

# Analisis Kekuatan Sambungan Las SMAW (Shielded Metal Arc Welding) Pada Connecting Rod Piston Hidrolic Roller 1 Raw Mill

La ode abdul Gamsir<sup>1\*</sup>, Muhammad Idris Putra<sup>2</sup>, Wahyu Puji Sahputra<sup>3</sup>, Dedy Ashari<sup>4</sup>, Samaluddin<sup>5</sup>, Rahmawati Djunuda<sup>6</sup>

<sup>1,4</sup>Jurusan Teknik Mesin, fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Sembilanbelas November Kolaka

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Mesin, fakultas Teknik, Universitas Haluoleo

<sup>3</sup>Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Banjarmasin

<sup>5,6</sup>Jurusan Teknik Perkapalan, fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Sembilanbelas November Kolaka

e-mail: gamsir491@gmail.com

**Abstrak:** Connecting rod piston hidrolik roller 1 raw mill di PT. Semen Bosowa Maros mengalami kegagalan sambungan las yang menyebabkan patahnya komponen akibat beban tarik dan tekan yang silih berganti serta vibrasi dari sistem hidrolik. Penelitian ini bertujuan menganalisis kekuatan sambungan las SMAW pada connecting rod piston hidrolik roller 1 raw mill dengan material stainless steel AISI 304. Metode penelitian menggunakan eksperimen dengan variasi arus pengelasan 67 A, 72 A, dan 75 A menggunakan elektroda ESAB OK 68 diameter 3,4 mm dengan kampuh V tunggal. Pengujian meliputi uji kekerasan metode Rockwell B, uji tarik, dan uji tekuk pada posisi Face Bending dan Root Bending. Hasil penelitian menunjukkan kekerasan tertinggi pada logam las terjadi pada arus 67 A sebesar 92,9 HRB. Kekuatan tarik optimal diperoleh pada arus 72 A sebesar 66,75 N/mm<sup>2</sup> dengan regangan 53,43% dan reduksi penampang 31,58%. Kekuatan lentur tertinggi pada arus 72 A yaitu 483,33 N/mm<sup>2</sup>. Kesimpulan penelitian menunjukkan arus 72 A memberikan kombinasi optimal kekuatan sambungan las untuk aplikasi connecting rod piston hidrolik dengan ketahanan terhadap beban dinamis yang baik..

**Kata Kunci:** AISI 304 stainless steel; arus pengelasan; connecting rod; Kekuatan mekanik

**Abstract:** The hydraulic piston connecting rod of roller 1 raw mill at PT. Semen Bosowa Maros experienced weld joint failure, resulting in component fracture due to alternating tensile and compressive loads as well as vibration from the hydraulic system. This study aimed to analyze the strength of SMAW (Shielded Metal Arc Welding) weld joints on the hydraulic piston connecting rod of roller 1 raw mill using AISI 304 stainless steel material. The research methodology employed experimental methods with welding current variations of 67 A, 72 A, and 75 A using ESAB OK 68 electrodes with a diameter of 3.4 mm and single V-groove preparation. Testing procedures included hardness testing using the Rockwell B method, tensile testing, and bend testing in both face bending and root bending positions. The research results demonstrated that the highest hardness in the weld metal occurred at 67 A current, measuring 92.9 HRB. Optimal tensile strength was achieved at 72 A current, yielding 66.75 N/mm<sup>2</sup> with 53.43% elongation and 31.58% reduction in area. The highest flexural strength was obtained at 72 A current, measuring 483.33 N/mm<sup>2</sup>. The study concluded that 72 A current provides the optimal combination of weld joint strength for hydraulic piston connecting rod applications with superior resistance to dynamic loading conditions

**Keywords:** AISI 304 stainless steel; connecting rod; mechanical properties; welding current

Connecting rod piston dalam sistem hidrolik merupakan komponen vital yang berfungsi sebagai penghubung dan penahan beban dinamis selama proses operasi di industri semen, khususnya pada raw mill PT. Semen Bosowa Maros. Komponen ini mengalami beban tarik dan tekan secara silih berganti serta vibrasi dari sistem hidrolik yang menyebabkan stres berulang, sehingga berpotensi mengalami kegagalan sambungan las (Soetomo, M., et al., 2019) (Zhang Y, et al., 2019). Kegagalan sambungan las pada connecting rod piston seringkali disebabkan oleh ketidakseimbangan parameter pengelasan yang dapat mempengaruhi sifat mekanik dan ketahanan terhadap kelelahan komponen tersebut (Li X, et al., 2020) (Chen L, et al., 2020).

Pengelasan SMAW (Shielded Metal Arc Welding) merupakan salah satu metode pengelasan yang banyak digunakan dalam industri berat karena kemampuannya untuk menghasilkan sambungan yang kuat dan tahan terhadap kondisi ekstrem (Zhou Y, et al., 2022) (Kang Y, et al., 2019). Pengaruh parameter pengelasan, terutama arus pengelasan, sangat penting dalam menentukan kualitas hasil las, termasuk kekerasan, kekuatan tarik, dan kekuatan lentur (Iu T, et al., 2020) (Patil S, et al., 2017). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa variasi arus pengelasan dapat mempengaruhi mikrostruktur dan sifat mekanik dari sambungan las, serta berperan dalam mencegah cacat las yang berpotensi menyebabkan kegagalan komponen (Sharma P, et al., 2021) (Nguyen T, et al., 2019).

Material stainless steel AISI 304 banyak dipilih untuk aplikasi ini karena ketahanannya terhadap korosi dan sifat mekanik yang baik dalam lingkungan industri berat (Patel R, et al., 2020) (Kim S, et al., 2021). Akan tetapi, karakteristik pengelasan stainless steel ini sangat bergantung pada parameter proses, seperti arus dan elektroda yang digunakan, yang dapat menyebabkan perubahan mikrostruktur dan kekuatan sambungan (Singh A and Kaur G., 2018) (ang Y and Zhou X., 2022). Beberapa studi terdahulu mengungkapkan bahwa kekerasan maksimum biasanya tercapai pada kondisi pengelasan tertentu, namun harus diimbangi dengan kekuatan tarik dan kekuatan lentur yang optimal untuk memastikan ketahanan terhadap beban dinamis (Das S and Mukherjee S., 2019) (Ghosh S and Roy S., 2020) (Park J and Lee H., 2021).

Seiring dengan perkembangan teknologi pengelasan, penelitian tentang pengaruh variabel parameter pengelasan terhadap sifat mekanik sambungan las menjadi sangat relevan, terutama untuk aplikasi komponen yang mengalami beban berulang dan vibrasi tinggi (Geng H, et al., 2020). Pengujian kekerasan, uji tarik, dan uji tekuk merupakan metode standar yang digunakan untuk menilai kemampuan mekanik dari sambungan las dan memastikan bahwa komponen memenuhi persyaratan operasional (Bhuiyan A, et al., 2021).

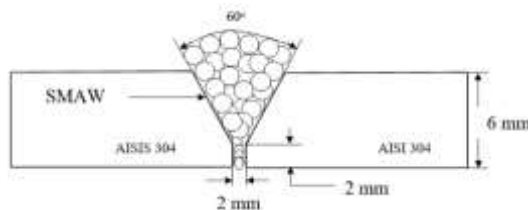
Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kekuatan sambungan las SMAW pada connecting rod piston hidrolik roller 1 di PT. Semen Bosowa Maros dengan menggunakan material stainless steel AISI 304. Variasi arus pengelasan yang digunakan adalah 67 A, 72 A, dan 75 A dengan elektroda ESAB OK 68 diameter 3,4 mm dan kampuh V tunggal. Melalui pengujian kekerasan, tarik, dan tekuk, diharapkan dapat diperoleh parameter pengelasan yang optimal untuk meningkatkan ketahanan dan keandalan komponen tersebut dalam kondisi operasional yang dinamis.

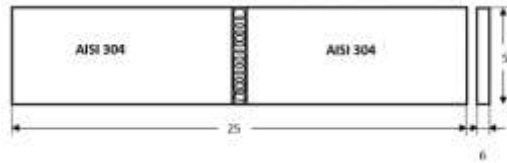
## METODE

Penelitian ini menggunakan metode ekperimental, yaitu metode yang dilakukan dengan cara melakukan eksperimen dengan tujuan untuk mencari hubungan sebab akibat antara dua faktor yang berpengaruh. Penelitian ini dilaksanakan di laboratrium dengan kondisi dan peralatan yang disesuaikan guna memperoleh data tentang pengaruh arus pengelasan terhadap kekerasan daerah HAZ dan kekuatan tarik las SMAW.

### Tahapan Penelitian

Tahapan pada penelitian ini dimulai dengan melakukan studi literatur mengenai kekuatan sambungan las SMAW pada connecting rod piston hidrolik kemudian akan dilanjutkan dengan persiapan material menggunakan material Stainless Steel AISI 304. Setelah itu material akan dipotong untuk dijadikan spesimen dengan menggunakan gergaji potong dan dilakukan pembuatan kampuh V sesuai gambar 1 dengan tujuan untuk memaksimalkan proses pengelasan yang akan dilakukan. Setelah beberapa proses sebelumnya selesai, maka proses pengelasan siap dilaksanakan dengan menggunakan tiga variasi arus sebesar 70 A, 80 A, dan 90 A..





Gambar 1. Kampuh V Tunggal tampak samping dan tampak atas

Tahapan selanjutnya yaitu proses pengujian akan dilakukan, dengan menggunakan 3 pengujian untuk setiap spesimen yang telah dibuat, masing-masing spesimen akan diuji menggunakan uji tarik, kekerasan, dan tekuk untuk mengetahui sifat mekanis spesimen setelah dilakukan proses pengelasan. Dengan ini, seluruh pengujian untuk spesimen pada penelitian ini telah selesai dilaksanakan, kemudian selanjutnya masuk ke tahap akhir yaitu, penulisan laporan dengan melakukan analisis dan pengolahan data berdasarkan hasil pengujian yang telah didapatkan sebelumnya.

**Pengujian Sifat Mekanik**

*Pengujian Kekuatan Tarik*

Jika Uji tarik adalah metode pengujian bahan untuk mengetahui sifat mekanik bahan ketika dikenai gaya tarik secara perlahan hingga mengalami deformasi plastis dan akhirnya patah (Ramkumar SS., 2019). Parameter penting yang diukur meliputi kekuatan tarik maksimum, strain pada titik patah, dan modulus elastisitas. Uji ini sering digunakan untuk menentukan kekuatan bahan dan kestabilan struktur. Untuk menentukan kekakuan tarik.

*Pengujian Kekerasan*

Uji kekerasan adalah prosedur pengukuran tingkat kekerasan suatu material, yaitu kemampuan material tersebut untuk menahan deformasi plastis kecil di bawah beban tertentu tanpa mengalami kerusakan permanen (Khonsari TM., 2017). Uji ini penting untuk menentukan ketahanan permukaan material terhadap goresan, aus, dan deformasi lokal. Ada berbagai metode uji kekerasan, seperti Brinell, Rockwell, Vickers, dan Knoop.

*Pengujian Tekuk*

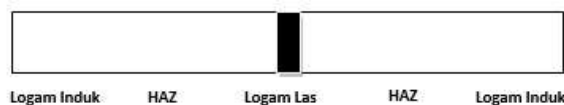
Uji impact adalah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui ketahanan bahan terhadap gaya impact atau benturan tiba-tiba, biasanya diukur dengan alat seperti Charpy atau Izod (Sinha SK., 2020). Uji ini penting untuk menilai kemampuan bahan menahan kejatuhan energi saat terkena beban tiba-tiba, serta untuk menilai ketangguhan bahan terhadap retak dan patah.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Data Hasil**

*Data Hasil Pengujian Kekerasan*

Dalam penelitian ini metode yang digunakan untuk menguji kekerasan bahan specimen adalah metode Rockwell. Pada pengujian ini (lihat gambar 2), posisi pengujian dimulai dari titik pusat specimen logam las (weld metal) dan selanjutnya dipindahkan pada daerah HAZ (Heat Affected Zone) sisi kiri dan sisi kanan kemudian dilanjutkan pada logam induk specimen seperti pada gambar di bawah ini..



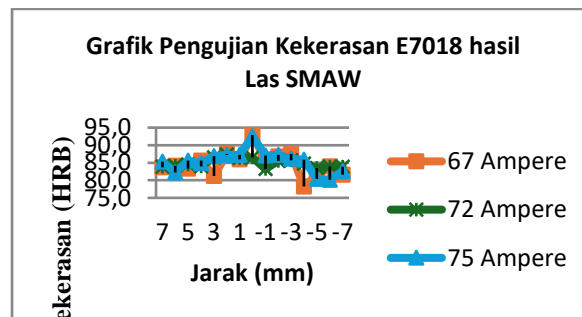
Gambar 2. Logam Induk Speciment

Berikut adalah hasil analisa dari data nilai kekerasan yang diuji berdasarkan sebaran daerah sesuai dengan Tabel 1 dan gambar 3. Daerah sebelah kanan HAZ dilambangkan dengan angka 1-7 dan daerah sebelah kiri HAZ dilambangkan dengan angka (-1) – (-7).

Tabel 1. Hasil Analisa Data Kekerasan.

Jenis Bahan	Daerah Lasan	Jarak dari Titik 0	Kekerasan (HRB)		
			67 A	72 A	75 A
AISO 304	Logam Induk	7	83.7	83.9	85.35
		6	84.15	84.1	82.2

Jenis Bahan	Daerah Lasan	Jarak dari Titik 0	Kekerasan (HRB)		
			67 A	72 A	75 A
	HAZ	5	83.35	84.5	85.6
		4	85.6	83.95	84.85
		3	81.25	86.5	86.85
		2	87.5	87.3	87.2
		1	86	86.35	87.2
E7018	Logam Las	0	92.9	86.5	92.55
AISI 304	HAZ	-1	85.65	83.2	87.1
		-2	86.8	85.55	87.25
		-3	87.55	85.7	86.15
	Logam Induk	-4	78.25	84.75	85.9
		-5	81.5	83.5	80.45
		-6	84	83.9	80.15
		-7	81.55	83.9	82.6



Gambar 3. Grafik Pengujian Kekerasan.

Untuk mendapatkan nilai kekerasan, keandalan dan juga konsistensi data maka, dilakukan pengujian pada banyak titik. Sehingga dengan banyaknya percobaan yang dilakukan dan untuk mendapatkan hasil nilai keandalan maka, perlu dilakukan perhitungan standar deviasi. Di bawah ini ditampilkan table 2 dari hasil standar deviasi uji kekerasan pada spesimen uji.

Table 2. Hasil Perhitungan Standar Deviasi Pengujian Kekerasan.

Daerah Lasan	Standar Deviasi		
	Arus 67 A	Arus 72 A	Arus 75 A
Logam Las	0.69	0.6	1.54
HAZ	2.14	1.4	0.382
Logam Induk	2.12	0.64	2.18

#### Data Hasil Pengujian Tarik

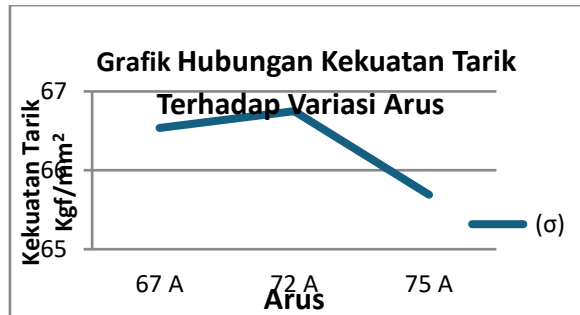
Pembebanan tarik dilakukan secara terus menerus dengan menambahkan beban sehingga akan mengakibatkan perubahan bentuk pada benda uji berupa pertambahan panjang dan pengecilan penampang benda uji dan akan mengakibatkan perpatahan. Berikut adalah Tabel 3 serta Gambar 4 dan 5 dari hasil pengujian tarik yang dilakukan.

Table 3. Hasil Analisis data Pengujian Tarik.

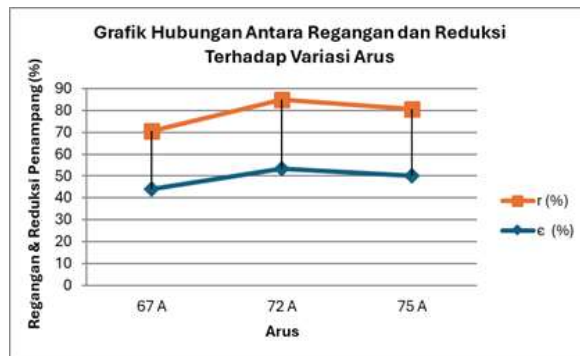
Elektroda	Arus & Specimen	$\sigma_u$ (Kgf/mm <sup>2</sup> )	$\epsilon$ (%)	$r$ (%)
E7018	67 A (1)	64.98	37,5	20.5

Analisis Kekuatan Sambungan Las SMAW .....

Elektroda	Arus & Specimen	$\sigma_u$ (Kgf/mm <sup>2</sup> )	$\epsilon$ (%)	r (%)
	67 A (2)	68.09	50,6	32.6
	Rata-rata	66.535	44.1	26.6
	72 A (1)	67.53	53.1	30.5
	72 A (2)	65.97	53.7	32.6
	Rata-rata	66.75	53.4	31.6
	75 A (1)	66.40	53.1	29.9
	75 A (2)	64.98	46.9	31.2
	Rata-rata	65.69	49.9	30.5



Gambar 4. Hubungan Kekutan tarik terhadap Variasi Arus



Gambar 5. Hubungan antara regangan dan reduksi terhadap variasi arus

#### Data Hasil Pengujian Bending

Uji lentur merupakan salah satu bentuk pengujian untuk menentukan mutu suatu material secara visual. Selain itu uji lentur juga digunakan untuk mengukur kekuatan material akibat pembebanan dan kekenyalan hasil sambungan las baik dilogam las maupun HAZ.

Pelengkungan (bending) merupakan proses pembebanan terhadap suatu bahan pada suatu titik ditengah-tengah dari bahan yang ditahan diatas dua tumpuan. Dengan pembebanan ini bahan akan mengalami deformasi dengan dua buah gaya yang berlawanan bekerja pada saat yang bersamaan. Pada saat batang uji diberi beban sampai belum batang uji itu patah maka akan terjadi tegangan pada batang uji. Tegangan yang terjadi disebut dengan tegangan lentur, yaitu perbandingan antara jarak tumpuan dengan luas penampang mula-mula batang uji (specimen).

$$\sigma = M/W \quad (1)$$

Dimana:  $\sigma$  = Tegangan lentur (N/mm<sup>2</sup>)

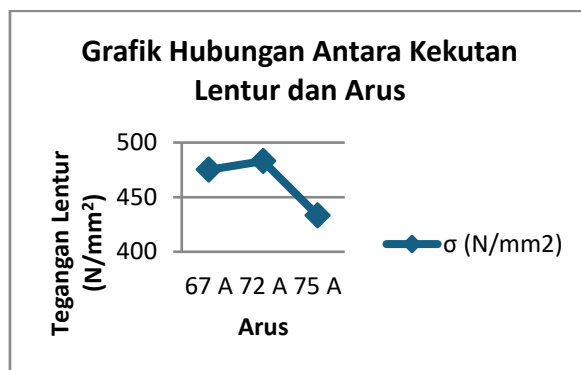
M = Momen lentur (Nmm)

W = Momen tahanan lentur (mm<sup>2</sup>)

Dari hasil uji lentur pada specimen hasil pengelasan similar AISI 304 dengan ukuran, 6 mm x 40 mm x 250 mm diperoleh hasil selengkapnya seperti pada Tabel dan Gambar di bawah ini.

Table 4. Hasil analisa data pengujian tekuk (bending)

Elektroda	Arus & Spesimen	$\Sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	Posisi Bending
E7018	67 A (1)	475	BR
	67 A (2)	475	BF
	<b>Rata-rata</b>	<b>475</b>	
	72 A (1)	475	BR
	72 A (2)	491.67	BF
	<b>Rata-rata</b>	<b>483.33</b>	
	75 A (1)	425	BR
	75 A (2)	441.67	BF
	<b>Rata-rata</b>	<b>433.335</b>	



Gambar 6. Hubungan Kekuatan Lentur dan Variasi arus pengelasan

## Pembahasan

Dalam penelitian ini dilakukan proses pengelasan dengan sejenis bahan yang sama (similar) yaitu Sainles steel (AISI 304). Dari hasil pengelasan tersebut untuk setiap specimen dilakukan pengujain sifat mekanik yaitu uji kekerasan pada daerah log alas, HAZ (Heat Affected Zone) dan logam induk. Pengujian kekuatan tarik dan pengujian kekuatan lentur..

### Pengujian Kekerasan

Berdasarkan data dan grafik pada distribusi kekerasan tiap specimen hasil pengelasan similar SMAW dengan arus 67 A, 72 A, dan 75 A dengan elektroda E 7018 pada Tabel 1 dan Gambar 3. menunjukkan bahwa:

1. Kekerasan tertinggi untuk arus 67 A terjadi pada posisi titik -3, daerah lasan HAZ sebesar 87.55 HRB. Kemudian untuk arus 72 A kekersan tertinggi berada pada posisi titik 2 (HAZ) sebesar 87.3 HRB, dan untuk arus 75 A, kekerasan tertinggi berada pada posisi titik yaitu 1 dan 2 (HAZ) sebesar 87.2 HRB.
2. Kekerasan terendah untuk arus 67 A, berada pada posisi titik ke 3 (HAZ) sebesar 81.25 HRB. Untuk arus 72 A kekerasan terendah berada pada posisi titik -1 (HAZ) sebesar 83.2 HRB dan untuk arus 75 A kekerasan terendah berada pada posisi titik -6 (logam induk) sebesar 80.15 HRB.
3. Pada daerah logam las (posisi titik 0) memiliki kekerasan masing-masing 67 A =92.9 HRB, 72 A = 86.5 HRB, dan 75 A = 92.55 HRB. Sehingga kekerasan tertinggi pada daerah logam las terjadi pada arus 67 A.

Dari hasil analisa data pada tabel menunjukkan bahwa kekerasan specimen pengelasan similar AISI 304 dengan menggunakan Elektroda E 7018 dengan variasi arus 67 A, 72 A, dan 75 A yang tertinggi terjadi pada daerah logam las Yaitu pada arus 67 ampere.

### *Pengujian Tarik*

Berdasarkan hasil dari pengujian tarik yang terdapat pada Tabel 3 dan Gambar 4 dan 5. menunjukkan bahwa:

Arus 67 A, memiliki rata-rata kekuatan tarik maksimum 66,535 Kgf/mm<sup>2</sup>, regangan rata-rata 44,06%, persentase luas penampang rata-rata 26,56%. Pada sampel 1 dan 2 arus 67 A, patah pada daerah logam induk dan jenis patah yang terjadi adalah patah ulet. Seperti yang terlihat pada gambar lampiran

Arus 72 A, memiliki rata-rata kekuatan tarik maksimum 66,75 Kgf/mm<sup>2</sup>, regangan rata-rata 53,43%, persentase luas penampang rata-rata 31,58%. Pada sampel 1 arus 72 A, terjadi perpatahan ulet pada daerah HAZ, sedangkan untuk sampel 2 terjadi perpatahan ulet pada daerah logam induk.

Arus 75 A, memiliki rata-rata kekuatan tarik maksimum 65,69 Kgf/mm<sup>2</sup>, regangan rata-rata 49,99%, dan persentase luas penampang rata-rata 30,55%. Pada sampel 1 Arus 75 A, terjadi perpatahan ulet pada daerah logam induk, sedangkan pada sampel 2 terjadi perpatahan ulet pada daerah logam las. Seperti yang terlihat pada Gambar 4.

### *Pengujian Bending*

Berdasarkan hasil pengujian tekuk/ bending yang terdapat pada Tabel 4 dan Gambar 6 menunjukkan bahwa: Pengujian tekuk untuk posisi Face Bending (FB) dan Root Bending (RB) untuk arus 67 A, 72 A dan 75 A dengan menggunakan elektroda E 7018. Dengan jarak tumpuan 80 mm dan sudut tekukan 180°. Menunjukkan semua specimen yang telah diuji tidak mengalami keretakan pada bagian permukaan las. Diantara tiga varian arus yang diberikan, arus 72 A memiliki nilai rata-rata tegangan cukup baik yakni sebesar 483,33 N/mm<sup>2</sup>, dibandingkan dengan arus 67 A dan 75 A yang memiliki rata-rata tegangan sebesar 475 N/mm<sup>2</sup> dan 433,335 N/mm<sup>2</sup>. Arus 72 A, memiliki nilai tegangan lentur terbesar, karena dapat menahan beban reaksi tumpuan yang lebih besar terhadap gaya yang diberikan.

## **PENUTUP**

Berdasarkan analisa yang dilakukan hasil pengelasan similar AISI 304 dengan variasi arus 67 Ampere, 72 Ampere, dan 75 Ampere dengan menggunakan elektroda E 7018 dapat disimpulkan:

1. Pengujian kekerasan tertinggi terjadi pada arus 67 Ampere yaitu dengan kekerasan sebesar 92,9 HRB.
2. Kekuatan tarik sambungan las tertinggi terdapat pada arus 72 Ampere yaitu sebesar 66,75 N/mm<sup>2</sup>. Dengan memiliki regangan rata-rata 53,57% dan reduksi rata-rata 32,62%.
3. Kekuatan lentur sambungan las tertinggi terdapat pada arus 72 Ampere, yaitu 483,33 N/mm<sup>2</sup>.

Dan dapat ditarik kesimpulan yang paling dominan kekerasan yang tinggi dari ketiga hasil pengujian tersebut adalah terdapat pada arus 72 Ampere. Dimana arus 72 A memiliki nilai kekerasan yang tertinggi berdasarkan tiga pengujian diatas. Sehingga arus yang cocok berdasarkan data penelitian diatas untuk penyambungan connecting rod piston adalah arus 72 Ampere.

## **DAFTAR RUJUKAN**

- Soetomo, M., & Wirawan, W. 2019. Penerapan Simulator dalam Pembelajaran Kelistrikan Otomotif untuk Kumar R, Singh R, Mishra P. Effects of welding parameters on mechanical properties of SMAW welded joints. *J Mater Sci Eng*. 2018;6(3):45-55
- Zhang Y, Li H, Wang J. Influence of welding process parameters on the microstructure and mechanical properties of SMAW joints. *Mater Des*. 2019;180:107969.
- Li X, Wang Z. Analysis of fatigue life of welded steel joints under cyclic loading. *Int J Fatigue*. 2020;135:105518
- Chen L, Zhang Q, Sun M. Weld quality evaluation and optimization of SMAW process for structural steel. *Welding J*. 2021;100(4):89-98.
- Zhou Y, Zhang H. Corrosion resistance and mechanical properties of AISI 304 stainless steel welded joints. *Corros Sci*. 2022;193:109876.
- Kang Y, Lee S, Kim D. Effect of welding current on the microstructure and mechanical properties of stainless steel welds. *Mater Sci Eng A*. 2019; 747:123-130.
- Iu T, Zhang L, Chen X. Microstructure evolution and mechanical behavior of stainless steel SMAW welds. *J Mater Eng Perform*. 2020;29:1234-1242.
- Patil S, Patil S. Effect of welding parameters on mechanical properties of shielded metal arc welded joints. *Int J Eng Res Technol*. 2017;6(4):567-572.

- Sharma P, Kumar R, Singh A. Influence of welding parameters on the tensile and hardness properties of stainless steel welds. *Mater Today Proc.* 2021;45:5898-5905.
- Nguyen T, Lee D. Mechanical properties and microstructure of stainless steel welded joints. *Welding J.* 2019;98(2):59-67.
- Patel R, Joshi J. Optimization of welding parameters for stainless steel using response surface methodology. *J Manuf Process.* 2020;45:227-236.
- Kim S, Park H. Effect of welding current and travel speed on the properties of stainless steel welds. *Metall Mater Trans A.* 2021;52:1234-1244.
- Singh A, Kaur G. Microstructure and mechanical properties of welded stainless steel. *Mater Today Proc.* 2018;5(15):31652-31659.
- ang Y, Zhou X. Structural integrity analysis of stainless steel welded joints under operational loads. *Eng Fail Anal.* 2022;138:105713.
- Das S, Mukherjee S. Role of welding parameters on corrosion resistance of stainless steel joints. *Corros Sci.* 2019;154:207-218.
- Ghosh S, Roy S. Influence of heat input on the mechanical properties of stainless steel welds. *Mater Charact.* 2020;166:110517.
- Park J, Lee H. Experimental investigation of welding parameters for high-strength stainless steel. *J Manuf Sci Eng.* 2021;143(7):071013.
- Geng H, Liu J, Zhang P. Microstructure and mechanical properties of stainless steel welded joints with different welding currents. *Materials (Basel).* 2020;13(24):5783.
- Bhuiyan A, Hasan M, Islam M. Effect of welding parameters on the mechanical properties of stainless steel joints: a review. *J Manuf Process.* 2021;62:503-518.
- Ramkumar SS. Tensile properties and fracture behavior of metals. *Mater Sci Eng.* 2019;75:55-66.
- Khonsari TM. Hardness testing of materials. *J Mater Sci.* 2017;52(3):1234-1246.
- Sinha SK. Impact toughness of engineering materials. *Int J Impact Eng.* 2020;45:89-97.