: E308-16 ($\varnothing$ 2,6 mm) (Brien, 1978).
- Posisi pengelasan dilakukan pada posisi horizontal (1G).
- Prosedur pengelasan dilakukan oleh operator yang sama, dengan teknik pengelasan yang konsisten dan mesin las yang sama.
- Kecepatan pengelasan 200 mm/min (American Welding Society (Vol.1)).
- Tegangan sekitar 20 V (Miller Electric Manufacturing LLC, 2018).
- Proses pengujian kekuatan tarik dilakukan dengan standar ASTM E8 untuk uji tarik.
- Pengujian spesimen dilakukan dengan prosedur yang konsisten di seluruh percobaan.
- Pengelasan dilakukan dengan jenis pengelasan tumpul.

D. Bahan, Alat, dan Instrumen Penelitian

1. Instrumen Penelitian

a. Mesin Uji Tarik

Mesin uji tarik digunakan untuk mengukur kekuatan tarik spesimen hasil pengelasan sesuai standar ASTM E8 dalam AWS B4.0:2016.

b. Mikroskop Optik

Mikroskop optik digunakan untuk melihat struktur mikro pada material tanpa media pendinginan dan dengan menggunakan media pendinginan,

c. Jangka Sorong

Digunakan untuk mengukur dimensi spesimen uji secara akurat, baik sebelum maupun sesudah pengelasan dan pemotongan. Akurasi pengukuran mencapai 0,02 mm, yang diperlukan untuk memastikan keseragaman ukuran spesimen. Air sebagai media pendingin pada kondensor.

2. Alat Pengujian

a. Mesin Las SMAW

Merupakan alat utama untuk melakukan proses pengelasan Shielded Metal Arc Welding (SMAW). Mesin ini menghasilkan panas dari busur listrik antara elektroda E308-16 dengan permukaan logam Stainless Steel 304 untuk menciptakan sambungan las.

b. Gerinda Tangan

Digunakan untuk meratakan dan memotong plat Stainless Steel 304 sebelum dilakukan pengelasan serta membentuk spesimen uji sesuai standar.

c. Sikat Baja

Berfungsi untuk membersihkan permukaan logam hasil las dari slag atau kerak las sebelum dan sesudah pengujian.

d. Tang Jepit

Digunakan untuk memegang atau memindahkan plat saat proses pengelasan atau pemotongan berlangsung, demi menjaga keamanan operator.

Berfungsi untuk menjepit plat saat proses pemotongan dan pengelasan agar posisi tetap stabil.

e. Kikir dan Amplas

Digunakan untuk merapikan sisi permukaan spesimen yang telah dipotong, agar hasil spesimen uji sesuai standar dan rapi.

f. Alat Pelindung Diri (APD)

3. Bahan Pengujian

a. Plat Stainless Steel 304 (SS 304)

sebagai material dasar untuk proses pengelasan. SS 304 dipilih karena memiliki ketahanan korosi tinggi serta sifat mekanik yang baik. Spesifikasi plat:

- Ketebalan: 2 mm
- Kondisi permukaan: clean and mill finish
- Ukuran potong disesuaikan dengan standar uji tarik ASTM E8

b. Elektroda E308-16

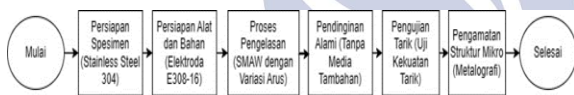
Elektroda E308-16 dirancang khusus untuk pengelasan Stainless Steel 304 karena memiliki komposisi kimia yang sesuai, sehingga mampu menghasilkan sambungan las berkualitas tinggi dan tahan terhadap korosi.

c. Bahan untuk Pengujian Struktur Mikro (Metalografi)

Pengujian struktur mikro bertujuan menganalisis perubahan pada daerah las dan HAZ akibat variasi arus pengelasan serta pengaruhnya terhadap kekuatan tarik dan keuletan material.

- 1) Spesimen hasil las: dari masing-masing variasi arus (50, 60, 70 dan 80 A)
- 2) Kertas amplas metalografi: grit 240, 400, 600, 800, dan 1000
- 3) Larutan etsa (etchant): Reagen: Glyceregia, campuran dari:
 - 15 ml asam klorida (HCl)
 - 10 ml asam nitrat (HNO₃)
 - 5 ml gliserin (C₃H₈O₃)
- 4) Alat poles dan kain poles (polishing cloth)
- 5) Etanol (C₂H₅OH): untuk membersihkan permukaan setelah pengamplasan.

E. Rancangan Penelitian



Gambar 3 Rancangan Penelitian

Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dilakukan setelah seluruh alat dan bahan dipersiapkan. Tahapan penelitian adalah sebagai berikut.

1. Persiapan Alat dan Bahan
Menyiapkan plat Stainless Steel 304 tebal 5 mm, elektroda E308-16, mesin las SMAW, serta peralatan pemotongan, preparasi spesimen, mesin uji tarik, dan mikroskop optik.
2. Proses
Melakukan pengelasan SMAW posisi 1G pada sambungan butt joint dengan variasi arus 50 A, 60 A, 70 A, dan 80 A. Setelah pengelasan, hasil las dibersihkan, kemudian spesimen dipotong dan dipreparasi sesuai standar ASTM E8.
3. Pengambilan Data
Mengukur dimensi spesimen sebelum dan sesudah pengujian, mencatat hasil uji tarik (kekuatan tarik, perpanjangan, dan reduksi luas penampang), serta mendokumentasikan mikrostruktur pada daerah las dan HAZ.
4. Pengujian Produk Pirolisis
Produk hasil las diuji menggunakan uji tarik berdasarkan standar ASTM E8 untuk mengetahui sifat mekanik, serta uji struktur mikro (metalografi) menggunakan mikroskop optik untuk mengamati perubahan mikrostruktur akibat variasi heat input dan hubungannya dengan sifat mekanik material.

F. Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan terhadap hasil uji tarik menggunakan IBM SPSS 16 melalui uji normalitas, homogenitas, dan One Way ANOVA. apabila memenuhi syarat (Sig. > 0,05). Variasi heat input dinyatakan berpengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik jika nilai signifikansi < 0,05, sedangkan nilai > 0,05 menunjukkan tidak ada pengaruh signifikan. tujuan mengetahui pengaruhnya pada hasil pengelasan Stainless Steel 304.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

1. Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan di Laboratorium Pengujian Bahan, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang menggunakan mesin berkapasitas 15.000 kg. Spesimen yang diuji berupa Stainless Steel 304 dengan ketebalan 2 mm. Spesifikasi spesimen adalah sebagai berikut:

Dimensi :

Panjang : 200 mm

Lebar : 12,5 mm

Tebal : 2 mm

Jumlah : 9

Tabel 1 Hasil Uji Tarik

Arus (A)	Spesi- men	Panjang awal (mm)	Panjang akhir (mm)	Beban Maxima l (N)	Luas Penamp ang (mm ²)	Teganga n Tarik Max (Mpa)	Regang an (%)
70	1	200	220,1	16410,168	25	656,40672	2,495
	2		215,37	15154,488		606,17952	2,435
	3		218,27	15760,746		630,42984	2,29
Rata-rata				15775,134		631,0054	2,41
80	1	200	214,5	14805,252	25	592,21008	2,145
	2		215,7	15541,002		621,64008	2,015
	3		215,01	14497,218		579,88872	2,125
Rata-rata				14947,824		597,9130	2,10
90	1	200	215,5	13977,288	25	559,09152	2,055
	2		216,5	12278,196		491,12784	2,095
	3		217,8	13339,638		533,58552	1,77
Rata-rata				13198,374		527,9350	1,97

Contoh perhitungan uji Tarik :

$$\begin{aligned} \text{Luas Penampang} &= l \times t \\ &= 12,5 \text{ mm} \times 2 \text{ mm} \\ &= 25 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban} &= m \times g \\ &= 1672,8 \text{ kg} \times 9,81 \\ &= 16410,168 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Regangan (\%)} &= \frac{\Delta L}{L} \times 100\% \\ &= \frac{4,9 \text{ mm}}{200 \text{ mm}} \times 100\% \end{aligned}$$

Pengaruh Variasi Arus Pengelasan Smaw Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Stainless Steel 304

$$= 2,495 \%$$

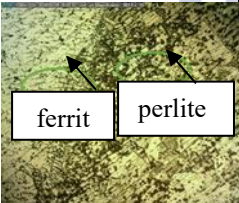
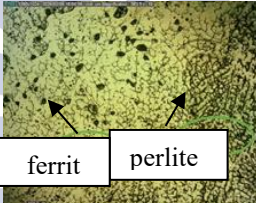
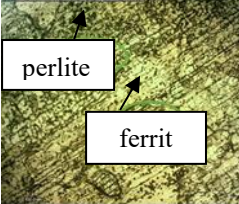
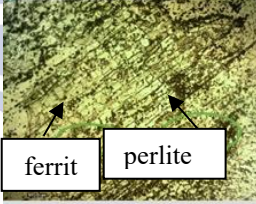
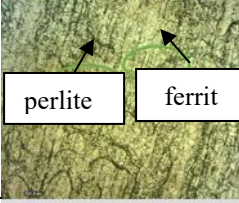
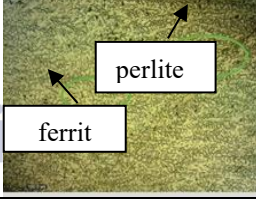
$$\begin{aligned} \text{Tegangan Maksimum} &= \frac{\text{Beban}}{\text{Luas Penampang}} \\ &= \frac{16410,168N}{25mm^2} \\ &= 656,40672 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Hasil uji tarik menunjukkan bahwa arus 70 A memberikan sifat mekanik terbaik, sedangkan peningkatan arus menyebabkan heat input lebih tinggi, struktur mikro menjadi lebih kasar, dan kekuatan tarik



Gambar 4. Spesimen Struktur Mikro

Tabel 2. Hasil Pengamatan di sajikan dalam table berikut ini

Arus	Weld Metal	HAZ
70		
80		
90		

Adanya Fasa Ferit dan Perlit pada daerah yang terkena panas (HAZ) dan Logam panas (WM) di tunjukkan oleh pengamatan struktur mikro, Sedangkan logam dasar tidak mengalami perubahan Arus 70 A Menghasilkan dominasi ferit sehingga sifat mekaniknya lebih kuat dan ulet, sedangkan Arus 80 A dan 90 A di dominasi oleh fasa Perlit sehingga hasil Las cenderung lebih getas.

B. Hasil Analisa

1. Analisa Statistik Uji Tarik

a. Uji Normalitas Data Tegangan dan Regangan Tarik

Pada penelitian ini, uji normalitas dilakukan dengan metode shapiro-wilk. Metode ini dipilih karena jumlah sampel data kurang dari 50. Data dikatakan normal jika nilai Asymp. Sig>0,05.

Tests of Normality							
	Arus	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Tegangan	70	,177	3	.	1,000	3	,962
	80	,232	3	.	,980	3	,727
	90	,271	3	.	,947	3	,556
Regangan	70	,273	3	.	,946	3	,551
	80	,333	3	.	,862	3	,274
	90	,344	3	.	,841	3	,216

a. Lilliefors Significance Correction

Gambar 5. Hasil Uji Normalitas

Berdasarkan Uji Normalitas dari nilai tegangan tarik dan Regangan tarik di dapat bahwa data berdistribusi normal dengan nilai sig data tegangan pada spesimen 70 A adalah 0,962, spesimen 80 A adalah 0,727 dan spesimen 90 A adalah 0,556. serta data regangan pada spesimen. 70 A adalah 0,551, spesimen 80 A adalah 0,274, dan spesimen 90 A adalah 0,216.

b. Uji homogenitas dilakukan setelah data dikatakan normal. Data dikatakan homogen jika nilai Asymp. Sig >0,05.

Tests of Homogeneity of Variances					
		Levene Statistic		df1	df2
		Statistic	Sig.		
Tegangan	Based on Mean	,361	,711	2	6
	Based on Median	,202	,823	2	6
	Based on Median and with adjusted df	,202	,823	2	5,220
	Based on trimmed mean	,350	,718	2	6
Regangan	Based on Mean	2,463	,166	2	6
	Based on Median	,297	,753	2	6
	Based on Median and with adjusted df	,297	,760	2	3,492
	Based on trimmed mean	2,121	,201	2	6

Gambar 6. Hasil Uji Homogenitas

Berdasarkan tabel diatas diketahui bahwa pada tegangan tarik nilai sig adalah 0,711 dan nilai sig. pada regangan tarik adalah 0,166 Sehingga dapat dinyatakan homogen karena sig > 0,05.

C. Uji Hipotesis

Keputusan hipotesis ditentukan berdasarkan nilai signifikansi (Sig.). Nilai Sig. > 0,05 menunjukkan bahwa variasi arus pengelasan tidak berpengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik SS 304 hasil pengelasan SMAW dengan elektroda E308-16, sedangkan Sig. < 0,05 menunjukkan adanya pengaruh signifikan variasi arus pengelasan terhadap kekuatan tarik.

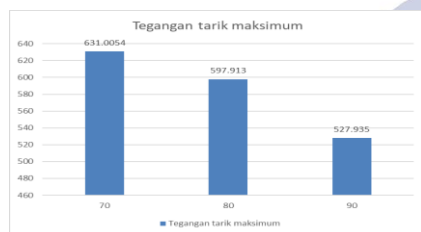
ANOVA					
		Sum of Squares		Mean Square	F
		Squares	df		
Tegangan	Between Groups	16615,535	2	8307,767	10,980
	Within Groups	4539,679	6	756,613	
	Total	21155,214	8		
Regangan	Between Groups	,300	2	,150	9,481
	Within Groups	,095	6	,016	
	Total	,395	8		

Gambar 7. Hasil Uji Anova

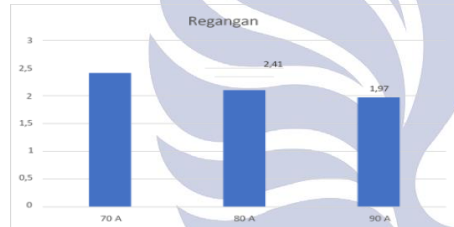
Hasil uji One Way ANOVA menunjukkan nilai signifikansi 0,01 pada tegangan tarik dan 0,014 pada regangan tarik, keduanya lebih kecil dari 0,05. Hal ini menunjukkan bahwa variasi arus pengelasan SMAW dengan elektroda E308-16 berpengaruh signifikan terhadap tegangan tarik dan regangan tarik Stainless Steel 304.

C. Pembahasan

Grafik berikut menunjukkan perbandingan rata-rata tegangan tarik dan regangan tarik pada setiap variasi arus pengelasan.



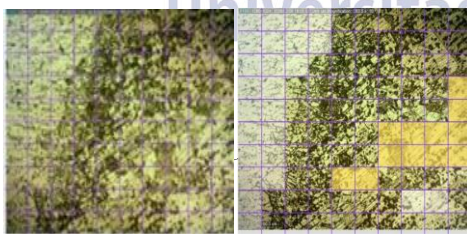
Gambar 8. Grafik Uji Tarik Maksimal



Gambar 9. Grafik Regangan

Peningkatan arus pengelasan meningkatkan heat input, memperlebar HAZ, memperkasar butir, dan menurunkan kekuatan tarik. Pengaruh variasi arus terhadap kualitas sambungan dievaluasi melalui uji tarik dan analisis point count pada struktur mikro specimen arus 70 A.

a. Weld Metal



Gambar 10. Spesimen Temperatur 70A

Untuk warna biru menunjukkan bahwa titik kotak yang mengenai fasa dan warna kuning untuk yang mengenai tepi fasa

Jumlah titik kotak = 100

Titik kotak yang mengenai fasa = 25 (Biru)

Titik kotak yang mengenai tepi fasa = 12 (Kuning)

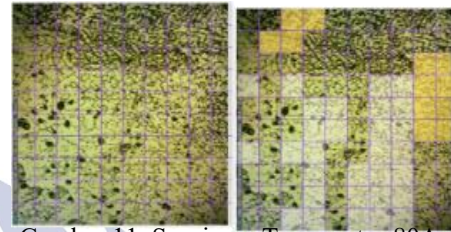
(Presentase fasa ferit dalam Weld Metal

= $\frac{\text{Jumlah titik kotak yang mengenai fasa} \times 100\%}{\text{jumlah titik kotak total}}$

$$= \frac{22 \times 1 + (14 \times 0,5) \times 100\%}{100}$$

= 31%

b. Heat Affected Zone HAZ



Gambar 11. Spesimen Temperatur 80A

Untuk warna biru menunjukkan bahwa titik kotak yang mengenai fasa dan warna kuning untuk yang mengenai tepi fasa

Jumlah titik kotak = 100

Titik kotak yang mengenai fasa = 30 (Biru)

Titik kotak yang mengenai tepi fasa = 12 (Kuning)

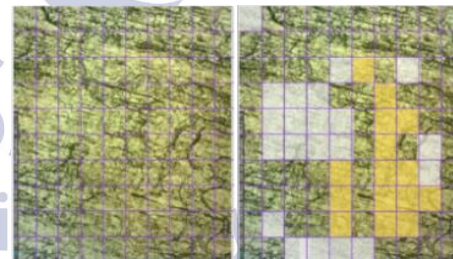
Presentase fasa ferit dalam HAZ

= $\frac{\text{Jumlah titik kotak yang mengenai fasa} \times 100\%}{\text{jumlah titik kotak total}}$

$$= \frac{(30 \times 1) + (12 \times 0,5) \times 100\%}{100}$$

2) Perhitungan fasa Ferit pada specimen Temperatur 80A

a. Weld Metal



Gambar 12 Spesimen Temperatur 80A

Untuk warna biru menunjukkan bahwa titik kotak yang mengenai fasa dan warna kuning untuk yang mengenai tepi fasa

Jumlah titik kotak = 100

Titik kotak yang mengenai fasa = 21 (Biru)

Titik kotak yang mengenai tepi fasa = 15 (Kuning)

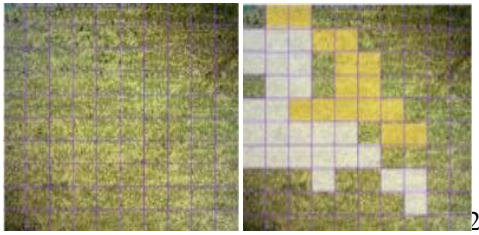
Presentase fasa ferit

= $\frac{\text{Jumlah titik kotak yang mengenai fasa} \times 100\%}{\text{jumlah titik kotak total}}$

$$= \frac{(21 \times 1) + (15 \times 0,5) \times 100\%}{100}$$

= 28%

b. Haz



Gambar 13. Spesimen Temperatur 80A

Untuk warna biru menunjukkan bahwa titik kotak yang mengenai fasa dan warna kuning untuk yang mengenai tepi fasa

Jumlah titik kotak = 100

Titik kotak yang mengenai fasa = 25 (Biru)

Titik kotak yang mengenai tepi fasa = 15 (Kuning)

Presentase fasa ferit

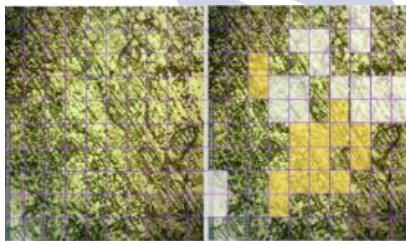
$$= \frac{\text{Jumlah titik kotak yang mengenai fasa} \times 100\%}{\text{jumlah titik kotak total}}$$

$$= \frac{(22 \times 1) + (14, \times 0,5) \times 100\%}{100}$$

$$= 32\%$$

3) Perhitungan fasa Ferrit pada specimen Temperatur 90A

a. Weld Metal



Gambar 14. Spesimen Temperatur 90A

Untuk warna biru menunjukkan bahwa titik kotak yang mengenai fasa dan warna kuning untuk yang mengenai tepi fasa

Jumlah titik kotak = 100

Titik kotak yang mengenai fasa = 18 (Biru)

Titik kotak yang mengenai tepi fasa = 15 (Kuning)

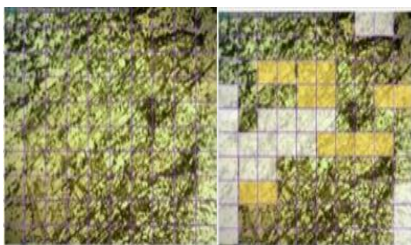
Presentase fasa ferit

$$= \frac{\text{Jumlah titik kotak yang mengenai fasa} \times 100\%}{\text{jumlah titik kotak total}}$$

$$= \frac{(18 \times 1) + (15, \times 0,5) \times 100\%}{100}$$

$$= 25\%$$

b. HAZ



Gambar 15. Spesimen Temperatur 90A

Untuk warna biru menunjukkan bahwa titik kotak yang mengenai fasa dan warna kuning untuk yang mengenai tepi fasa

Jumlah titik kotak = 100

Titik kotak yang mengenai fasa = 22 (Biru)

Titik kotak yang mengenai tepi fasa = 14 (Kuning)

Presentase fasa ferit

$$= \frac{\text{Jumlah titik kotak yang mengenai fasa} \times 100\%}{\text{jumlah titik kotak total}}$$

$$= \frac{(25 \times 1) + (15, \times 0,5) \times 100\%}{100}$$

$$= 29\%$$

Spesimen dengan arus 70 A memiliki kandungan ferit lebih tinggi dibandingkan 80 A dan 90 A akibat laju pendinginan yang lebih lambat. Dominasi ferit yang ulet bersama perlit yang keras menghasilkan ketangguhan material yang lebih baik.

Tabel 3 Hasil Presentase Fasa Ferrit Uji Mikro

Variasi Temperatur	Weldmetal	HAZ
70A	31%	36%
80A	28%	32%
90A	25%	29%

Hasil point count menunjukkan arus 70 A menghasilkan struktur mikro terbaik dengan dominasi fasa ferit pada HAZ dan weld metal, sehingga material lebih ulet dan tangguh. Sebaliknya, arus 90 A didominasi perlit dengan kandungan ferit lebih rendah, sehingga material cenderung lebih getas. Komposisi ferit dan perlit berpengaruh terhadap ketangguhan material.

1. Ferrit adalah fase lunak dan ulet yang memberikan ketangguhan tinggi karena mampu menahan deformasi tanpa cepat mengalami patah.

2. Perlit yang tersusun atas lapisan ferit dan sementit meningkatkan kekerasan serta kekuatan baja, tetapi mengurangi ketangguhannya dibandingkan ferit murni dalam menahan retak atau patah.

Simpulan

- Berdasarkan hasil uji tarik, variasi arus pengelasan berpengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik sambungan las Stainless Steel 304. Arus yang meningkat memperbesar heat input sehingga penetrasi dan kualitas sambungan menjadi optimal, namun heat input yang berlebihan menyebabkan pertumbuhan butir pada daerah Heat Affected Zone (HAZ) dan meningkatkan tegangan sisa sehingga kekuatan tarik menurun.
- terdapat pengaruh signifikan variasi arus pengelasan SMAW terhadap struktur mikro Stainless Steel 304.

Variasi arus 70 A memberikan hasil terbaik, ditunjukkan oleh daerah Heat Affected Zone (HAZ) yang mengandung 36% fasa ferit dengan struktur yang lebih kuat dan ulet, serta didominasi oleh fasa ferit dan perlit dibandingkan variasi arus lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abioye, T. E., Omotehinse, I. S., Oladele, I. O., Olugbade, T. O., & Ogedengbe, T. I. (2020). Effects of post-weld heat treatments on the microstructure, mechanical and corrosion properties of gas metal arc welded 304 stainless steel. *World Journal of Engineering*, 17(1), 87–96.
- Al-Janabi, Y. T. (2020). An overview of corrosion in oil and gas industry: upstream, midstream, and downstream sectors. *Corrosion Inhibitors in the Oil and Gas Industry*, 1–39.
- American Welding Society. (2017). AWS D1.6/D1.6M:2017 Structural Welding Code - Stainless Steel.
- Avner, S. H. (1974). *Introduction to Physical Metallurgy* (2 (ed.)). McGraw-Hill.
- Bailey, A. R., & Bailey, A. R. (1960). *Testing Metals. A Text-Book of Metallurgy*.
- Baskoro, A. S., Amat, M. A., Widianto, A., Putra, A. D., & Aryadhani, S. A. (2024). Investigation of weld geometry, mechanical properties, and metallurgical observations of activated flux tungsten inert gas (A-TIG) welding on 304 austenitic stainless steel. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 77(3), 897–906.
- Brien, R. L. (1978). *Welding Handbook*, vol. 2.
- Chernyshov, G. G., Panichenko, S. A., & Chernyshova, T. A. (2003). Welding of metal composites. *Welding International*, 17(6), 487–492.
- Manik, M., Rahmad, R., & Sari, D. (2021). Pengaruh variasi arus pengelasan terhadap kekuatan tarik, laju korosi, dan struktur mikro pada baja ST
- <https://jurnal.unri.ac.id/index.php/rekayasamesin/article/view/8715>
- Mei, Y., Liu, Y., Liu, C., Li, C., Yu, L., Guo, Q., & Li, H. (2016). Effect of base metal and welding speed on fusion zone microstructure and HAZ hot-cracking of electron-beam welded Inconel 718. *Materials & Design*, 89, 964–977.
- Messler Jr, R. W. (2024). *Principles of welding: processes, physics, chemistry, and metallurgy*. John Wiley & Sons.
- Meyers, M. A., & Chawla, K. K. (2008). *Mechanical behavior of materials*. Cambridge university press.
- Miller Electric Manufacturing LLC. (2018). *Processes Stick (SMAW) Welding*. www.MillerWelds.com
- Cox, P. A. (2010). *Transition metal oxides: an introduction to their electronic structure and properties* (Vol. 27). Oxford university press.
- d'Ambrosio, S., Ferrari, A., & Spessa, E. (2013). Analysis of the exhaust gas recirculation system performance in modern diesel engines. *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, 135(8), 81601.
- Di Battista, D., Di Bartolomeo, M., & Cipollone, R. (2022). Full energy recovery from exhaust gases in a turbocharged diesel engine. *Energy Conversion and Management*, 271, 116280.
- Haider, S. F., Quazi, M. M., Bhatti, J., Bashir, M. N., & Ali, I. (2019). Effect of Shielded Metal Arc Welding (SMAW) parameters on mechanical properties of low-carbon, mild and stainless-steel welded joints: A review. *Journal of Advances in Technology and Engineering Research*, 5(5), 191–198.
- Hensel, J., Nitschke-Pagel, T., Ngoula, D. T., Beier, H.-T., Tchuindjang, D., & Zerbst, U. (2018). Welding residual stresses as needed for the prediction of fatigue crack propagation and fatigue strength. *Engineering Fracture Mechanics*, 198, 123–141.
- Iswanto, I., & Wibowo, H. (2016). Analisa Heat Input Pengelasan Terhadap
- Distorsi, Struktur Mikro dan Kekuatan Mekanis Baja A36. Universitas Gadjah Mada (UGM).
- Kumar, P., & Sarathe, S. (2016). Effect of welding current on mechanical performance and microstructure across various metals—A systematic review. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 3(7), 1150–1156.