

OPTIMASI SAMBUNGAN *ROTARY FRICTION WELDING* (RFW) PADA ALUMINIUM 4017 DENGAN VARIASI BENTUK PROFIL SAMBUNGAN

Yustiasih Purwaningrum, Fathurahman Fatha, Aldino Data Pratama

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia

Jl. Kaliurang Km 14,5 Ngemplak Sleman Yogyakarta 55582

Email: yustiasih.purwaningrum@uii.ac.id

Abstrak

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menyambung material berbentuk silinder pejal adalah dengan pengelasan Rotary Friction Welding (RFW). Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi bentuk profil sambungan terhadap sifat fisik dan mekanik hasil las RFW. Material yang digunakan adalah aluminium seri 4017 dengan variasi profil sambungan yang digunakan adalah chamfer, rata, dan penutup. Pengelasan RFW dilakukan menggunakan mesin bubut dengan kecepatan putar spindle 1170 RPM dan jarak penekanan 10 mm. Hasil pengamatan metallografi menunjukkan sambungan las tersambung dengan baik untuk semua variasi bentuk profil sambungan. Pengamatan metallografi menunjukkan strukturmikro hasil las RFW untuk semua variasi profil sambungan mempunyai bentuk dan ukuran yang sama. Hal tersebut disebabkan karena las RFW merupakan pengelasan solid state yang mempunyai temperatur pengelasan lebih kecil dibandingkan dengan temperatur kritis material induknya. Untuk profil sambungan chamfer struktur mikronya cenderung lebih gelap. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil las RFW yang paling optimal adalah sambungan chamfer karena mempunyai sifat mekanik terbaik dan waktu pengerjaan paling singkat. Hasil pengujian tarik menunjukkan nilai kekuatan tarik sambungan las dengan profil bentuk chamfer mempunyai nilai paling tinggi yaitu 106.31 Mpa. Nilai tersebut lebih tinggi sekitar 59 % jika dibandingkan dengan bentuk profil penutup. Sedangkan hasil pengujian kekerasan menunjukkan nilai kekerasan tertinggi terdapat pada hasil las dengan bentuk profil penutup diikuti oleh profil rata, dan nilai terendah terdapat pada profil chamfer. Hal tersebut menunjukkan bahwa hasil las dengan variasi profil chamfer mempunyai sifat kuat dan ulet karena mempunyai kekuatan tarik tinggi, regangan tinggi dan kekerasan rendah.

Kata kunci: Rotary Friction Welding, Aluminium, Profil Sambungan

Pendahuluan

Rotary Friction Weld (RFW) adalah salah satu jenis pengelasan *solid state* yaitu pengelasan yang proses penyambungannya terjadi dibawah titik leleh dari material yang akan disambung serta tidak memerlukan logam pengisi (*filler*). Proses penyambungan terjadi karena gesekan dan tekanan dari logam yang akan disambung. Detail dan parameter proses dari proses RFW dijelaskan oleh Norman dkk (2015) pada dasarnya, satu bahan ditempatkan stasioner sedangkan bahan lainnya diputar dengan menggunakan tekanan aksial. Energi panas dan deformasi plastis (abrasi) dihasilkan dalam fase rotasi dan gesekan serta interdifusi kimia terjadi pada fase penempaan (Meisnar, dkk, 2017). Kelebihan hasil las RFW disebabkan karena siklus thermalnya (Alves dkk, 2012 dan Taysom, dkk, 2019) yaitu berkurangnya cacat saat proses solidifikasi pemadatan serta penyusutan yang mungkin terjadi pada pengelasan fusi, dan dapat mengurangi daerah HAZ (Bouarroudj, dkk, 2017 dan Li, dkk, 2017). Selain itu kelebihan hasil las RFW adalah ramah lingkungan karena tidak menghasilkan asap, gas atau asap, konsumsi energi rendah, konsisten dan dapat dilakukan berulang sehingga sesuai untuk produksi massal, tidak memerlukan logam pengisi dan gas pelindung, dapat menyambung logam dissimilar, serta porositas rendah (Muralimohan dkk, 2014). Selain itu las RFW juga dapat digunakan untuk menyambung poros pejal yang sulit untuk disambung dengan metode pengelasan yang lain. Las RFW banyak digunakan untuk pembuatan batang piston, poros turbin, komponen-komponen otomotif dan alat potong.

Aluminium seri 4xxx mempunyai sifat ketahanan korosi yang baik, ringan, koefisien pemuaian kecil, dan mempunyai sifat penghantar panas dan listrik yang baik. Paduan seri ini bersifat non *heat treatable*. Karena sifatnya yang ringan, paduan aluminium maupun penggabungan aluminium dengan baja (*dissimilar*) banyak digunakan sebagai komponen otomotif. Massa otomotif yang lebih ringan akan mengurangi konsumsi bahan bakar (Torkamany, M.J. et al., 2009)

Penelitian RFW dengan variasi *chamfer* telah dilakukan oleh Partomoan dkk (2016) dan Wicaksono dkk (2017). Panjang *chamfer* berpengaruh terhadap kekuatan tarik baja *mild steel* berbentuk silinder pejal. Sedangkan untuk panjang *chamfer* yang sama, kekuatan tarik akan meningkat dengan semakin kecilnya sudut *chamfer* (Partomoan 2016). Hasil pengelasan RFW pada aluminium 6061 dengan sudut *chamfer* 30 dan waktu gesekan 120 detik mempunyai nilai kekuatan tarik tertinggi yaitu 15.86 Kgf / mm² dibandingkan dengan waktu gesek 60 dan 90 detik. Pada hasil las RFW dengan waktu gesek 60 detik terjadi retakan karena panas las kurang sehingga sambungan belum terbentuk dengan baik (Wicaksono, dkk, 2017). Penelitian lain menunjukkan hasil las RFW dengan menggunakan kecepatan rotasi 1169 rpm mempunyai nilai rata-rata kekuatan tarik lebih besar dibandingkan dengan hasil las dengan kecepatan putar 867 rpm dan 1670 rpm (Setyawan dan Dwilaksana, 2014).

Metode Penelitian

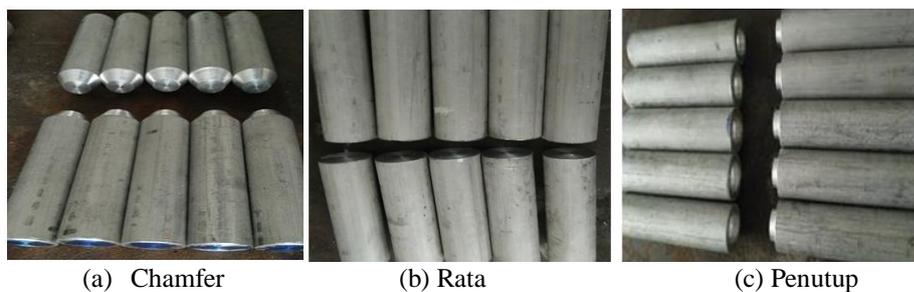
Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah Aluminium seri 4017 berbentuk silinder pejal dengan diameter 16 mm (gambar 1) dan panjang 60 mm. Komposisi kimia Aluminium 4017 dapat terlihat pada Tabel 1. Variasi proses las RFW yang dilakukan adalah bentuk profil sambungan. Profil sambungan yang digunakan adalah profil *chamfer*, rata dan penutup (Gambar 2).



Gambar 1. Silinder pejal aluminium 4017

Tabel 1. Komposisi kimia Aluminium 4017

Aluminium	Mg	Si	Fe	Cu	Cr	Zn	Mn	Ti
4017	0.1964%	0,62%	0.3417%	0.175%	0.0663%	0.075%	0.0273%	0.0214%



(a) Chamfer

(b) Rata

(c) Penutup

Gambar 2. Bentuk Profil Sambungan

Proses pengelasan RFW dilakukan dengan menggunakan mesin bubut dengan kecepatan putar *spindle* 1170 dan jarak penekanan 10 mm dengan rincian penekanan sepanjang 7 mm diberikan saat *spindle* berputar konstan dan 3 mm diberikan saat *spindle* berhenti. Tekanan dilakukan secara manual. Putaran *spindle* diukur dengan menggunakan *tachometer*. Dalam proses RFW, laju panas las tergantung dengan gesekan yaitu tekanan gesekan, koefisien gesekan dan parameter lain. Nilai panas las dapat dihitung menggunakan rumus:

$$dq = 2\pi P\mu\omega r^2 dr \quad (1)$$

Dengan q = panas las, P = tekanan, μ = koefisien gesek, ω = kecepatan angular dan r adalah jari-jari. Pada saat proses las RFW, dilakukan pengukuran waktu dan temperatur. Hasil pengukuran terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Waktu dan Temperatur rata-rata Proses Las RFW

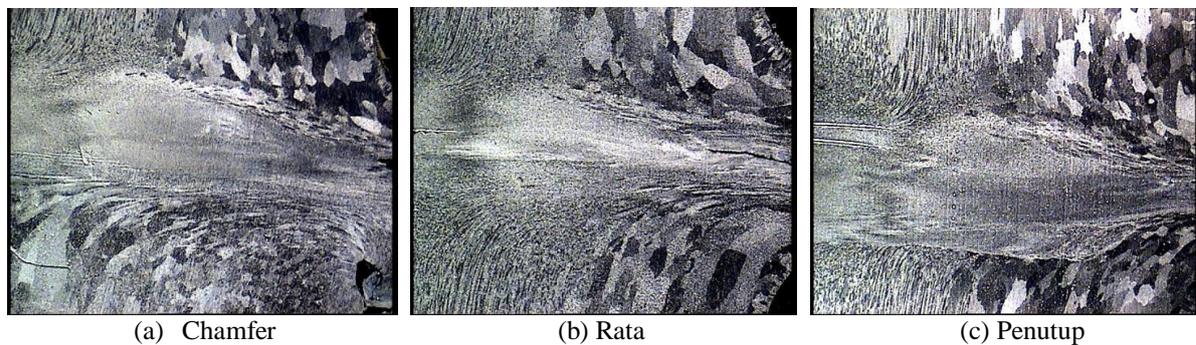
Profil Sambungan	Waktu (s)	Temperatur (°C)
Chamfer	38,77	101,80
Rata	52,68	113,80
Penutup	66,58	125,33

Proses pengujian yang dilakukan adalah pengujian tarik dan pengujian *bending* dengan menggunakan *Universal Testing Machine*, pengujian kekerasan dengan menggunakan *Vickers Microhardness* dan pengamatan *metallografi* (fotomakro dan struktur mikro) dengan menggunakan mikroskop optik.

Hasil dan Pembahasan

a. Pengamatan Metallografi

Pengamatan metallografi dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik. Pengamatan yang dilakukan meliputi pengamatan fotomakro dan struktur mikro. Hasil pengamatan fotomakro (Tabel 3) menunjukkan bahwa sambungan las pada semua variasi bentuk profil tersambung dengan baik.



Gambar 3. Fotomakro hasil las RFW

Tabel 3. Strukturmikro Hasil Las RFW

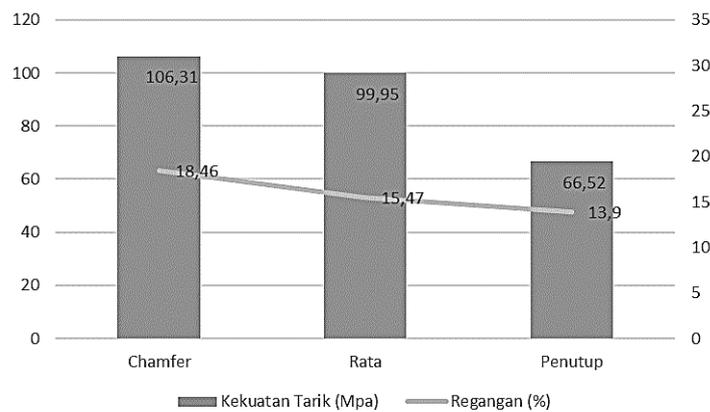
	Logam Induk	HAZ	Las
Chamfer			
Rata			
Penutup			

Pengamatan strukturmikro dilakukan pada 3 daerah yaitu daerah logam induk, daerah HAZ (*Heat Affected Zone*) dan daerah las. Proses pengamatan dilakukan dengan menggunakan pembesaran 200x. Tabel 3 menunjukkan

hasil pengelasan pada semua daerah pengelasan untuk semua variasi bentuk profil mempunyai struktur mikro dengan bentuk yang sama. Hal tersebut disebabkan karena proses pengelasan tidak mencapai temperature kritis sehingga tidak terjadi perubahan struktur mikro. Selain itu las RFW tidak menggunakan logam pengisi (*filler*) dan gas pelindung. Struktur mikro hasil las RFW dengan bentuk profil penutup mempunyai warna paling terang sedangkan bentuk profil chamfer mempunyai warna lebih gelap. Hal tersebut berhubungan dengan nilai kekerasannya. Semakin terang warna struktur mikro maka semakin tinggi nilai kekerasannya.

b. Pengujian Tarik

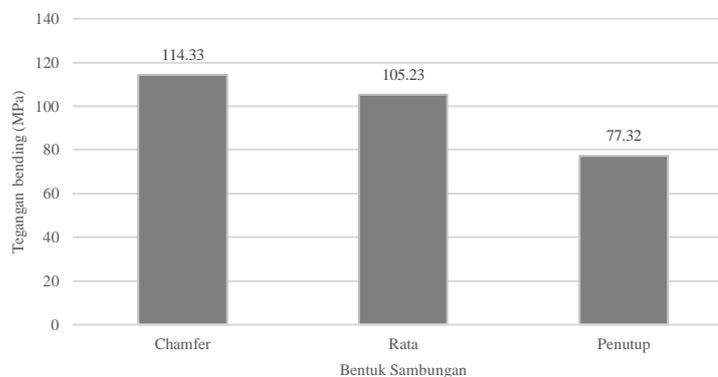
Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui tegangan tarik dan regangan hasil las RFW dengan variasi bentuk profil sambungan. Pengujian tarik dilakukan sebanyak 3 kali untuk setiap variasi bentuk profil sambungan. Hasil pengujian kekuatan tarik hasil las RFW seperti terlihat pada gambar 4 menunjukkan bahwa sambungan dengan bentuk *chamfer* mempunyai nilai tertinggi yaitu 106,31 MPa. Nilai kekuatan tarik sambungan las dengan bentuk sambungan rata mempunyai nilai 99,95 MPa, sedangkan kekuatan tarik sambungan las dengan bentuk sambungan penutup mempunyai nilai terendah yaitu 66,52 MPa. Nilai tersebut sekitar 62,52 % dibandingkan dengan bentuk sambungan *chamfer*. Nilai regangan yang didapat dari hasil pengujian sebanding dengan nilai kekuatannya. Semakin tinggi nilai kekuatannya semakin tinggi juga nilai regangannya. Hal tersebut menunjukkan material bersifat kuat dan ulet.



Gambar 4. Hasil Pengujian Tarik

c. Pengujian Bending

Pengujian *bending* dilakukan dengan menggunakan metode *three point bending*. Penentuan jarak titik tumpu dalam pengujian bending ini dibuat mengacu pada *manual book of ASTM standards 2003* dengan standar ASTM E290. Hasil pengujian bending dapat terlihat pada gambar 5. Nilai bending tertinggi terdapat pada profil chamfer dengan nilai 114,33 MPa, diikuti oleh profil rata dan nilai terendah terdapat pada sambungan dengan profil penutup.



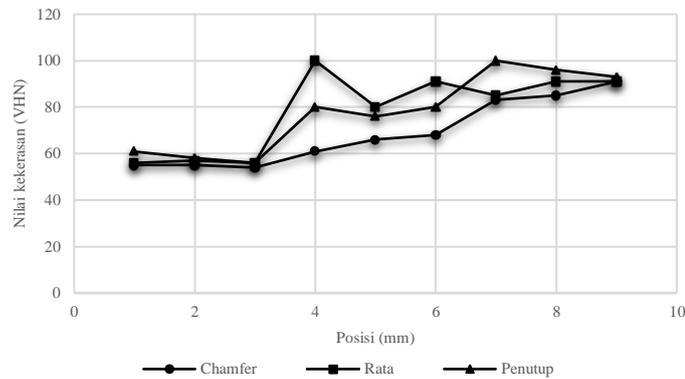
Gambar 5. Hasil Pengujian Bending

d. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan dengan metode *Vickers Microhardness*. Pengujian dilakukan pada semua daerah hasil pengelasan yaitu logam induk, daerah HAZ dan daerah las. Hasil pengujian (Gambar 6) menunjukkan

nilai kekerasan tertinggi terdapat pada daerah las, diikuti daerah HAZ, dan nilai kekerasan terendah terdapat pada daerah logam induk untuk semua variasi bentuk sambungan las. Nilai kekerasan logam induk untuk semua variasi bentuk sambungan las relatif sama karena material yang digunakan sama dan panas pengelasan tidak berpengaruh pada daerah logam induk.

Nilai kekerasan pada hasil las RFW dengan bentuk profil sambungan penutup mempunyai nilai tertinggi jika dibandingkan dengan bentuk profil sambungan *chamfer* dan rata baik di daerah HAZ maupun daerah las. Jika dilihat dari hasil pengujian kekerasan dan pengujian yang lain (kekuatan tarik dan ketangguhan) maka sifat dari sambungan las dengan profil sambungan penutup bersifat getas.



Gambar 6. Hasil Pengujian Kekerasan (VHN)

Kesimpulan

Dari hasil penelitian variasi bentuk profil sambungan yaitu chamfer, rata dan penutup pada las RFW aluminium 4017 dapat disimpulkan bahwa :

1. Sambungan las RFW untuk semua variasi bentuk profil dapat tersambung dengan baik. Waktu yang dibutuhkan untuk menyambung profil *chamfer* pada las RFW adalah 38,77 detik, sedangkan waktu untuk menyambung profil rata dan profil penutup memerlukan waktu lebih lama yaitu 52,68 detik dan 66,58 detik.
2. Hasil pengujian tarik menunjukkan nilai kekuatan tarik terbesar terdapat pada hasil las RFW dengan bentuk profil *chamfer* dengan nilai 106,31 MPa. Sedangkan sambungan dengan profil rata mempunyai nilai lebih rendah 5,98 % dibandingkan dengan bentuk profil *chamfer*.
3. Nilai rata-rata kekerasan tertinggi terdapat pada hasil las RFW dengan bentuk profil sambungan penutup baik pada daerah HAZ, TMAZ dan daerah las.
4. Nilai kekuatan bending hasil las RFW dengan variasi bentuk profil sambungan sebanding dengan nilai kekuatan tariknya. Nilai tertinggi pada bentuk profil *chamfer*, diikuti profil rata, dan nilai terendah terdapat pada bentuk profil penutup.

Daftar Pustaka

- Alves E.P., Neto F.P., An C.Y., da Silva E.C., (2012) "Experimental determination of temperature during rotary friction welding of AA1050 aluminum with AISI 304 stainless steel" *Journal Aerospace Technology Management* Vol.4 (1) pp. 61–68
- Bouarroudj E.-o., Chikh S., Abdi S., Miroud D., (2017) "Thermal analysis during a rotational friction welding" *Application Thermal Engineering* vol 110 pp 1543–1553
- Li P., Li J., Dong H., (2017) "Analytical description of heat generation and temperature field during the initial stage of rotary friction welding, *Journal Manufacturing Processes* vol 25
- Meisnar M., Baker S., Bennett J.M., Bernad A., Mostafa A., Resch S., Fernandes N., Norman A., (2017) "Microstructural characterisation of rotary friction welded AA6082 and Ti-6Al-4V dissimilar joints", *Materials and Design* vol.132 pp.188–197
- Muralimohan C., Muthupandi V., Sivaprasad K., (2014) "Properties of friction welding titanium-stainless steel joints with a nickel interlayer", *Procedia Materials Science* vol.5 pp.1120–1129
- Norman A., Bernad A., (2015), "Development of aluminium-titanium tube joints for space propulsion systems", *6th Eur. Conf. Aeronaut. Sp. Sci*

- Partomuan, P., (2016) “Pengaruh Variasi Bentuk Permukaan Forging Sambungan Las Gesek Rotary terhadap Kekuatan Tarik Baja Mild Steel.” *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Riau* 3, no. 2 pp.1–5.
- Setyawan F.W., dan Dwilaksana D. (2014) “Analisis Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Aluminium Paduan Al-Mg-Si Hasil Pengelasan Friction Welding Dengan Variasi Kecepatan Putar.” *ROTOR*, no. 2 pp. 1-4
- Taysom B.S.B., (2019) ”*Controlling Weldment Properties through Process Control in Rotary Friction Welding*” Ph.D. thesis, Brigham Young University
- Torkamany, M.J., S. Tahamtan , and J. Sabbaghzadeh. (2009) “Dissimilar welding of carbon steel to 5754 aluminum alloy by Nd:YAG pulsed laser” , *Material & Design*, Volume 32, pp. 458-459.
- Wicaksana, H., Mulyadi S., dan Syuhri A.,(2017) “Sifat mekanik dan struktur mikro sambungan las aluminium 6061 hasil friction welding” , *Rotor*,; Vol 9 No 1