

PENGARUH *WELDING TIME* PADA KEKUATAN GESER *RESISTANCE SPOT WELDING* MATERIAL SUS 304 DAN 201 *CARBODY* KERETA

Muhammad Sahri Laksono

Program Studi DIII
Teknologi Mekanika
Perkeretaapian
Politeknik Perkeretaapian
Indonesia Madiun
Jl. Tirta Raya, Pojok,
Nambangan Lor, Kec.
Manguharjo, Kabupaten
Madiun, Jawa Timur
sahri.tmp2130201@taruna.ppi.
ac.id

Henry Widya Prasetya

Program Studi DIII
Teknologi Mekanika
Perkeretaapian
Politeknik Perkeretaapian
Indonesia Madiun
Jl. Tirta Raya, Pojok,
Nambangan Lor, Kec.
Manguharjo, Kabupaten
Madiun, Jawa Timur
henry@ppi.ac.id

Damar Isti Pratiwi

Program Studi DIII
Teknologi Mekanika
Perkeretaapian
Politeknik Perkeretaapian
Indonesia Madiun
Jl. Tirta Raya, Pojok, Nambangan
Lor, Kec. Manguharjo,
Kabupaten Madiun, Jawa Timur
damar@ppi.ac.id

Abstract

The manufacturing of train side walls utilizes SUS 304 and 201 plates with resistance spot welding (RSW), which results in neat joints, fast processes, and no filler metals. However, ensuring joint strength meets standards is crucial due to potential welding defects in stainless steel trains. This study aims to evaluate shear strength and reduce defects in RSW by varying welding time. Experiments were conducted with welding parameters set at 16-24 cycles, constant current of 10 kA, and a 16 mm diameter copper electrode. Post-welding, penetrant testing and shear testing of specimens were performed. Results indicate surface defects increased at welding times of 22 and 24 cycles due to inadequate cooling. The highest shear strength was recorded at 20 cycles (304.217 MPa), whereas 24 cycles showed the lowest shear strength (275.582 MPa) due to brittleness and embrittlement from prolonged welding and insufficient cooling. Thus, longer welding times do not necessarily ensure better shear strength.

Keywords: Shear Test, Resistance Spot Welding, SUS 304, SUS 201, Penetrant Test

Abstrak

Manufaktur side wall kereta menggunakan pelat SUS 304 dan 201 dengan *resistance spot welding*. Metode itu menghasilkan sambungan yang rapi, proses cepat, dan tanpa logam pengisi. Namun, penting memastikan kekuatan sambungan sesuai standar dikarenakan adanya cacat las pada kereta stainless steel. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kekuatan geser dan mengurangi cacat pada las RSW dengan variasi *welding time*. Eksperimen dilakukan dengan mengatur parameter pengelasan 16-24 *cycles*, arus konstan 10 kA, dan elektroda tembaga berdiameter 16 mm. Setelah pengelasan, dilakukan pengujian *penetrant* dan geser spesimen. Hasil menunjukkan cacat permukaan meningkat pada *welding time* 22 dan 24 *cycles* akibat pendinginan yang kurang sempurna. Kekuatan geser tertinggi tercatat pada *welding time* 20 *cycles* yaitu 304,217 MPa, sedangkan *welding time* 24 *cycles* menunjukkan kekuatan geser terendah yaitu 275,582 MPa karena getas dan kerapuhan akibat waktu pengelasan yang lama dan waktu pendinginan yang kurang. Sehingga lamanya *welding time* tidak dipastikan memiliki kekuatan geser yang lebih baik.

Kata kunci: Pengujian Geser, *Resistance Spot Welding*, SUS 304, SUS 201, Uji *Penetrant*

PENDAHULUAN

PT INKA sebagai produsen dinding kereta api menggunakan material *stainless steel* (SUS) yang merupakan baja tahan karat. Material tersebut menjadi salah satu inovasi dalam pembuatan dinding kereta yang akan meningkatkan mutu dari sarana kereta api. Bagian luar atau dinding kereta (*side wall*) kereta tersebut sebagian besar terbuat dari material *stainless steel*. Pemilihan penggunaan material *stainless steel* ditunjukkan dengan karakteristiknya yang menguntungkan yaitu *stainless steel* merupakan material yang berpenampilan menarik (*attractive*), tahan korosi (*corrosion resistance*), rendah perawatan (*low maintenance*), dan berkekuatan tinggi (*high strength*). Dalam memproduksi dinding kereta PT INKA menggunakan las titik (*resistant spot welding*) sebagai metode pengelasannya.

Pengelasan titik atau RSW adalah proses pengelasan tahanan yang mana suatu las dihasilkan terhadap titik pada benda kerja atau yang ingin disambungkan di antara elektroda-elektroda yang mengalirkan arus, luas hasil dari lasan kira-kira akan mempunyai luasan yang menyerupai luas dari elektroda, ataupun biasa dengan ukuran yang berbeda-beda (Purwaningrum & Fatchan, 2013). Penyambungan material yang berbentuk lembaran menggunakan proses pengelasan RSW membuat efisien untuk aplikasi industri otomotif dan kereta api. Dalam perancangan *carcody* kereta *stainless steel* nilai kekuatan sambungan sangat perlu diperhatikan, terutama komponen-komponen yang mengalami pembebanan dinamis maupun statis. Pengukuran kekuatan geser yang mana digunakan untuk mengetahui seberapa jauh terpenuhinya standar spesifikasi karakteristik bahan dan sifat mekanik logam yang penting adalah kekuatan geser (Nee, 2010). Perlunya pengukuran kekuatan geser dari hasil penyambungan *stainless steel* yang bertujuan untuk menilai kekuatan sambungan dari *carboday stainless steel* telah memenuhi standar yang ditetapkan menurut Peraturan Menteri Perhubungan Nomor : KM. 41 Tahun 2010 tentang standar spesifikasi teknis kereta yang ditarik lokomotif, pada pasal 8 ayat 2 c yaitu tegangan yang terjadi pada beban maksimum pada titik kritis konstruksi badan kereta, untuk tegangan tarik maupun tegangan geser maksimum 75 % tegangan mulur bahan (Menteri Perhubungan Republik Indonesia, 2010).

Dalam penggunaan pengelasan RSW juga tidak bisa dipastikan adanya kesalahan ataupun kecacatan dalam RSW. Penemuan cacat dari hasil pengelasan dengan menggunakan RSW pada dinding kereta (*side wall*) K1 rangkaian kereta api Sawunggalih relasi Kutoarjo-Pasar Senen PP. Hasil pengelasan cacat dan tidak sempurna tersebut bisa berpengaruh terhadap kualitas dari dinding kereta (*side wall*).



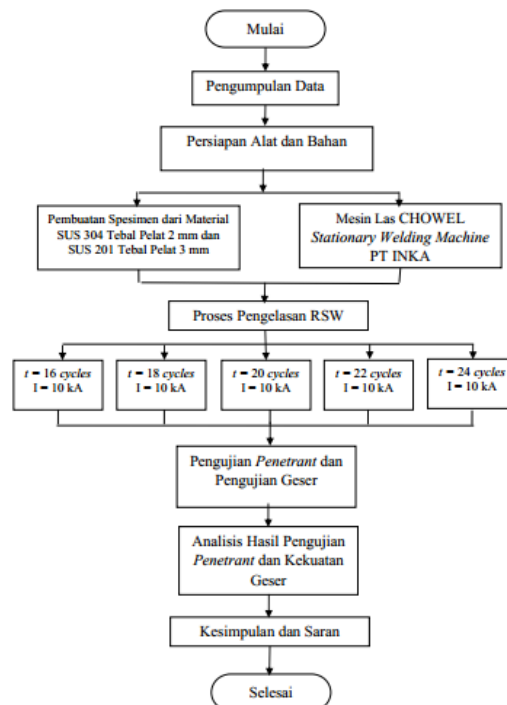
Gambar 1. Cacat Pengelasan Pada *Carbody* Kereta *Stainless Steel*

Berdasarkan hal tersebut akan dilakukan penelitian untuk menilai kekuatan geser sambungan dan mengurangi cacat las RSW dengan melakukan eksperimental variasi waktu pengelasan. Menurut penelitian Sahrevy et al. (2021) pengelasan titik material SS400 yang menggunakan variasi parameter kuat arus dan waktu pengelasan, penentuan besarnya arus listrik dan waktu pengelasan mempengaruhi nilai kekuatan hasil pengelasan. Maka dari itu penelitian ini bertujuan untuk menilai kualitas kekuatan geser sambungan las material serta kualitas permukaan hasil pengelasan dinding luar kereta.

Pada penelitian ini proses pengelasan dilakukan dengan mesin las yang telah terkalibrasi. Material yang akan digunakan yaitu material *stainless steel* 304 ketebalan 2mm dan *stainless steel* 201 ketebalan 3mm yang mana sudah sesuai dengan penerapan langsung pada kereta *stainless steel*. Variasi parameter pengelasan yang digunakan yaitu *welding time* 16 cycles, 18 cycles, 20 cycles, 22 cycles, dan 24 cycles. Parameter pengelasan yang lain konstan yaitu arus listrik 10 kA, elektroda tembaga campuran *Cromium Copper* (CuCr) dengan diameter 16 mm, *holding time* 83 cycles, dan *Squeeze Time* 60 cycles. Tidak adanya tindakan *treatment* apapun pada saat proses pengelasan dan hasil pengelasan akan dilakukan uji *penetrant* dan uji geser sesuai dengan standar.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan membuat spesimen pengelasan dengan variasi parameter *welding time* metode RSW dengan standar ASME section IX. Tahapan pengujian yaitu pengujian *penetrant* dan pengujian kekuatan geser.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan menggunakan metode observasi, yaitu melakukan pengamatan saat proses pengelasan, dari metode tersebut didapatkan data sebagai berikut:

1. Metode pengelasan RSW.
2. Pengamatan cacat las yang terjadi pada sarana *carbody* kereta *stainless steel*.
3. Variasi parameter metode pengelasan RSW.

Selanjutnya dilakukan studi literatur untuk memudahkan data berupa:

1. Peraturan dan standar kekuatan dari sambungan pengelasan RSW.
2. Spesifikasi mesin las RSW, spesifikasi material *stainless steel* 304 dan *stainless steel* 201, dan standar yang digunakan untuk menentukan variabel parameter las RSW.
 - a. Arus pengelasan RSW.
 - b. Tegangan pengelasan RSW.
 - c. Diameter elektroda yang digunakan.
3. Literatur tentang metode-metode pengelasan RSW.

Bahan dan Alat Penelitian

1. Bahan

a. SUS 304

Material *stainless steel* tipe 304 dengan spesifikasi kekuatan tarik 646 Mpa, *yield strength* 270 Mpa, dan kekerasan 82 HRB (Zwilsky, 1990).

Tabel 1. Komposisi Unsur Kimia SUS 304

Unsur						
C	Fe	Mn	Si	Cr	Ni	P
0,08 %	66,3-74 %	2 %	1 %	18-20 %	8-10,5 %	0,045 %

b. SUS 201

Material *stainless steel* tipe 201 dengan spesifikasi kekuatan tarik 685 MPa, *yield strength* 292 Mpa, dan kekerasan 85 HRB (Zwilsky, 1990).

Tabel 2. Komposisi Unsur Kimia SUS 201

Unsur						
C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S
0,15 %	5,5-7,5 %	1 %	16-18 %	3,5-5,5 %	0,06 %	0,03 %

2. Alat

a. Mesin Las *Spot Welding*

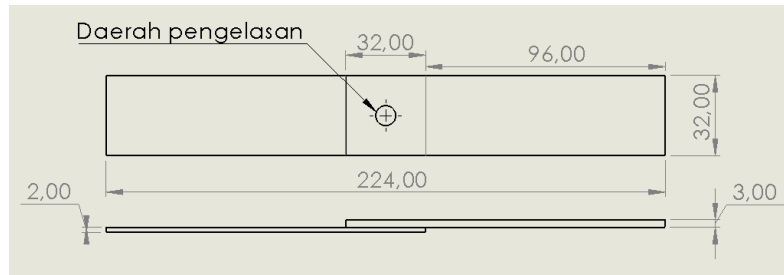
Pada penelitian kali ini *spot welding machine* yang digunakan adalah CHOWEL *Stationary Welding Machine* yang berada di PT INKA Madiun.

b. Alat Uji Geser Spesimen

Pengujian geser spesimen dengan metode RSW dilakukan menggunakan mesin uji geser yang dimiliki oleh Politeknik Negeri Malang. Berikut adalah spesifikasi mesin uji geser yang digunakan dalam penelitian ini:

Pembuatan Spesimen

Proses Pembuatan spesimen pengelasan RSW material SUS 304 tebal 2 mm dan SUS 201 tebal 3 mm menggunakan standar ASME *section IX*. Variasi *welding time* yang digunakan yaitu 16 *cycles* dengan kode A, 18 *cycles* dengan kode B, 20 *cycles* dengan kode C, 22 *cycles* dengan kode D, dan 24 *cycles* dengan kode E. Masing-masing parameter yang digunakan akan dibuat menjadi 3 sampel. Lebar spesimen 32 mm dan panjang total spesimen 224 mm.



Gambar 3. Standar Spesimen Pengujian Geser Sesuai ASME *Section IX*

Metode Pengujian

1. Metode Pengujian *Penetrant*

Pengujian dilakukan dengan menyemprotkan tiga cairan pengujian *penetrant* secara berurutan mulai dari *cleaner*, *red penetrant*, dan *developer*.

2. Metode Pengujian Geser

Setelah proses pengelasan RSW dan pengujian *penetrant*, selanjutnya pengujian geser dengan menggunakan alat *universal testing machine* untuk mendapatkan nilai kekuatan geser dari spesimen.

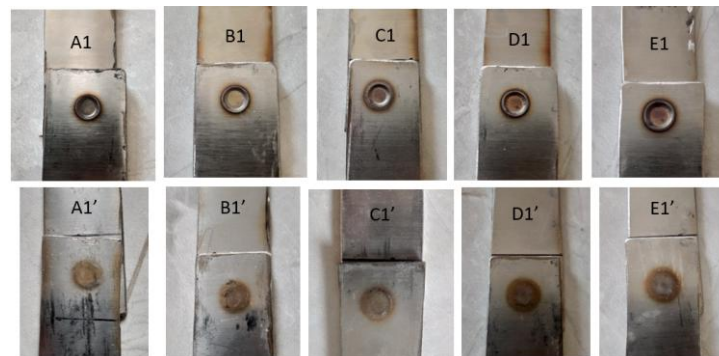
Metode Analisis Data

Pengolahan data dilakukan dengan cara tabulasi yaitu dengan memasukkan data uji geser ke dalam *microsoft excel* kemudian dilakukan perhitungan menggunakan rumus tegangan geser dan regangan geser. Percobaan dapat dikatakan berhasil mengenai tegangan dan regangan dengan cara melakukan perhitungan secara matematis yang telah ditetapkan. Dalam penelitian ini, setelah didapatkan data dari hasil pengujian geser berupa beban maksimal dan pertambahan panjang akan dilakukan analisis guna mencari tegangan geser dan regangan geser pada spesimen uji. Sedangkan untuk hasil pengujian *penetrant* dapat dilihat dengan visual berupa ada atau tidaknya keretakan atau kecacatan yang terjadi pada bagian pengelasan serta menggunakan bantuan *software imageJ* dalam melihat *spectrum LUT* untuk melihat perbedaan warna.

PEMBAHASAN

Hasil Pengelasan *Resistance Spot Welding* (RSW)

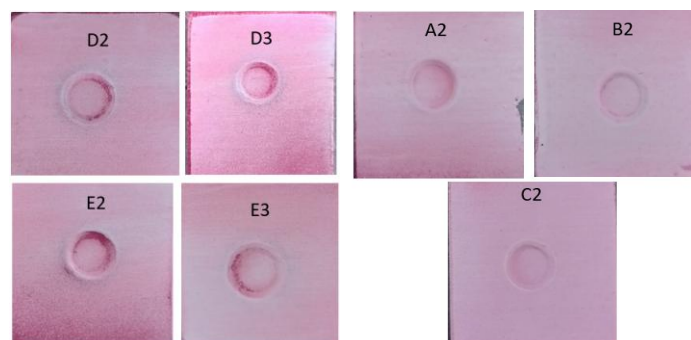
Hasil dari proses pengelasan dengan metode RSW dapat disimpulkan bahwa pengelasan RSW yang dilakukan menggunakan material pelat *stainless steel* 304 ketebalan 2 mm dan *stainless steel* 201 ketebalan 3 mm dengan variasi *welding time* pengelasan yang digunakan 16 cycles, 18 cycles, 20 cycles, 22 cycles, dan 24 cycles, arus listrik konstan 10 kA, dan menggunakan elektroda tembaga campuran *Cromium Copper* (CuCr) diameter 16 mm dihasilkan spesimen pengelasan yang menyatu. Hasil pengelasan dapat dilihat secara visual mendapatkan hasil yang berbeda sesuai dengan besaran waktu pengelasan yang diberikan. Variasi waktu pengelasan yang diberikan mempengaruhi kedalaman pengelasan *spot welding* sesuai dari data yang tertera pada tabel di atas yaitu semakin lama waktu pengelasan maka akan semakin dalam.



Gambar 4. Contoh Hasil Sambungan Pengelasan RSW Tampak Depan dan Belakang

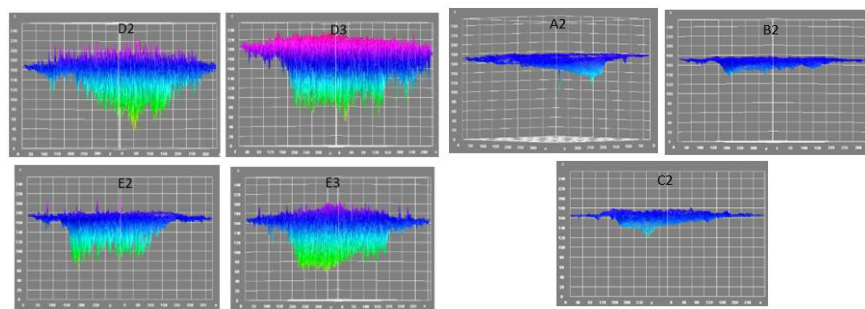
Hasil Pengujian *Penetrant*

Berikut adalah hasil dari pengujian *penetrant* spesimen yang terindikasi adanya cacat las:



Gambar 5. Hasil Pengujian *Penetrant* Spesimen yang Terindikasi Cacat Pada Spesimen D2, D3, E2, dan E3 Serta Contoh yang Tidak Terindikasi Cacat pada Spesimen A2, B2, dan C2

Hasil pengamatan uji *penetrant* spesimen las *resistance spot welding* menunjukkan pada spesimen tampak depan D2, D3, E2, dan E3 terdapat atau adanya cacat porositas, untuk spesimen yang lainnya tidak terjadi adanya indikasi cacat pengelasan seperti contoh pada gambar di atas spesimen A2, B2, dan C2. Hal tersebut disebabkan oleh penekanan elektroda dan panas yang masuk dari elektroda saat proses pengelasan berlangsung. Cacat tersebut terjadi saat proses pengelasan material mengalami peleburan kemudian menghasilkan sisa leburan material yang tidak sempurna. Sisa leburan material tersebut membentuk *weld nugget* yang tidak rata dengan berbagai diameter tertentu. Setelah dilakukan pengujian *penetrant*, Dipergunakannya *software ImageJ* adalah untuk melihat lebih jelasnya perbedaan warna merah dari *penetrant*. Menu *Spectrum LUT* pada *3D surface interactive* yang akan digunakan dalam melihat perbedaan warna tersebut.



Gambar 6. Grafik *Spectrum LUT* Spesimen yang Terindikasi Cacat Las pada Spesimen D2, D3, E2, dan E3 serta Spesimen yang Tidak Terindikasi Cacat Las A2, B2, dan C2

Terlihat contoh grafik *spectrum LUT* hasil tampak depan pada spesimen A2, B2, dan C2 hanya berwarna biru dan menandakan tidak terindikasi adanya cacat las begitu pula pada spesimen A, B, dan C yang lainnya juga. Namun pada spesimen D2, D3, E2 dan E3 sudah memasuki perbedaan warna yaitu dari warna biru masuk ke dalam menjadi warna hijau yang mana pada spesimen yang lainnya hanya berkisar pada warna biru muda dan biru tua, itu menandakan adanya cacat las porositas pada spesimen variasi 22 *cycles* dan 24 *cycles*.

Hasil Pengujian Geser

Hasil spesimen pengujian geser ditunjukkan bahwa letak sobekan akibat uji kekuatan geser ada pada sambungan pengelasannya, jika sobekan terletak pada materialnya hal yang dimungkinkan adalah dikarenakan parameter yang terlalu besar dan berlebihan. Berikut adalah contoh perhitungan spesimen A1 dalam mendapatkan tegangan dan regangan geser:

Diameter : 10,37 mm

Luas penampang (A) :

$$A = \frac{1}{4} \pi D^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times (10,37)^2 = 84,46 \text{ mm}^2$$

Beban (P) : 2423,4 kg x 9,81 m/s² = 23773,554 N

Panjang awal (L) : 224 mm

Panjang akhir : 233 mm

ΔL Spesimen : 9 mm

ΔL pada data akhir : 21,37 mm

ΔL data tarik maksimal : 13,38 mm
 Faktor Koreksi : ΔL spesimen/ ΔL data

Penyelesaian:

a. Kekuatan geser

$$\tau = \frac{P}{A}$$

$$\tau = \frac{23773,554}{84,46}$$

$$\tau = 281,48 \text{ N/mm}^2$$

b. Regangan

$$\gamma = \frac{\Delta L}{L}$$

$$\gamma = \frac{\frac{\Delta L \text{ Spesimen}}{\Delta L \text{ Data}}}{L} = \frac{\frac{13,38}{21,37}}{224} = \frac{0,421}{224}$$

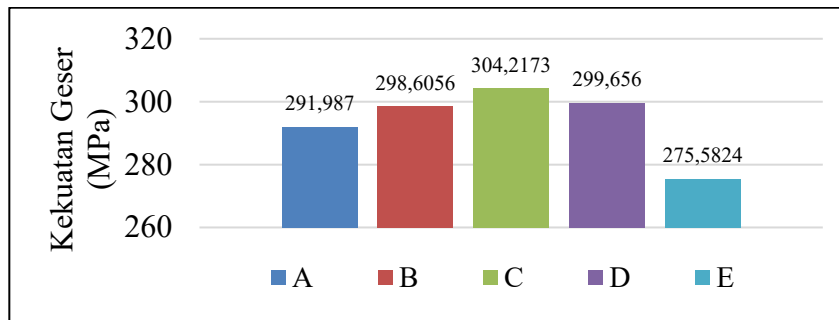
$$\gamma = 0,147$$

Berikut adalah data hasil pengujian geser semua spesimen :

Tabel 3 Hasil Pengujian Geser Spesimen

Spesimen	ΔL (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Beban yang Bekerja (N)	Regangan (γ)	Kekuatan Geser (Mpa)	Rata-Rata Kuat Geser
A1	13,83	84,45928	23773,55	0,147	281,48	291,987 N/mm ²
A2	15,59	83,48476	25494,23	0,129	305,376	
A3	9,88	81,55268	23577,35	0,077	289,106	
B1	17,35	85,43946	25466,76	0,15	298,068	298,606 N/mm ²
B2	13,62	85,60337	25668,85	0,107	299,858	
B3	16,25	86,59015	25794,41	0,119	297,891	
C1	20,42	89,75224	27519,01	0,171	306,611	304,217 N/mm ²
C2	18,22	87,25114	27083,45	0,129	310,408	
C3	17,56	92,28868	27283,57	0,122	295,633	
D1	14,5	93,14202	27389,52	0,106	294,0619	299,656 N/mm ²
D2	17,13	90,08839	27203,13	0,104	301,96	
D3	16,03	88,91461	26936,3	0,114	302,946	
E1	16,03	96,42051	26353,58	0,1	273,319	275,5824 N/mm ²
E2	16,03	96,07273	26173,08	0,106	272,43	
E3	15,59	92,45904	25980,80	0,116	280,998	

Berdasarkan dengan standar peraturan pemerintah KM. 41 Tahun 2010 kekuatan uji geser yang di hasilkan oleh spesimen dengan variasi waktu pengelasan 16 *cycles*, 18 *cycles*, 20 *cycles*, 22 *cycles*, dan 24 *cycles* telah sesuai dengan ketentuannya. Dengan kekuatan tarik maksimal dari *stainless steel* 304 yaitu 646 MPa dan kekuatan tarik maksimal dari *stainless steel* 201 yaitu 685 MPa. 75 % dari kekuatan tarik material tersebut adalah 484,5 MPa untuk *stainless steel* 304 dan 513,75 MPa untuk *stainlees steel* 201. Terlihat jelas semua spesimen sudah sesuai dengan ketentuannya yaitu nilai kekuatan gesernya di bawah kekuatan tarik materialnya.



Gambar 7. Grafik Rata-rata Hasil Kekuatan Geser Spesimen

Dari gambaran grafik diatas perbandingan rata-rata setiap spesimen, ditemukan adanya peningkatan kekuatan geser spesimen seiring dengan bertambah lamanya *welding time* mulai dari 16 *cycles* sampai dengan 20 *cycles* sedangkan pada saat pertambahan waktu menjadi 22 *cycles* dan 24 *cycles* mulai mengalami penurunan. Nilai rata-rata tegangan geser tertinggi terdapat pada spesimen C yaitu 304,2173 MPa. Semakin lama *welding time* maka diameter pengelasan semakin besar dan luas penampang sebagai pembagi dari gaya geser juga akan semakin besar. Sehingga mengakibatkan penurunan tegangan geser yang sangat signifikan pada spesimen D dan E dengan nilai rata-rata tegangan geser 299,656 MPa dan 275,5824 MPa.

Pembahasan

Variasi *welding time* yang digunakan dalam proses pengelesan RSW memiliki pengaruh terhadap bentuk permukaan dari sambungan las tersebut. Semakin lama waktu pengelasan maka akan timbul cacat pengelasan, cacat yang terjadi yaitu cacat porositas. Cacat tersebut terjadi saat proses pengelasan material mengalami peleburan kemudian menghasilkan sisa leburan material yang tidak sempurna. Sisa leburan material tersebut membentuk *weld nugget* yang tidak rata dengan berbagai diameter tertentu. Atau bisa diartikan Penyebab dari cacat permukaan tersebut adalah bentuk *weld nugget* yang tidak rata karena panas yang diberikan (*heat input*) atau bisa disebut penggunaan parameter pengelasan yang tidak sesuai (Surasno, 2014).

Hasil dari analisis uji geser setiap spesimen mendapatkan perbedaan pada kekuatan geser. Semakin lama waktu yang digunakan tidak sepenuhnya akan semakin baik dalam kekuatan geser. Sebaliknya jika *welding time* yang digunakan sesuai tidak terlalu lama dan terlalu cepat maka kekuatan sambungan las tersebut semakin kuat. Hal ini dikarenakan panas yang dihasilkan semakin tinggi sehingga membuat *HAZ* logam semakin luas dan terbentuk *weld nugget* saling merekatkan material satu dengan material lainnya, namun untuk itu diperlukan juga *holding time* atau yang disebut waktu pendingin yang lama. Hal tersebut akan berpengaruh terhadap pembentukan *weld nugget* dari pengelasan RSW serta akan mempengaruhi kekuatan geser dari sambungan las tersebut (Ruukki, 2009). Hal itu juga disebabkan karena pada kondisi tersebut las mengalami getas akibat dari arus yang besar dan *welding time* yang terlalu lama dan mengalami kerapuhan (Sahrevy et al., 2021).

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan pada analisis dan pembahasan yang telah dilakukan maka dapat diperoleh dua kesimpulan. Pertama, spesimen yang tidak memiliki cacat permukaan atau memiliki cacat paling sedikit berada pada variasi *welding time* 16 cycles, 18 cycles, dan 20 cycles (Spesimen A, B, dan C), sedangkan pada variasi pengelasan yang lebih lama semakin banyak cacat permukaan yang terjadi, yaitu pada variasi *welding time* 22 cycles dan 24 cycles (Spesimen D dan E). Kedua, analisis kekuatan uji geser menunjukan spesimen C dengan penggunaan variasi *welding time* 20 cycles memiliki rata-rata gaya geser dan tegangan geser tertinggi yaitu sebesar 27295,34 N dan 304,217 MPa. Sedangkan kekuatan uji geser terendah terdapat pada spesimen E dengan penggunaan variasi arus pengelasan 24 cycles memiliki rata-rata uji geser terendah sebesar 275,582 MPa. Sehingga, hal tersebut membuktikan bahwa untuk waktu yang terlalu lama bisa menimbulkan cacat pengelasan dan kekuatan geser sambungan pengelasan metode RSW berkurang atau menurun.

Dari hasil penelitian ini, maka disarankan untuk penelitian selanjutnya perlu menggunakan material yang berbeda dengan melakukan pengujian struktur mikro mengamati paduan dari susunan struktur logam dan daerah HAZ dari pengelasan RSW. Serta dapat ditambahkan pengaruh parameter yang lain seperti diameter elektroda dan variasi tegangan listrik.

DAFTAR PUSTAKA

- ASME, S. I. (2019). Qualification standard for welding, brazing, and fusing procedures; welders; brazers; and welding, brazing, and fusing operators (Vol. 9). *American Society of Mechanical Engineers*. <https://www.asme.org/shop/certification-accreditation>.
- Menteri Perhubungan Republik Indonesia. (2010). PM Perhubungan Nomor KM 41 Tahun 2010 tentang spesifikasi teknis kereta ditarik lokomotif. In *Menteri Perhubungan Republik Indonesia*. www.bphn.go.id
- Nee, Dr. J. G. (2010). *Fundamentals of tool design* (6th ed.). Society of Manufacturing Engineers.
- Purwaningrum, Y., & Fatchan, M. (2013). *Pengaruh arus listrik terhadap karakteristik fisik-mekanik sambungan las titik logam dissimilar al-steel*. <http://ejournal.undip.ac.id/index.php/rotasi-16->
- Ruukki. (2009). *Resistance welding manual*. Rautaruukki Corporation.
- Sahrevy, Ma., Mawardi, & Dailami. (2021). Analisa pengaruh kuat arus dan waktu las pada proses las titik (resistance spot welding) terhadap kekuatan tarik pada hasil las pelat SS400. *Jurnal Mesin Sains Terapan*, 5, 114–119.
- Surasno. (2014). Pengaruh parameter las proses saw terhadap peningkatan kualitas sambungan las tabung baja lpg the influence of saw welding parameters on quality improvement of lpg steel cylinder welding joint. *Jurnal Teknologi Bahan Dan Barang Teknik*, 4, 19–26.
- Zwilsky, K. M. (1990). *ASM handbook volume 1 properties and selection : irons steels and high performance alloy* (10th ed., Vol. 1). ASM International Handbook Committee.