

PENGARUH SUDUT *CHAMFER* TERHADAP *TIMING MELT POINT* PADA PENYAMBUNGAN MATERIAL *MILD STEEL* MENGGUNAKAN LAS GESEK ROTARI

Muhammad Ryan Detra^[1], Yohanes^[2], Ridwan Abdurrahman^[3]

^[1]Mahasiswa Prodi Sarjana Teknik Mesin, ^[2]Laboratorium Teknologi Produksi, ^[3]Jurusan Teknik Mesin
Universitas Muhammadiyah Riau

^[1]muhammad.ryan5907@student.unri.ac.id, ^[2]yohanes_tmessin@yahoo.com

ABSTRACT

Rotary friction welding is a type of friction welding which is a type of solid state welding where the welding process is carried out in a solid phase. The friction welding process occurs as a result of the direct conversion of mechanical energy in the form of friction into thermal energy. This research discusses how the effect of the chamfer angle on the timing melt point and the maximum tensile strength in joining mild steel material with the rotary friction welding method, namely by varying the chamfer angle at 0°, 15°, 30°, 45°, 60°. This research uses analytical and experimental methods to analyze the effect of the chamfer angle on the timing melt point. The results of the analysis show that the greater the chamfer angle, then, longer the timing melt point. The lowest average maximum tensile strength value of the joint results was obtained at the variation of the chamfer angle of 0° is 421.17 Mpa and the highest average maximum tensile strength value of the joint results was obtained at the variation of the chamfer angle 45° is 505.53 Mpa.

Keywords: Rotary Friction Welding, Chamfer, Timing Melt Point

1. Pendahuluan

Pengelasan adalah proses penyambungan logam dan non logam dengan memanaskan material yang akan disambung hingga temperatur las yang dilakukan dengan atau tanpa penekanan, hanya dengan tekanan, atau dengan atau tanpa menggunakan logam pengisi. Pengelasan logam bertujuan untuk membuat suatu barang yang tidak mungkin dilakukan dengan teknik lain kemudian memudahkan pekerjaan, dan menekan biaya produksi [1].

Salah satu bahan yang banyak digunakan dalam industri manufaktur adalah *mild steel*. *Mild steel* tergolong dalam baja karbon dengan elemen paduan besi dan karbon, paduan jenis ini termasuk dalam jenis yang dapat di heat treatment dan mempunyai sifat mampu potong yang cukup baik. Namun dalam perkembangannya penyambungan *mild steel* memiliki banyak permasalahan. Dimana dalam proses penyambungannya membutuhkan logam pengisi sebagai media penyambungannya sehingga kekuatan sambungannya tidak sama dengan logam induknya.

Metode yang dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan ini adalah *rotary friction welding*. Pada *rotary friction welding* proses penyambungan logam terjadi tanpa pencairan (*solid state process*), yang mana proses pengelasan terjadi sebagai akibat penggabungan antara laju putaran salah satu benda kerja dengan gaya tekan yang dilakukan oleh benda kerja yang berputar. Gesekan kedua permukaan benda kerja tersebut akan menghasilkan panas yang dapat melelehkan kedua ujung benda kerja yang bergesekan sehingga mampu

melumerkan dan akhirnya terjadi proses penyambungan.

Beberapa keuntungan dari *rotary friction welding* ini adalah penghematan material, memerlukan waktu yang cepat untuk penyambungan dua material yang sama ataupun berbeda. *Rotary friction welding* juga dapat menyambungkan material berdimensi bulat ataupun tidak bulat. Adapun parameter penting dalam proses pengelasan gesek (*friction welding*) meliputi waktu gesek, tekanan gesek, kecepatan putar, waktu tempa dan tekanan tempa. Faktor lain turut mempengaruhi hasil las adalah sudut *chamfer* [2].

Pada penelitian yang berjudul analisis sifat mekanik dan struktur mikro aluminium paduan seri 6061 hasil pengelasan *friction welding* [3] dengan variasi sudut menyimpulkan bahwa rata-rata *ultimate tensile strength* (UTS) tertinggi terjadi pada pengelasan dengan menggunakan untuk sudut pengelasan 30° adalah 124,3 MPa dan rata-rata *ultimate tensile strength* (UTS) terendah didapat pada pengelasan dengan menggunakan sudut pengelasan 15 ° adalah 49,3 MPa.

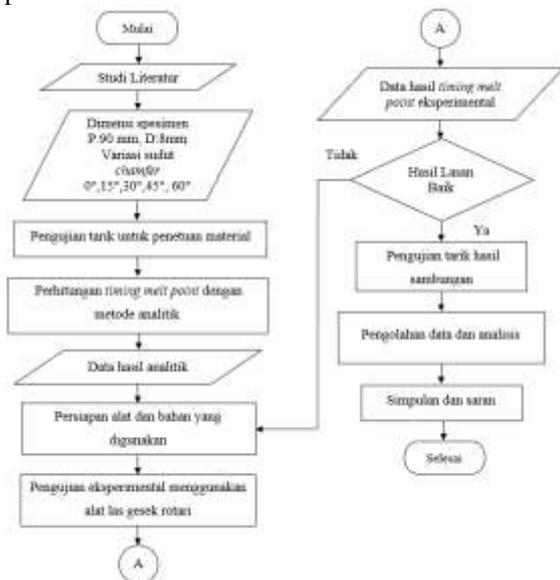
Berdasarkan pengamatan dan penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya, waktu yang tepat untuk memberikan beban *forging* pada pengelasan sangat sulit untuk ditentukan. Keterbatasan alat ukur menjadi salah satu penyebab pengambilan data saat melakukan percobaan menjadi kurang tepat, sehingga banyak hal yang ingin diketahui lagi pada saat pengujian seperti, waktu yang tepat untuk pembebanan *forging* dan temperatur pada saat pengelasan [4].

Untuk itu perlu dilakukan penelitian untuk menentukan *timing melt point* yang tepat pada

penyambungan pada las gesek rotari model *chamfer*. Dimana referensi awal dalam penentuan *timing melt point* yang tepat untuk pemberian beban *forging* menggunakan metode analitik/matematik, hal ini dimaksudkan untuk mengurangi beban biaya jika penentuan *timing melt point* dilakukan secara eksperimental. Kemudian dilakukan pengujian secara eksperimental dengan variasi sudut *chamfer*. Hasil sambungan dilakukan pengujian kekuatan sambungan dengan metode uji tarik untuk mengetahui variasi manakah yang memiliki kualitas sambungan yang terbaik dan mengetahui apakah data *timing melt point* yang didapatkan dari hasil metode analitik/matematik dapat dijadikan referensi pada penyambungan material *mild steel* las gesek rotari yang ditandai dengan nilai kekuatan tarik sambungan yang terbaik.

2. Metodologi

Dalam penelitian ini akan digunakan metode analitik untuk menentukan *timing melt point* sebagai referensi awal saat melakukan pengujian secara eksperimental. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram alir penelitian

2.1 Prosedur Metode Analitik

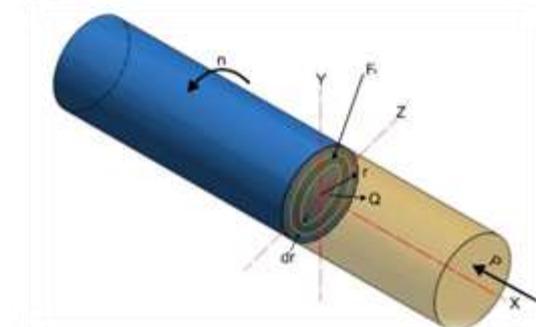
Untuk setiap siklus termodinamika, hukum pertama termodinamika menunjukkan bahwa integral siklik (*cyclic integral*) dari kerja adalah sama dengan integral siklik panas, atau

$$\oint \delta W = \oint \delta Q \quad (1)$$

Ini berarti bahwa kerja netto yang ditransfer dari siklus (ditandai sebagai kerja positif) adalah sama dengan panas total yang diberikan ke siklus (ditandai sebagai aliran panas positif) [5].

Pada penelitian ini, panas ditimbulkan oleh adanya kerja yang terjadi akibat gesekan seperti pada Gambar 2.

Pada Gambar 2 dijelaskan bahwa adanya satu material yang berputar dan material yang lain diam dan diberikan ditekan secara axial (P) dari sumbu x yang mengakibatkan gesekan dipermukaan kedua material tersebut.



Gambar 2 Gaya yang bekerja pada pengelasan gesek rotari

Gesekan yang terjadi mengakibatkan timbulnya panas yang dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu luas permukaan gesek, koefisien gesek kinetic, kecepatan sudut, dan tekanan yang diberikan saat kedua material bergesekan.

Masalah utama dalam pemodelan aliran panas pada fenomena dalam pengelasan gesekan adalah untuk mendapatkan deskripsi akurat dari masukan energi di antarmuka. Pada umumnya torsi yang dibutuhkan untuk memutar poros melingkar relatif dibawah aksi dari tekanan beban aksial yang diberikan dapat dilihat pada persamaan 2 [6].

$$M = \int_0^R dM = \int_0^R \mu P(r) 2\pi r^2 dr = \frac{2}{3} \mu P(r) R^3 \quad (2)$$

Keterangan :

- M = Torsi antarmuka gesekan (Nm)
- μ = Koefisien gesek
- R = Jari-jari permukaan (m)
- P(r) = Distribusi tekanan gesek (Pa)

Distribusi tekanan di seluruh antarmuka. Jika semua gaya geser pada antarmuka diasumsikan diubah menjadi panas gesekan, maka panas rata-rata masukan per satuan luas dan waktu menjadi pada persamaan 3 [6].

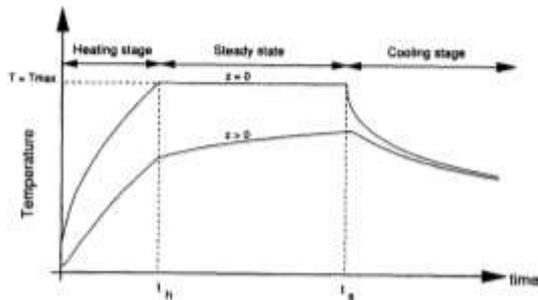
$$\frac{q_0}{A} = \frac{1}{A} \int_0^R \mu P v dA = \frac{1}{A} \int_0^R \frac{\mu P v_{max} r}{R} 2\pi r dr = \frac{2}{3} \mu P v_{max} \quad (3)$$

Keterangan :

- q_0/A = Heat flux (W/mm²)
- P = Tekanan (N/mm²)
- A = Luas penampang gesek (mm²)
- v_{max} = Kecepatan permukaan maksimum di tepi luar permukaan gesek (mm/s)
- μ = Koefisien gesekan

Persamaan 3 memberikan dasar untuk memperkirakan pembangkitan panas pada antarmuka selama pengelasan gesekan dengan tidak disertai dengan adanya peleburan benda kerja.

Model pembangkit panas konstan didasarkan pada model yang dijelaskan oleh [6], model ini menyatakan bahwa pengelasan terdiri dari tiga tahap yaitu proses pemanasan (*heating*), kondisi mapan (*steady state*), dan proses pendinginan (*cooling*) yang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Tiga tahap pengelasan gesekan (pemanasan, kondisi tunak, dan pendinginan)

Selama tahap pemanasan, suhu antarmuka pengelasan meningkat dari suhu lingkungan ke suhu internal maksimum pengelasan. Waktu yang dibutuhkan antarmuka pengelasan untuk mencapai suhu maksimum dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 4 [6].

$$t_h = \left[\frac{(T_{max} - T_0) \times (\rho c_p \sqrt{\pi \alpha})}{\frac{q_0}{A}} \right]^2 \quad (4)$$

Keterangan :

- t_h = Timing melt point (s)
- T_{max} = Temperatur maksimum (°C)
- T_0 = Temperatur awal (°C)
- α = Termal diffusivitas (mm²/s)
- ρ = Massa jenis (kg/mm³)
- c_p = Panas Spesifik (J/kg.K)
- q_0/A = Heat flux (W/mm²)

Selama tahap kondisi tunak, suhu antarmuka pengelasan diasumsikan konstan. Dimana temperatur maksimal pada *friction welding* adalah 2/3 dari temperatur melting benda kerja. Oleh karena itu, temperatur benda kerja atas dipertahankan konstan sampai akhir pengelasan saat tenaga dipindahkan dari motor las [7].

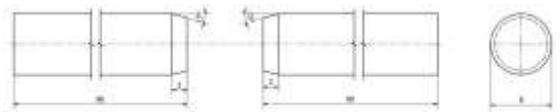
2.2 Prosedur Metode Eksperimental

Pada penelitian ini dilakukan penyambungan material *mild steel* dengan ukuran panjang 90 mm dan diameter 8 mm.

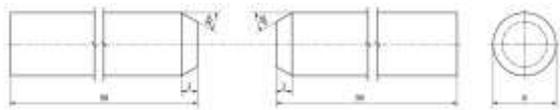
Proses penyambungan dilakukan dengan memvariasikan sudut *chamfer* pada permukaan gesek benda kerja yang akan disambungkan. Terdapat 5 variasi sudut *chamfer* yaitu 0°, 15°, 30°, 45°, 60° yang dapat dilihat pada Gambar 4, Gambar 5, Gambar 6, Gambar 7, dan Gambar 8.



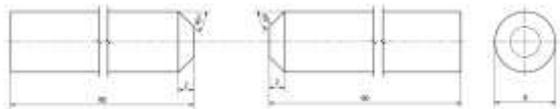
Gambar 4 Dimensi benda kerja sudut *chamfer* 0°



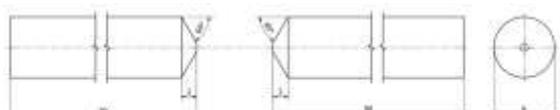
Gambar 5 Dimensi benda kerja sudut *chamfer* 15°



Gambar 6 Dimensi benda kerja sudut *chamfer* 30°



Gambar 7 Dimensi benda kerja sudut *chamfer* 45°



Gambar 8 Dimensi benda kerja sudut *chamfer* 60°

Proses penyambungan dilakukan dengan menggunakan metode las gesek rotari dengan beban gesek yang diberikan sebesar 0,04 N/mm² dan beban *forging* yang diberikan sebesar 0,06 N/mm² selama 3 detik. Kecepatan putaran pada proses penyambungan adalah sebesar 368 rpm.

Pada saat proses penyambungan benda kerja dengan metode las gesek rotari, temperatur pada permukaan gesek diukur menggunakan termokopel agar *timing melt point* dapat diketahui dengan baik sehingga waktu pemberian beban *forging* dapat dilakukan dengan akurat seperti pada Gambar 9.



Gambar 9 Proses penyambungan benda kerja dengan metode las gesek rotari

Setelah benda kerja telah tersambung, maka benda kerja dibiarkan pada temperatur lingkungan hingga temperatur pada benda kerja sama dengan temperatur lingkungan secara perlahan.

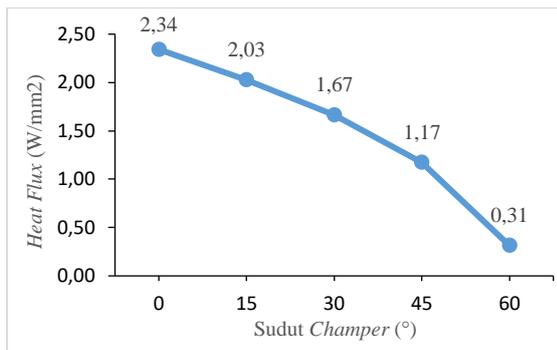
3. Hasil dan Pembahasan

Hasil data dari pengujian ini didapatkan dengan menggunakan data menggunakan metode analitik dan secara langsung pada saat pengujian secara eksperimental.

3.1 Data Hasil Analitik

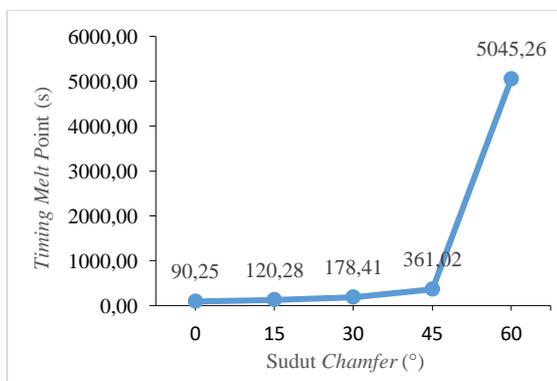
Sebelum melakukan pengujian secara eksperimental maka perlu dilakukan analisa awal dengan metode analitik untuk mendapatkan referensi awal sebelum melakukan pengujian secara eksperimental.

Nilai *timing melt point* dapat dihitung menggunakan persamaan 3, hasil perhitungan dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10 Grafik data *heat flux* metode analitik

Pada Gambar 10 diketahui hubungan antara sudut *chamfer* dan nilai *heat flux* saat proses pengelasan dengan tekanan gesek sebesar 0,04 N/mm² yaitu berbanding terbalik dimana semakin besar sudut *chamfer* maka semakin kecil nilai *heat flux* yang dihasilkan saat proses pengelasan dengan tekanan gesek 0,04 N/mm², dimana nilai *heat flux* terbesar terdapat pada variasi sudut *chamfer* 0° dengan nilai 2,34 W/mm² dan nilai *heat flux* paling kecil bernilai 0,31 W/mm².



Gambar 11 Grafik data *timing melt point* metode analitik

Pada Gambar 11 diketahui hubungan antara sudut *chamfer* dan durasi gesek yaitu berbanding lurus dimana semakin besar sudut *chamfer* maka semakin lama pula waktu yang dibutuhkan untuk benda kerja mencapai titik lelehnya, hal ini

disebabkan karena semakin kecilnya nilai *heat flux* yang dihasilkan karena luas permukaan yang bergesekan dan kecepatan permukaan maksimum di tepi luar bidang gesek yang semakin lambat sehingga panas yang dihasilkan pun semakin sedikit yang menyebabkan waktu yang dibutuhkan untuk menyambungkan benda kerja menjadi semakin lama.

Pada data hasil analisa *timing melt point* menggunakan metode analitik diketahui bahwa pada sudut *chamfer* 60° memiliki *timing melt point* hingga 5045,26 detik, dimana hal ini tidak mungkin untuk dilakukan pengujian secara eksperimental, sehingga untuk pengujian eksperimental hanya akan dilakukan dengan empat variasi sudut *chamfer* yaitu 0°, 15°, 30°, 45°

3.2 Data Hasil Eksperimental

Hasil sambungan material *mild steel* dengan metode las gesek rotari dapat dilihat pada Gambar 12, Gambar 13, Gambar 14, dan Gambar 15.



Gambar 12 Hasil sambungan sudut *chamfer* 0°



Gambar 13 Hasil sambungan sudut *chamfer* 15°



Gambar 14 Hasil sambungan sudut *chamfer* 30°



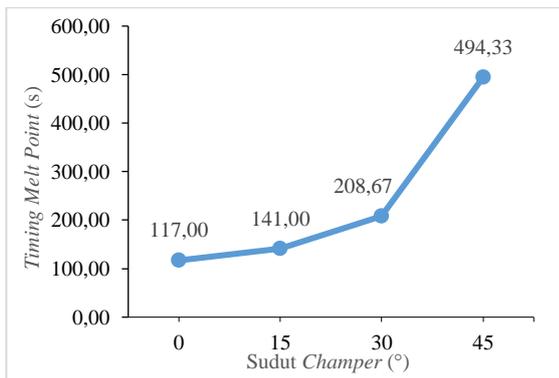
Gambar 15 Hasil sambungan sudut *chamfer* 45°

Pada pengujian secara eksperimental, benda kerja yang diujikan yaitu penyambungan material *mild steel* dengan metode las gesek rotari dengan variasi sudut *chamfer* 0°, 15°, 30°, 45°. Dimana waktu *forging* pada saat pengelasan diberikan selama 3 detik saat benda kerja telah mencapai titik leleh nya. Data hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Data hasil pengujian eksperimental

Sudut Chamfer (°)	Percobaan	Tekanan Gesek (N/mm ²)	T ₀ (s)	Temperatur (°C)	Tekanan Forging (N/mm ²)	T ₁ (s)	Panjang Spesimen (mm)		Total Waktu (s)
							Awal	Akhir	
0°	1	0,04	118	1066	0,06	3	180	178,9	119
	2	0,04	118	1068	0,06	3	180	171,2	121
	3	0,04	117	1069	0,06	3	180	177,5	120
	Rata-rata		117,0	1067,7		3	180,0	172,2	120,0
15°	1	0,04	140	1064	0,06	3	180	171,1	143
	2	0,04	144	1067	0,06	3	180	169,7	147
	3	0,04	139	1066	0,06	3	180	171,5	142
	Rata-rata		141,0	1066,3		3	180	170,8	144,0
30°	1	0,04	209	1025	0,06	3	180	168,7	212
	2	0,04	210	1063	0,06	3	180	169,2	213
	3	0,04	207	1012	0,06	3	180	170,3	210
	Rata-rata		208,7	1013,3		3	180	169,4	211,7
45°	1	0,04	499	1023	0,06	3	180	165,5	502
	2	0,04	491	1015	0,06	3	180	168,2	494
	3	0,04	493	1022	0,06	3	180	169,1	496
	Rata-rata		494,3	1020,0		3	180	167,6	497,3

Pada Tabel 1 diketahui bahwa pemberian sudut *chamfer* mempengaruhi *timing melt point* pada penyambungan material *mild steel* pada las gesek rotari. Grafik rata-rata *timing melt point* terhadap sudut *chamfer* dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 16 Hubungan antara sudut *chamfer* vs *timing melt point* metode eksperimental

3.3 Perbandingan *Timing melt point* Metode Analitik dan Eksperimental

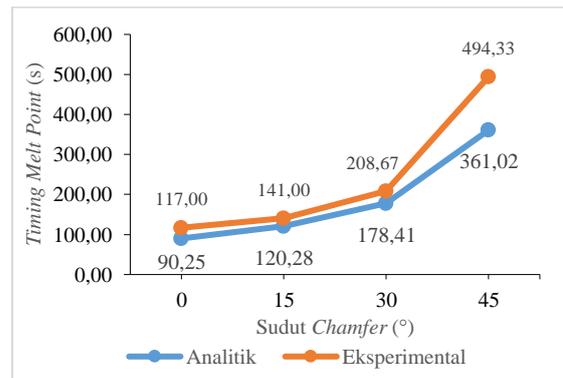
Pembahasan ini dilakukan untuk mengetahui apakah dengan perhitungan metode analitik dapat digunakan sebagai referensi dalam *timing* pemberian beban *forging* dalam penyambungan material *mild steel* dengan metode las gesek rotari. Perbandingan antara data perhitungan *timing melt point* dengan metode analitik dengan metode eksperimental dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 *Timing melt point* metode analitik dan eksperimental

Percobaan	Sudut Chamfer (°)	Tekanan Gesek (N/mm ²)	Temperatur (°C)	Heat Flux (W/mm ²)	Timing melt point (s)		Error (%)
					Analitik	Eksperimental	
1	0	0,04	1006	2,34	90,25	116	22,19
2			118			23,51	
3			117			22,86	
1	15	0,04	1004	2,03	120,28	140	14,09
2			144			16,47	
3			139			15,47	
1	30	0,04	1025	1,67	178,41	209	14,65
2			210			15,04	
3			207			13,81	
1	45	0,04	1023	1,17	361,02	499	27,65
2			491			26,47	
3			493			26,77	

Pada Tabel 2 diketahui perbandingan nilai *timing melt point* menggunakan metode analitik dan metode eksperimental didapatkan error antara 14,09% - 27,65%.

Perbedaan antara waktu dari pengujian dan perhitungan awal diakibatkan oleh beberapa faktor yaitu data temperatur awal material dinyatakan dalam bentuk asumsi saat melakukan perhitungan dengan metode analitik, dan juga beberapa *properties thermal* material yang berbeda, karena kejelasan tentang tipe material juga tidak pasti. Untuk itu perbedaan tersebut dinyatakan dalam persentase error pengujian dan perhitungan dengan metode analitik seperti pada Gambar 17.



Gambar 17 Grafik *timing melt point* rata-rata metode analitik dan eksperimental

3.4 Data Hasil Uji Tarik

Benda kerja yang telah tersambung dengan baik dibentuk sesuai dengan standar ASTM-E8M [8]. Spesimen yang akan diuji hasil sambungannya dapat dilihat pada Gambar 18.



Gambar 18 Spesimen dengan standar ASTM-E8M

Hasil patahan dari hasil uji tarik dari hasil sambungan las gesek rotari dapat dilihat pada Gambar 19, Gambar 20, Gambar 21, Gambar 22.

Pada hasil pengujian sambungan sudut *chamfer* 0° diketahui bahwa daerah patahan pada ketiga spesimen berada pada sambungan las. Hasil patahan dapat dilihat pada Gambar 19.



Gambar 19 Hasil uji tarik sambungan las gesek rotari variasi sudut *chamfer* 0°

Pada hasil pengujian sambungan sudut *chamfer* 15° diketahui bahwa daerah patahan spesimen 1 dan 3 berada pada sambungan las, sedangkan pada spesimen 2 patahan berada pada luar daerah sambungan las. Hasil patahan dapat dilihat pada Gambar 20.



Gambar 20 Hasil uji tarik sambungan las gesek rotari variasi sudut *chamfer* 15°

Pada hasil pengujian sambungan sudut *chamfer* 30° diketahui bahwa daerah patahan pada spesimen 1 dan 3 berada pada luar sambungan las, sedangkan pada spesimen 2 patahan berada pada daerah sambungan las. Hasil patahan dapat dilihat pada Gambar 21.



Gambar 21 Hasil uji tarik sambungan las gesek rotari variasi sudut *chamfer* 30°

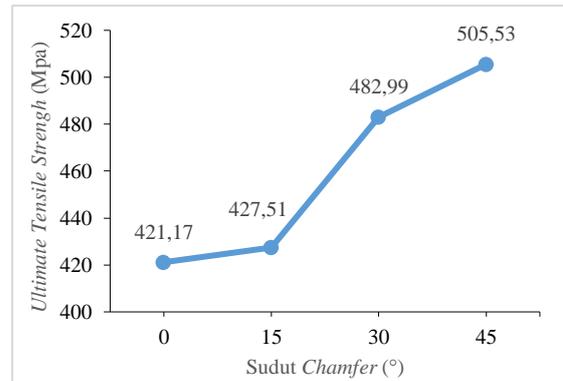
Pada hasil pengujian sambungan sudut *chamfer* 45° diketahui bahwa daerah patahan spesimen 1 dan 3 berada pada luar sambungan las, sedangkan pada spesimen 2 patahan berada pada daerah sambungan las. Hasil patahan dapat dilihat pada Gambar 22.



Gambar 22 Hasil uji tarik sambungan las gesek rotari variasi sudut *chamfer* 45°

Dari hasil patahan yang didapatkan diketahui bahwa semakin besar sudut *chamfer* maka semakin ulet hasil patahan yang didapatkan. Dimana hal menandakan bahwa hasil sambungan las gesek rotari yang semakin baik.

Data hasil pengujian tarik rata-rata dari semua spesimen yang telah diujikan dapat dilihat pada Gambar 23.



Gambar 23 Grafik kekuatan tarik maksimum rata-rata spesimen pengelasan

Pada Gambar 23 diketahui bahwa variasi pemberian sudut *chamfer* mempengaruhi nilai kekuatan tarik maksimum dari hasil pengelasan, dimana hubungan yang dapat ditarik adalah semakin besar sudut *chamfer* maka semakin tinggi pula kekuatan tarik hasil sambungannya. Hal ini dikarenakan variasi pemberian sudut *chamfer* mempengaruhi proses pengelasan dimana seperti diketahui semakin besar sudut *chamfer* maka semakin kecil luas penampang yang bergesekan untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan untuk proses penyambungan las gesek rotari yang mengakibatkan *timing melt point* yang dibutuhkan semakin lama, sehingga proses pengerjaan panas yang berlangsung selama proses pengelasan menjadi semakin lama yang menyebabkan kekutan tarik maksimum rata dengan variasi sudut *chamfer* 45° menjadi lebih tinggi dibandingkan dengan variasi sudut *chamfer* lainnya dengan nilai kekuatan tarik terendah adalah pada variasi sudut *chamfer* 0°.

4. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pada penelitian ini diketahui bahwa semakin besar sudut *chamfer* maka semakin lama *timing melt point* untuk pemberian beban *forging* pada penyambungan material *mild steel* dengan metode las gesek rotari. Pada penelitian ini menunjukkan persentase error *timing melt point* dengan metode analitik dan eksperimental terkecil pada sudut *chamfer* 30° yaitu dengan nilai rata-rata sebesar 13,07% dan persentase error terbesar pada sudut *chamfer* 45° yaitu dengan nilai rata-rata sebesar 26,86%
2. Pada penelitian ini diketahui bahwa semakin besar sudut *chamfer* maka semakin besar nilai kekuatan tarik yang didapatkan dari hasil sambungan dengan metode las gesek rotari. Nilai kekuatan tarik maksimum rata-rata terendah hasil sambungan didapatkan pada variasi sudut *chamfer* 0° yaitu 421,17 Mpa dan nilai kekuatan tarik maksimum rata-rata

tertinggi hasil sambungan didapatkan pada variasi sudut *chamfer* 45° yaitu 505,53 Mpa.

Daftar Pustaka

- [1] Marshall, P. W. 1989. Designing Tubular Connections With Aws (American Welding Society) D1. 1.
- [2] Imawan, B. Irawawan, Y. S dan Soenoko, R, 2003. Pengaruh Sudut *Chamfer* dan Kekasaran Permukaan Terhadap Kekuatan Tarik Sambungan Las Gesek Al-Mg-Si. *Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Jurnal Mahasiswa Mesin. Volume V No: 021.8.1.04.*
- [3] Gama, A. P. 2013. Analisis Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Alumunium Paduan Seri 6061 Hasil Pengelasan Friction Welding Dengan Variasi Sudut. repository.unej.ac.id
- [4] Sandri, D. V. Yohanes. 2018. Studi eksperimental pengaruh penambahan flywheel pada sistem penggerak mesin las gesek rotari terhadap hasil pengelasan material *mild steel* dengan stainless steel 201. JOM FTEKNIK (5) 2018
- [5] Bergman, T. L., Incropera, F. P., DeWitt, D. P., & Lavine, A. S. 2011. Fundamentals of heat and mass transfer. John Wiley & Sons.
- [6] Livingston, R. V. 2019. Comparison of Heat Generation Models in Finite Element Analysis of Friction Welding.
- [7] Kolarik, L., Janovcc J, M. Kolarikova dan P. Nachtnebl. 2015. Influence of Diffusion Welding Time on Homogenous Steel Joints. *Procedia Engineering* 1678 – 1685.
- [8] ASTM E8/E8M-11. 2012. Standard Test Methods For Tension Testing Of Metallic Materials. USA