

## ANALISIS KEKUATAN TARIK BAJA ST 41 PENGELASAN GESEK ROTASI VARIASI WAKTU GESEK DAN TEMPA

Setiyo Prabowo<sup>1</sup>, Sunyoto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Pendidikan Teknik Mesin FT UNNES; <sup>2</sup>Jurusan Pendidikan Teknik Mesin FT UNNES

Email: setiyop98@gmail.com

### ABSTRACT

*Friction stir welding needs heat not from electricity but from adequate friction time. Applying pressure is essential in this solid-state welding process. This study aimed to analyze the tensile strength of ST 41 steel in friction welding using friction time and forging time variations. This study used an experimental method with a factorial design. Friction time variation was 8, 10, 12 minutes, whereas, for forging-time, the variation was 4, 5, and 6 seconds. The experiment used friction stir welding and SMAW welding on ST41 steel, with E6010 electrodes and 100 A current. The study results show that the optimum friction time is 10 seconds with an average tensile strength of 527,97 MPa, and the optimum forging time is 5 seconds with an average tensile strength of 535,3 MPa. The tensile strength value in SMAW welding is lower than the friction stir welding, with an average of 422,01 MPa.*

**Keywords:** rotary friction welding, ST 41 steel, friction time, forging time, tensile strength

### ABSTRAK

Pengelasan gesek rotasi tidak membutuhkan panas dari arus listrik melainkan dari gesekan. Karena pengelasan ini tergolong pengelasan *solid state*, perlu adanya penggunaan tekanan dalam proses pengelasannya. Tujuan penelitian ini yaitu untuk menganalisis kekuatan tarik baja ST 41 sambungan pengelasan gesek dengan variasi waktu gesek dan waktu tempa. Metode penelitian yang digunakan yaitu metode eksperimen dengan desain *factorial design*. Variasi waktu gesek yaitu 8, 10, 12 detik serta waktu tempa 4, 5, 6 detik. Penelitian menggunakan bahan baja ST 41 pejal yang dilas dengan pengelasan gesek dan pengelasan SMAW arus 100 A dengan elektroda E6010, sebagai kontrol penelitian. Hasil penelitian mendapatkan waktu gesek yang terbaik yaitu selama 10 detik dengan nilai rata-rata kekuatan tarik 527,97 MPa dan waktu tempa terbaik didapatkan selama 5 detik dengan nilai rata-rata kekuatan tarik 535,3 MPa. Untuk pengelasan SMAW mendapatkan nilai kekuatan tarik yang lebih rendah dari pengelasan gesek rotasi yaitu 422,01 Mpa.

**Kata kunci:** pengelasan gesek rotasi, baja ST 41, waktu gesek, waktu tempa, kekuatan tarik

### PENDAHULUAN

Pengelasan dengan busur sulit digunakan untuk penyambungan benda pejal, sehingga perlu ada cara lain untuk pengelasan benda berbentuk pejal. Sambungan las busur yang digunakan pada komponen *torque rod* sering terjadi kegagalan pada sambungannya. Pengelasan gesek dilakukan untuk mengatasi keterbatasan dalam penyambungan logam yang berbentuk pejal. Pengelasan gesek yang selama ini digunakan masih terdapat kekurangan dalam proses pengerjaannya. Penggunaan sistem

hidrolik dalam pengelasan gesek masih belum banyak digunakan.

Waktu gesek yang singkat berdampak pada belum tersambung sepenuhnya sambungan las gesek karena temperatur belum mencapai titik lebur. Waktu gesek yang terlalu lama akan berakibat penerapan panas meluas pada daerah *heat affected zone* (HAZ) yang menimbulkan lapisan getas intermetallic (Pah, et al., 2018: 57). Kecepatan putar digunakan pada saat waktu gesek dan tekanan gesek berlangsung, penggunaan putaran gesek akan berpengaruh terhadap pencapaian titik lebur dari logam sambungan las gesek. Menurut

Salam (2016:139), putaran mesin yang sesuai untuk penyambungan las gesek baja karbon rendah yaitu berkisar antara 550 – 1800 rpm untuk mencapai temperatur optimal pengelasan.

Subiyanto, et al., (2016: 124) lama waktu tempa akan berpengaruh pada porositas logam las hasil sambungan, porositas maka akan memicu timbulnya patahan ketika sambungan menerima beban dari luar. Waktu tempa yang terlalu lama akan membuat benda sambungan mengalami deformasi karena pemberian tekanan yang terlalu lama. Belum adanya acuan durasi gesek dan tempa yang cocok diterapkan pada pengelasan gesek rotasi baja ST 41. Tekanan gesek dan tekanan tempa juga memiliki nilai yang berbeda, tekanan tempa jauh lebih besar dari pada tekanan gesek. Semakin besar tekanan yang digunakan akan menyebabkan *strain hardening* atau yang meningkatkan kekerasan kedua benda kerja sehingga akan melemahkan sambungan las gesek rotasi (Pah, et al., 2018: 58).

Pemanfaatan baja ST 41 sering digunakan dalam komponen elemen mesin seperti, *tie rod*, *torque rod*. Selain untuk mengelas benda pejal, beda jenis dan pipa, pengelasan gesek juga dapat digunakan untuk menyambung dua buah benda kerja yang memiliki perbedaan diameter yang besar sehingga membuat lebih efisien dalam proses pembuatan. Selain itu jika menggunakan pengelasan gesek memiliki kemungkinan kecil terjadi cacat las dibandingkan jenis las lainnya, terutama cacat *undercut* dan porositas.

Penelitian yang hampir sama pernah dilakukan Putra dan Arwizet (2019: 914-920) yang menganalisis kekuatan tarik hasil sambungan las gesek pada baja ST 37. waktu gesekan selama 70 detik, 80 detik, dan 90 detik dengan putaran mesin 1800 rpm. Dari hasil pengujian menghasilkan kekuatan tarik terbaik sambungan pada waktu gesek 80 detik dengan nilai rata-rata 356,37 MPa.

Ma, et al., (2016: 121-126) melakukan penelitian tentang karakteristik propertis dan juga struktur mikro sambungan las gesek beda jenis antara baja karbon 1045 dengan *stainless*

*steel* 304. Pengelasan dilakukan pada waktu gesek 8 detik dan waktu tempa 10 detik dan hasil kekuatan tariknya sebesar 860 MPa.

Penelitian yang relevan juga dilakukan oleh Sahin dan Erol (2004: 122-129) melakukan pengelasan gesek dengan waktu gesek 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 detik. Hasil pengujian tarik yang dilakukan pada benda kerja hasil pengelasan variasi waktu tersebut menghasilkan nilai kekuatan tarik sebesar 795,8 MPa.



Gambar 1. Pengaplikasian Pengelasan Gesek Rotasi (Humphreys, 2004: 19)



Gambar 2. Komponen *Torque Rod* Hasil Pengelasan Gesek Rotasi (Humphreys, 2004: 19)

Dibandingkan dengan pengelasan jenis lainya pengelasan busur lebih diperuntukan untuk pengelasan permukaan datar pada benda plat datar atau pipa. Berbeda dengan jenis pengelasan gesek yang lebih diperuntukan untuk mengelas benda pejal. Pengelasan busur juga memerlukan bahan tambah sebagai pengikat sambungan dengan bahan tambah yang memiliki karakteristik yang sama dengan bahan yang disambung, sedangkan pada pengelasan gesek tidak perlu memerlukan bahan tambah.

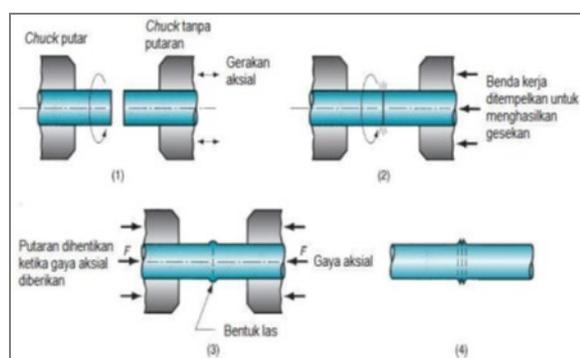
Tujuan dari penelitian yang dilakukan yaitu untuk menganalisis kekuatan tarik hasil pengelasan gesek rotasi baja ST 41 dengan variasi waktu gesek dan waktu tempa serta membandingkan hasil analisis kekuatan tarik sambungan pengelasan gesek rotasi dengan pengelasan jenis SMAW.

Penelitian ini dilakukan dengan harapan proses pengelasan terutama pada proses penyambungan benda kerja berbentuk pejal dapat dilakukan dengan cara yang lebih mudah dan cepat serta hasil yang lebih baik.

### METODE

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen dimana parameter yang mempengaruhi hasil dari kekuatan tarik adalah waktu gesekan dan waktu tempa. Variasi waktu gesek yang digunakan dalam penelitian ini adalah variasi waktu gesek 8 detik, 10 detik, dan 12 detik dan lama waktu tempa 4 detik, 5 detik, dan 6 detik.

Teknik analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis statistik deskriptif yang mana data yang didapatkan dari hasil pengujian tarik dirata-rata untuk didapat nilai kekuatan tarik terbaiknya. Penelitian dilakukan dengan menggunakan mesin las gesek untuk proses pengelasan gesek rotasinya. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah logam baja ST 41.



Gambar 3. Skema Pengelasan Gesek Rotasi

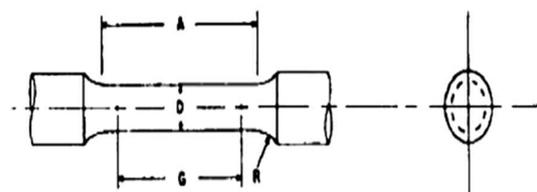
Proses awal dilakukan dengan membuat spesimen pengelasan gesek dengan bahan Baja ST 41 dengan ukuran 150 mm x Ø 12 mm. Selanjutnya dilakukan pengelasan gesek rotasi

dengan waktu gesek 8 detik, 10 detik, 12 detik dan waktu tempa 4 detik, 5 detik, 6 detik.

Tabel 1. Parameter pengelasan gesek rotasi

Waktu gesek	Waktu tempa	Kecepatan n putar	Tekanan gesek	Tekanan tempa
8 detik	4 detik			
10 detik	5 detik	1500 RPM	5 MPa	15 MPa
12 detik	6 detik			

Tiap variasi parameter dilakukan 3 kali pengelasan sehingga jumlah spesimen pengelasan gesek sejumlah 27 spesimen. Setelah itu benda kerja yang sudah dilas dilakukan proses pembubutan untuk pembuatan spesimen uji tarik dengan standar ASTM E8 M.



Gambar 4. Standar Spesimen Uji ASTM E8 M

Dimensi spesimen yang digunakan yaitu dengan panjang G lima kali D. Dimana nilai D = 8 mm, dan R = 9 mm.

Pengujian tarik dilakukan dengan menggunakan alat *Universal Testing Machine Servo Hydraulic Universal Testing Machine* dengan kapasitas 600 kN, yaitu dengan menjepitkan benda kerja pada kedua ragum yang ada pada alat uji kemudian jika sudah masukan dimensi spesimen yang diuji kedalam layar monitor yaitu panjang gauge 54 mm dan diameter terkecil 9 mm, pastikan besar gaya yang tertera pada layar monitor masih nol. Kemudian jalankan mesin untuk proses pemberian gaya tarik hingga benda kerja putus dan menghasilkan kurva tegangan regangan pada layar monitor uji. Lakukan hal tersebut pada masing-masing spesimen.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengambilan nilai kekuatan tarik sambungan las gesek dilakukan dengan alat uji tarik *Servo Hydraulic Universal Testing Machine* dengan kapasitas 600 kN.

Hasil pengujian tarik mendapatkan data berupa gaya tarik maksimal yang kemudian dihitung dengan persamaan gaya  $\sigma_m = F_m/A$ , dimana  $\sigma_m$  = tegangan tarik maksimal (N/mm<sup>2</sup>),  $F_m$  = gaya tarik maksimal (N), dan  $A$  = Luas penampang benda kerja (mm<sup>2</sup>).

Tabel 2. Nilai kekuatan tarik hasil pengelasan gesek

Waktu gesek	Waktu tempa			Rata-rata
	4 detik	5 detik	6 detik	
8 detik	490,25	546,82	540,54	<b>512,60</b>
	516,97	532,68	502,82	
	526,39	523,25	433,68	
10 detik	537,39	573,53	521,68	<b>527,97</b>
	518,54	546,82	505,97	
	521,68	505,97	520,11	
12 detik	510,68	542,11	535,82	<b>515,22</b>
	516,97	524,82	454,11	
	512,25	521,68	518,54	
<b>Rata-rata</b>	<b>516,79</b>	<b>535,30</b>	<b>503,70</b>	

Tabel 3. Nilai rata-rata kekuatan tarik hasil pengelasan gesek

Waktu gesek	Waktu tempa			Rata-rata
	4 detik	5 detik	6 detik	
8 detik	511,20	534,25	492,35	<b>512,60</b>
10 detik	521,68	542,10	515,92	<b>527,97</b>
12 detik	513,30	529,53	502,82	<b>515,22</b>
<b>Rata-rata</b>	<b>516,79</b>	<b>535,30</b>	<b>503,70</b>	

Tabel 4. Nilai kekuatan tarik hasil pengelasan SMAW

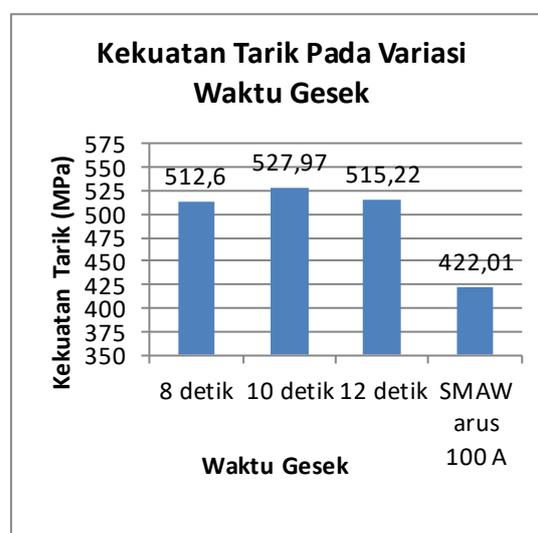
Spesimen	Kekuatan Tarik (MPa)
1	438,40
2	426,39
3	401,25
<b>Rata-rata</b>	<b>422,01</b>

Hasil dari penelitian ini juga bukan hanya nilai kekuatan tarik maksimal, akan tetapi temperatur proses pengelasan gesek juga dilakukan pengukuran. Hal ini dilakukan untuk proses penentuan pada temperatur berapa

sambungan dapat tersambung dengan baik dan menghasilkan nilai kekuatan tarik maksimal.

Tabel 5. Pengukuran temperatur proses pengelasan gesek

Perlakuan	Waktu Gesek	Waktu Tempa	Temperatur (°C)	Rata-rata (°C)
8	4		443,8	444,2
			442,7	
			446,3	
	5		474,5	458,1
			442,8	
			457,2	
6		459,8	506,4	
		530,4		
		529,2		
10	4		617,8	672,2
			663,7	
			735,2	
	5		750,1	749
			762,8	
			734,2	
6		719,8	743,1	
		774,1		
		735,4		
12	4		974,7	987,7
			998,2	
			990,3	
	5		1004,8	1010,8
			1008,2	
			1019,4	
6		1015,7	1029,6	
		1031,2		
		1042,1		



Gambar 5. Grafik Rata-Rata Kekuatan Tarik pada Waktu Gesek 8 Detik, 10 Detik, dan 12 Detik

Grafik nilai rata-rata kekuatan tarik sambungan las gesek menunjukkan bahwa lama waktu gesek 10 detik memiliki nilai kekuatan tarik yang paling signifikan bila dibandingkan lama waktu gesek 8 detik dan 12 detik. Hal tersebut terjadi karena faktor temperatur yang dihasilkan pada saat gesekan. Waktu gesek 8 detik menghasilkan temperatur pengelasan yaitu 444,2 °C – 506,4 °C, waktu gesek 10 detik menghasilkan temperatur pengelasan yaitu 672,2 °C – 749°C, dan waktu gesek 12 detik menghasilkan temperatur pengelasan yaitu 987,7 °C – 1029,6 °C.

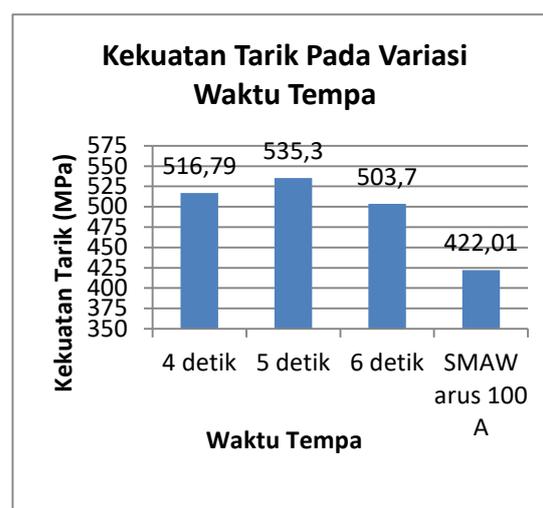
Berdasarkan hasil analisis kekuatan tarik menunjukkan bahwa peningkatan nilai kekuatan tarik terjadi pada waktu gesek 8 detik kemudian mencapai nilai kekuatan tarik maksimal pada waktu gesek 10 detik dan nilai kekuatan tarik melemah pada waktu gesek 12 detik. Kekuatan tarik tertinggi didapatkan pada spesimen yang dikenakan waktu gesek 10 detik sebesar 527,97 MPa, sedangkan pada spesimen yang dikenakan waktu gesek 12 detik kekuatannya sebesar 515,22 MPa, dan pada spesimen yang dikenakan waktu gesek 8 detik sebesar 512,6 MPa.

Hasil analisis kekuatan tarik pada waktu gesek 8 detik menghasilkan nilai kekuatan tarik yang paling rendah yaitu sebesar 512,6 MPa. Hal tersebut dikarenakan temperatur yang masih rendah berkisar 442,2°C – 506,4°C, yang membuat logam daerah sambungan atau daerah kontak belum tersambung secara keseluruhan. Hal tersebut serupa dengan pernyataan Septian, *et al.*, (2016: 118), faktor penyebab nilai kekuatan tarik kurang maksimal dikarenakan temperatur yang belum memenuhi temperatur pengelasan gesek yang berakibat pada sempitnya daerah kontak las atau disebut *weld metal*.

Kekuatan tarik tertinggi pada waktu gesek 10 detik sebesar 527,97 MP. Hal ini dikarenakan daerah kontak yang sudah tersambung dan juga temperatur yang sudah ideal dimana pada hasil pengukuran temperatur yaitu 672,2°C – 749°C. Laksono dan Sugiyanto (2017: 129) waktu gesek yang optimal

digunakan untuk proses pengelasan gesek rotasi baja karbon yaitu selama 10 detik. Karena pada waktu gesek lebih dari 10 detik penampang daerah HAZ akan meluas seiring bertambahnya waktu gesekan dan hal tersebut akan melemahkan sambungan dari pengelasan gesek rotasi.

Waktu gesek 12 detik menghasilkan kekuatan tarik yang juga rendah yaitu sebesar 515,22 MPa dan temperatur berkisar 987,7°C - 1029,6°C, lebih tinggi dari pada temperatur yang dihasilkan oleh waktu gesek 8 dan 10 detik. Semakin tinggi temperatur yang dihasilkan akan membuat daerah penyerapan panas melebar. Sehingga mengapa kekuatan tarik hasil pengelasan gesek dapat demikian, hal ini dipengaruhi oleh faktor temperatur yang dihasilkan pada saat proses pengelasannya. Hasil tersebut senada dengan pernyataan Pah, *et al.*, (20018: 57), waktu gesek yang terlalu lama akan membangkitkan panas yang meluas pada daerah *heat affected zone* (HAZ) dan menyebabkan terbentuknya lapisan getas *intermetallic* yang semakin menebal seiring dengan lamanya waktu gesekan.



Gambar 6. Grafik Rata-Rata Kekuatan Tarik pada Waktu Tempa 4 Detik, 5 Detik, dan 6 Detik

Analisis data hasil pengujian tarik dengan variasi waktu tempa 4, 5, 6 detik menunjukkan bahwa peningkatan nilai kekuatan tarik terjadi pada waktu tempa 4 detik kemudian mencapai

nilai kekuatan tarik maksimal pada waktu tempa 5 detik dan nilai kekuatan tarik melemah pada waktu tempa 6 detik. Kekuatan tarik tertinggi didapatkan pada spesimen yang dikenakan waktu tempa 5 detik sebesar 535,3 MPa, sedangkan pada spesimen yang dikenakan waktu tempa 4 detik kekuatannya sebesar 516,79 MPa, dan pada spesimen yang dikenakan waktu tempa 6 detik sebesar 503,7 MPa.

Kekuatan tarik hasil analisis data pengujian tarik pada waktu tempa 6 detik mendapatkan nilai yang paling rendah dari pada waktu tempa 4 dan 5 detik yaitu sebesar 503,7 MPa. Penurunan pada waktu tempa 6 detik dikarenakan tekanan berlebih yang diterima pada daerah sambungan. Semakin lama tekanan yang diberikan akan menyebabkan pengerasan pada area sambungan yang akan melemahkan sifat mekanis dari sambungan (Pah, *et al.*, 2018: 55).

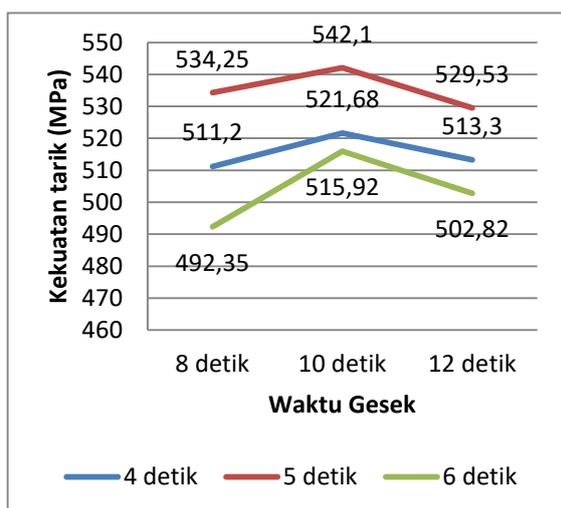
Waktu gesek 4 detik mendapatkan nilai kekuatan tarik yang rendah juga yaitu sebesar 516,79 MPa. Lamanya waktu tempa selain berdampak pada kekerasan sambungan, juga berdampak pada porositas daerah kontak sambungan. Porositas terjadi jika terdapat rongga udara yang terperangkap pada daerah las selama proses pengelasan. Karena pada pengelasan gesek tidak menggunakan gas pelindung maka jika proses penempaan dilakukan dalam waktu singkat kemungkinan terjadi porositas akan ada. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan Subiyanto, *et al.*, (2016: 124) waktu tempa yang singkat akan berpengaruh pada porositas logam las hasil sambungan, untuk mengatasi hal tersebut maka waktu tempa perlu ditingkatkan.

Faktor yang mempengaruhi kekuatan tarik hasil sambungan pengelasan gesek pada penelitian ini yaitu dikarenakan temperatur yang dihasilkan pada proses gesekan membuat permukaan kontak sambungan menjadi lelehan yang homogen sehingga dengan proses penempaan yang cukup selama 5 detik maka kekerasan daerah sambungan akan baik. Berbeda jika penempaan dilakukan selama 4

detik maka akan membuat kekerasan daerah sambungan berkurang. Untuk waktu tempa 6 detik akan membuat kekerasan daerah sambungan meningkat.

Perbandingan nilai rata-rata kekuatan tarik antara baja ST 41 pejal sambungan pengelasan gesek rotasi variasi waktu gesek 8, 10, 12 detik dan variasi waktu tempa 4, 5, 6 detik dengan pengelasan jenis lainya yaitu pengelasan SMAW dengan arus 100 A menunjukkan perbedaan nilai rata-rata kekuatan tarik, dimana pengelasan gesek menghasilkan nilai rata-rata kekuatan tarik yang lebih tinggi dibandingkan dengan hasil pengelasan SMAW yang hanya mendapatkan nilai rata-rata kekuatan tarik 422,01 MPa.

Perbedaan nilai kekuatan tarik disebabkan oleh karakteristik dari logam sambungan pengelasan gesek rotasi yang sama dengan logam induk, daerah sambungan pada pengelasan gesek rotasi terjadi pada seluruh permukaan daerah sambungan. Sedangkan pengelasan busur *shield metal arc welding* (SMAW) membangkitkan temperatur yang tinggi karena sifatnya yang merupakan pengelasan pencairan setempat sehingga membuat penyerapan panas berlebih, selain itu cacat las masih sering dijumpai pada pengelasan ini karena untuk pengelasan benda pejal perlu penetrasi atau penembusan yang dalam yang mana hal tersebut membutuhkan panas yang tinggi dengan arus yang juga tinggi. Penyerapan panas yang berlebih pada pengelasan busur membuat fenomena patahan yang dihasilkan juga berbeda dengan pengelasan gesek rotasi yang dinamakan penampang patahan yang menunjukkan jenis patahan ulet dan untuk penampang patahan pengelasan SMAW menunjukkan jenis patahan yang getas.



Gambar 7. Grafik Nilai Rata-Rata Kekuatan Tarik pada Waktu Gesek 8, 10, 12 Detik dan Waktu Tempa 4, 5, 6 Detik

Penelitian ini membuktikan bahwa waktu gesek dan waktu tempa berdampak pada nilai kekuatan tarik sambungan las gesek rotasi baja ST 41. Dapat disimpulkan bahwa waktu gesek dan waktu tempa akan terus meningkatkan nilai kekuatan tarik sambungan sampai mencapai titik tertinggi kemudian melemah seiring dengan lamanya waktu gesek dan waktu tempa. Selain itu temperatur hasil waktu gesek juga mempengaruhi proses penempaan dimana temperatur yang dihasilkan saat waktu gesek singkat rendah akan membuat sambungan belum tersambung sempurna, dan temperatur yang dihasilkan saat waktu gesek lama akan membuat daerah *heat affected zone* (HAZ) semakin meluas karena penyerapan panas yang berlebih pada daerah kontak sambungan las.

## SIMPULAN

Berdasarkan hasil dari data pengujian tarik sambungan las gesek rotasi baja ST 41 yang didapatkan dari pengujian variasi waktu gesek dan waktu tempa terhadap nilai kekuatan tarik dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil uji tarik dengan variasi waktu gesek 8, 10 dan 12 detik diperoleh nilai rata-rata kekuatan tarik tertinggi pada waktu gesek 10 detik dengan nilai sebesar 527,97 MPa, disusul waktu gesek 12 detik

dengan nilai sebesar 515, 22 MPa, dan waktu gesek 8 detik dengan nilai 512,6 MPa. Hal ini dikarenakan temperatur yang dihasilkan selama waktu gesekan berdampak pada penyerapan panas pada daerah sambungan sehingga daerah *heat affected zone* (HAZ) meluas seiring bertambahnya waktu gesek.

2. Dari hasil uji tarik dengan variasi waktu tempa 4, 5 dan 6 detik diperoleh nilai rata-rata kekuatan tarik tertinggi pada waktu tempa 5 detik dengan nilai sebesar 535,3 MPa, kemudian diikuti waktu tempa 4 detik dengan nilai sebesar 516,79 MPa, dan waktu tempa 6 detik dengan nilai 503,7 MPa. Hal ini dikarenakan lamanya waktu tempa akan berdampak pada tingkat kekerasan daerah sambungan, dimana semakin lama waktu tempa akan membuat daerah sambungan semakin mengeras dan melemahkan sifat mekanis dari sambungan.
3. Dari perbandingan hasil uji tarik sambungan las gesek baja ST 41 dengan sambungan baja ST 41 pengelasan SMAW, sambungan pengelasan SMAW arus 100 A didapatkan nilai kekuatan tarik sebesar 422,01 MPa, lebih rendah dari pada hasil pengelasan gesek rotasi. Hal ini dikarenakan pengelasan SMAW membangkitkan temperatur yang tinggi karena sifatnya yang merupakan pengelasan pencairan setempat sehingga membuat penyerapan panas berlebih.

## DAFTAR RUJUKAN

- ASTM E8 09 Metode Uji Standar untuk Ketegangan Pengujian Metalik. West Conshohocken, United States: ASTM International
- Humphreys, B. A. 2004. *A Practical Guide To Friction Welding*: USA: Thompson Friction Welding

- Laksono, H. W., dan Sugiyanto. 2017. Pengujian Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Pada Sambungan Pengelasan Gesek Sama Jenis Baja St 60, Sama Jenis AISI 201, Dan Beda Jenis Baja St 60 Dengan AISI 201. *Jurnal Teknik Mesin S-1. Volume 5. Nomor 1, 124-136.*
- Ma, H., G. Qin, P. Geng, F. Li, B. Fu, X. Meng. 2015. Microstructure Characterization And Properties Of Carbon Steel To Stainless Steel Dissimilar Metal Joint Made By Friction Welding. *Journal Material and Design. Volume 86, 587-597.*
- Pah, J. C. A., Y. S. Irawan, dan W. Suprpto. 2018. Pengaruh Waktu Dan Tekanan Gesek Terhadap Kekuatan Tarik Sambungan Paduan Alumunium Baja Karbon Rendah Pada Pengelasan Gesek *Contiuous Drive. Jurnal Rekayasa Mesin. Volume 9. Nomor 1, 51-59.*
- Putra, I., dan Arwezet. K. 2019. Analisis Kekuatan Tarik Dan *Impact* Hasil Sambungan Las Gesek Pada Baja ST 37. *Jurnal Of Multidisciplinary Research And Development. Volume 1, 914-920*
- Sahin, M., dan H. E. Akata. 2004. An Experimental Study On Friction Welding of Medium Carbon Steel and Austenitic Stainless Steel Components. *Journal Industrial Lubrication and Tribology. Volume 56 Nomor 2, 122-129.*
- Salam, A., M. Iswar, Ishak, dan M. Fachrul. 2016. Pengaruh Variasi Putaran Dan Waktu Tempa Pada Pengelasan Gesek *Stainless Steel* AISI 301 Terhadap Sifat Mekanik. *Jurnal Sinergi. Volume 2. Nomor 14, 128-140.*
- Septian, R., G. Jatikusumo, S. Junus. 2016. Pengaruh Waktu Gesek Friction Welding Terhadap Karakterisasi Baja AISI 1045 Dengan Sudut Chamfer 15°. *Jurnal ROTOR. Volume 9. Nomor 2, 116-120.*
- Subiyanto, H., Subowo, Gatot. DW, dan S. Hadi. 2016. Studi Eksperimen Pengaruh Durai Gesek, Tekanan Gesek Dan Tekanan Tempa Pengelasan Gesek (FW) Terhadap Kekuatan Tarik Dan *Impact* Pada Baja AISI 1045. *Seminar Nasional Inovasi Dan Aplikasi Teknologi Di Industri.* Insitut Sepuluh November. Surabaya. 121-126