

PENGARUH VARIASI KECEPATAN PUTAR DAN KEDALAMAN PIN TERHADAP KEKUATAN TARIK, KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO HASIL *FRICCTION STIR WELDING* MATERIAL ALUMINIUM 5052

Evan Pradana*, Viktor Naubnome dan Kardiman

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Singaperbangsa Karawang
Jl. HS. Ronggo Waluyo, Puseurjaya, Telukjambe Timur, Karawang, Jawa Barat 41361.
Email: 1810631150072@student.unsika.ac.id

Abstrak

Friction Stir Welding adalah proses penyambungan dua buah logam yang memanfaatkan gesekan dari tool yang berputar dengan benda kerja sehingga menghasilkan panas yang mampu melelehkan benda kerja yang diam tersebut dan akhirnya tersambung menjadi satu. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen, dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh kedalaman pin dan kecepatan rotasi alat pin *Friction Stir Welding* terhadap sifat mekanik aluminium. Proses pengelasan dilakukan pada bahan Aluminium 5052 dengan dimensi panjang 150 x lebar 55mm. Parameter yang digunakan adalah variasi kecepatan putar 910 rpm, 1500 rpm, dan 2280 rpm, variasi kedalaman pin 3 mm, 4 mm, 4,8 mm. Pengujian mekanis yang dilakukan yaitu uji tarik, uji kekerasan Vickers dan pengamatan struktur mikro menggunakan mikroskop optik. Dari penelitian ini menunjukkan bahwa semakin cepat kecepatan putar kekuatan tarik semakin meningkat, sedangkan, semakin besar kedalaman pin kekuatan tarik semakin menurun. Semakin besar kecepatan putar dan kedalaman pin, nilai kekerasan menurun.

Kata kunci: *Friction Stir Welding*, kecepatan putar, kedalaman pin

PENDAHULUAN

Proses pengelasan dikelompokkan menjadi dua, yaitu : *Liquid State Welding* (LSW) dan *Solid State Welding* (SSW). *Liquid State Welding* (LSW) adalah proses pengelasan logam dengan cara mencairkan dua buah logam induk secara bersamaan, sedangkan *Solid State Welding* (SSW) merupakan proses pengelasan logam yang dilakukan pada kondisi logam induk tidak mencapai titik leburnya pada saat tersambung. Salah satu metode *Solid State Welding* (SSW) ini adalah pengelasan adukan gesek / *Friction Stir Welding* (FSW), yaitu pengelasan dengan memanfaatkan panas yang timbul akibat putaran dari tool yang bergesekan dengan material induk atau benda kerja. (Prasetyana & Sugito, 2016).

Proses pengelasan ini ditemukan oleh Wayne Thomas dari *The Welding Institute* dan dipatenkan di *United Kingdom* pada bulan Desember 1991. Sejak ditemukan proses *friction stir welding*, telah mengalami banyak perkembangan melalui berbagai penelitian, baik berupa penelitian tentang parameter tool, penelitian parameter proses *friction stir welding*, dan penelitian desain sambungan.

Kelemahan pengelasan jenis ini adalah Gaya turun yang besar dibutuhkan serta penjepit yang kuat untuk menahan getaran pada pelat. Namun ada beberapa keunggulan *friction stir welding* sendiri dibanding pengelasan jenis lain yaitu dapat beroperasi di semua posisi (*horizontal*, *vertical*, dll), tidak adanya asap beracun maupun percikan material yang meleleh sehingga dampak lingkungan rendah serta tidak ada bahan habis pakai pin yang terbuat dari baja (Mulyadi, 2020)

Friction Stir Welding (FSW) banyak diaplikasikan dalam dunia industri, biasanya diaplikasikan untuk menyambungkan material aluminium dan paduannya. Di negara maju telah mengaplikasikan pengelasan *friction stir welding* ini, salah satunya pada industri pembuatan kapal seperti pada bagian lambung, *deck*, dan *dashboard* pada *speed boat* yang biasanya digunakan untuk patroli (Prasetyana & Sugito, 2016). Untuk mendapatkan kualitas dan kekuatan sambungan yang baik tidak mudah dilakukan, dikarenakan parameter – parameter proses pengelasannya harus disesuaikan dengan jenis sambungan yang

diinginkan, material yang disambung, desain dan material tool. Parameter tersebut sangat berbeda antara yang satu dengan yang lainnya sehingga tidak dapat diaplikasikan pada semua material. Parameter proses *friction stir welding* yang mempengaruhi panas yang terjadi pada daerah lasan adalah gesekan dipengaruhi oleh kecepatan putaran tool, kecepatan pengelasan, lebar bahu tool, penetrasi bahu, sudut kemiringan tool dan lainnya. (Abdulloh, 2019)

Material yang sering dipakai dan cukup umum untuk dijumpai salah satunya adalah Aluminium (Al). Aluminium dikenal sebagai logam ringan yang memiliki sifat ketahanan korosi serta baik sebagai konduktor listrik. Aluminium (Al) memiliki masa jenis sebesar 2,71 mg/m³ atau sekitar sepertiga dari masa jenis baja atau tembaga. Dengan keistimewaan sifat mekanik tersebut, aluminium dan paduannya banyak diaplikasikan sebagai material konstruksi ringan (*light-weight structure*) dan transportasi kapal (Jenney & O'Brien, 2001). Teknik pengelasan non-cair sangat cocok diaplikasikan untuk aluminium dan paduannya bentuk pelat maupun poros, karena dapat menghindari cacat las karena proses oksidasi. Teknik pengelasan gesek puntir (*friction stir welding*, FSW) termasuk kategori pengelasan jenis non-cair (Sukmana & Sustiono, 2016).

Prasetyana D. (2016) pernah melakukan penelitian foto makro yang terlihat bekas adukan yang tidak merata pada variasi kedalaman pembenaman 0,9 mm dan terjadi cacat rongga pada variasi kedalaman pembenaman 2,9 mm, hal inilah yang menyebabkan penurunan tegangan tarik dari kedua variasi tersebut.

Sukmana & Sustiono (2016) mengatakan Kecepatan putar indentor las juga memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kualitas hasil pengelasan. R_t yang tinggi cenderung menghasilkan pembangkitan panas yang lebih baik bila dibandingkan pada R_t yang rendah, sehingga didapatkan hasil pengelasan yang lebih baik, hingga titik optimum tertentu.

Budi Nur Rahman dkk. (2018) menghasilkan bahwa sambungan FSW menyatu dengan baik, namun pada permukaan lasan masih terdapat *ripples* atau cacat berupa *incomplete fusion* pada sepanjang daerah pengelasan karena material yang teraduk tidak

terjadi sampai ketebalan pelat. Butiran unsur menjadi lebih kecil jika lebih dekat dengan stir zone karena panas yang diterima oleh benda kerja akan semakin besar.

Marhadi & Victor (2022) menghasilkan penelitian semakin cepat laju pengelasan semakin turun kekuatan Tarik sambungan las. Hal ini disebabkan kurangnya heat input yang masuk ke material. Kurangnya heat input menyebabkan *Solidifikasi* antara material yang disambung kurang maksimal. *Solidifikasi* yang kurang maksimal meningkatkan porositas sehingga kekuatan mekanik sambungan menjadi turun.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan material aluminium 5052. Proses pengelasan FSW dilakukan menggunakan mesin milling vertikal seperti pada gambar 1, dengan memvariasikan kecepatan putar pin tool dan kedalaman pin. Kecepatan putar pin tool divariasikan menjadi tiga tingkat, yaitu 910 rpm, 1500 rpm, dan 2280 rpm, sedangkan kedalaman pin divariasikan menjadi tiga tingkat, yaitu 3 mm, 4 mm, dan 4,8 mm.

Tabel 1 Komposisi kimia aluminium 5052

Unsur	Komposisi
Al	95,87
Cr	0,1971
Cu	0,0658
Fe	0,3577
Mg	4,0468
Mn	0,0843
Si	0,1949
Zn	0,0115

Setelah proses pengelasan selesai, dilakukan pengujian terhadap sifat mekanik hasil pengelasan, meliputi kekuatan tarik, kekerasan, dan struktur mikro. Pengujian kekuatan tarik dilakukan sesuai dengan standar ASTM E8/E8M-13a. Spesimen uji diberikan beban secara perlahan hingga terjadi kegagalan (patah), dan kekuatan tarik dihitung menggunakan persamaan $\sigma = F / A_0$, di mana σ adalah tegangan, F adalah beban, dan A_0 adalah luas penampang awal. Regangan dihitung dengan menggunakan persamaan $\epsilon = (L - L_0) / L_0 * 100\%$, di mana

ϵ adalah regangan, L adalah panjang spesimen setelah ditarik, dan L_0 adalah panjang spesimen awal. Dalam penelitian ini digunakan pada mesin vertikal milling (gambar 1) dan alat pengujian tarik gambar 2.



Gambar 1. Mesin vertikal milling

Pengujian kekerasan dilakukan dengan metode Vickers ASTM E384 dengan mesin seperti pada gambar 3. Enam sampel diambil untuk pengujian, dan beban sebesar 500 gf (0,5 kgf) diberikan pada zona lapisan untuk mengukur nilai kekerasan. Nilai kekerasan dihitung menggunakan persamaan $HV = 1,854 F / d^2$, di mana HV adalah nilai kekerasan Vickers, F adalah beban yang diterapkan, dan d adalah panjang diagonal rata-rata pada bekas jejak indentasi.



Gambar 2. Alat uji tarik

Pengujian struktur mikro dilakukan menggunakan alat uji struktur mikro seperti pada gambar 3. Sampel yang telah dilas dilakukan Preparasi, dilapisi dengan zat pengawet, dan diamati menggunakan mikroskop optik atau mikroskop elektron. Data yang diperoleh dari pengujian akan dianalisis menggunakan metode

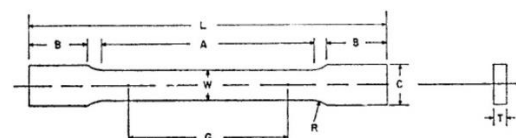
statistik, seperti analisis varians (ANOVA) dan uji hipotesis, untuk mengevaluasi pengaruh variasi kecepatan putar dan kedalaman pin terhadap kekuatan tarik, kekerasan, dan struktur mikro. Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah Aluminium 5052 dengan tebal 5 mm dengan ukuran 50x150mm.



Gambar 3. alat uji kekerasan (Vickers)



Gambar 4. alat uji struktur mikro



Gambar 5. Skema gambar standar ASTM E8

Proses pengujian tarik, spesimen uji akan diberikan beban perlahan hingga spesimen uji tersebut patah, kemudian sifat - sifat tarik dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\sigma = F / A_0 \tag{1}$$

$$\epsilon = \frac{L-L_0}{L_0} 100\% \tag{2}$$

dengan σ = tegangan (N/mm²), F = beban (N) A_0 = luas penampang (mm²) ϵ = Regangan, L_0 = Panjang awal (mm), L = Panjang setelah ditarik (mm).

Pengujian kekerasan dilakukan dengan metode Vickers ASTM E384 dibuat sebanyak 6 sampel dan pada zona lapisan diberi beban sebesar 500 gf (0,5 Kgf), untuk menentukan besarnya nilai kekerasan dengan metode Vickers menggunakan persamaan:

$$HV = 1,854 F/d^2 \quad (3)$$

dengan F = Beban yang ditetapkan (Kg), d = Panjang diagonal rata-rata, α = Sudut antara permukaan intan yang berhadapan.

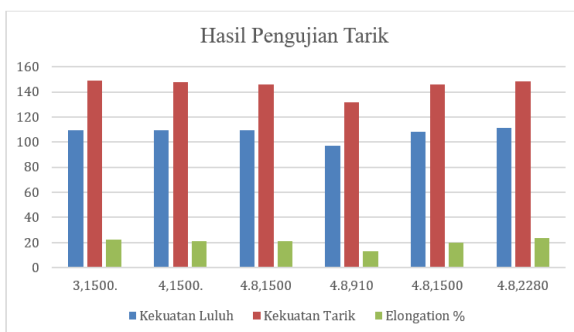
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Tarik

Pengujian tarik menggunakan standar ASTM E8. Berikut merupakan tabel hasil proses pengujian tarik.

Tabel 2. Data hasil pengujian tarik

No.	Sampel Uji	Beban Luluh (N)	Beban Max. (N)	Kekuatan Luluh (N/mm ²)	Kekuatan Tarik (N/mm ²)	Elongation (%)
1	3,1500	3515.7	4787.0	109.4	148.9	22.16 %
2	4,1500	3596.9	4895.6	109.5	147.7	21.20 %
3	4.8,1500	3730.4	4975.5	109.5	146.0	20.92 %
4	4.8,910	3279.1	4444.2	96.9	131.4	12.88 %
5	4.8,1500	3590.3	4835.4	108.5	146.1	19.76 %
6	4.8,2280	3718.5	4940.4	111.5	148.2	23.56 %



Gambar 6. Grafik hasil uji tarik

Berdasarkan dari pengujian tarik yang telah dilakukan mendapatkan hasil seperti pada tabel 3 pada spesimen dengan variasi parameter kecepatan putar 910 rpm mempunyai kekuatan tarik 131,4 Mpa, pada variasi kecepatan putar 1500 rpm mempunyai kekuatan tarik 146,1 Mpa, dan pada variasi kecepatan putar 2280 rpm mempunyai kekuatan tarik 148,2 Mpa.

Pada variasi parameter kedalaman pin 3 mm mendapatkan kekuatan tarik sebesar 148,9

Mpa, pada variasi parameter kedalaman pin 4 mm mendapatkan kekuatan tarik sebesar 147,7 Mpa, dan pada variasi parameter kedalaman pin 4,8 mm mendapatkan kekuatan tarik sebesar 146,0 MPa.

Dari data pengujian tarik pada tabel 2 terlihat perbedaan kekuatan tarik diantara setiap variasi parameter. Pada variasi parameter kecepatan putar, spesimen dengan kecepatan 2280 rpm memiliki kekuatan tarik paling tinggi yaitu 148,2 MPa dan kekuatan tarik paling rendah terjadi pada variasi kecepatan putar 910 yaitu 131,4. Pada variasi parameter kedalaman pin, spesimen dengan kedalaman pin 3 mm memiliki kekuatan tarik paling tinggi yaitu 148,9 MPa dan kekuatan tarik paling rendah terjadi pada variasi kedalaman pin 4,8 mm yaitu 146 MPa.

Berikut merupakan gambar visual dari sebelum dan sesudah dilakukan uji tarik.



(a) Sebelum pengujian tarik



(b)

(c) Sesudah pengujian tarik

Gambar 7. Spesimen uji tarik

Pengujian dilakukan pada area *weld metal* (sambungan pengelasan), area *heat affected zone (HAZ)*, dan *base metal* (logam dasar). Berikut ini tabel data hasil pengujian kekerasan.

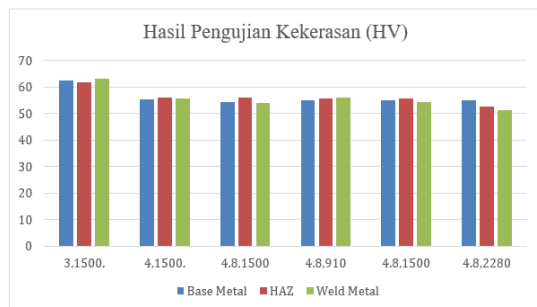
Berdasarkan dari pengujian kekerasan yang telah dilakukan mendapatkan data hasil pengujian pada tabel 3 serta grafik yang tertera pada gambar 4.4. Dapat dilihat dimana aluminium 5052 pada parameter kecepatan putar 910 rpm memiliki nilai kekerasan sebesar (54,94 HV 55,63 HV dan 55,98 HV)

serta rata-rata HV sebesar 55,52. Pada parameter kecepatan putar 1500 rpm memiliki nilai kekerasan sebesar (54,85 HV, 55,61 HV dan 54,45 HV) serta rata-rata HV sebesar 54,97. Pada parameter kecepatan putar 2280 rpm memiliki nilai kekerasan sebesar (55,11 HV, 52,78 HV dan 51,21 HV) serta rata-rata HV sebesar 53,03.

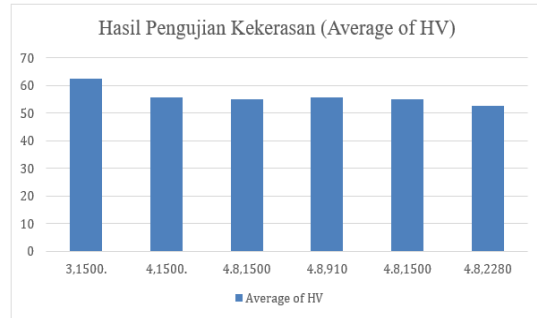
Tabel 3 Data hasil pengujian kekerasan

No	Sample Uji	Area	Hardness of Vickers (HV)	Average of HV
1	3,1500	A	62,49	62,49
		B	61,87	
		C	63,11	
2	4,1500	A	55,29	55,63
		B	55,98	
		C	55,63	
3	4,8,1500	A	54,26	55,06
		B	55,98	
		C	53,94	
4	4,8,910	A	54,94	55,52
		B	55,63	
		C	55,98	
5	4,8,1500	A	54,85	54,97
		B	55,61	
		C	54,45	
6	4,8,2280	A	55,11	53,03
		B	52,78	
		C	51,21	

Pada parameter kedalaman pin 3 mm memiliki nilai kekerasan sebesar (62,49 HV 61,87 HV dan 63,11 HV) serta rata-rata HV sebesar 62,49. Pada parameter kedalaman 4 mm memiliki nilai kekerasan sebesar (55,29 HV, 55,98 HV dan 55,63 HV) serta rata-rata HV sebesar 55,63. Pada parameter kedalaman 4,8 mm memiliki nilai kekerasan sebesar (54,26 HV, 55,98 HV dan 53,94 HV) serta rata-rata HV sebesar 55,06.



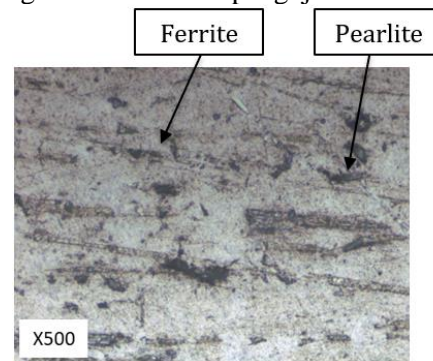
Gambar 8. Grafik hasil uji kekerasan



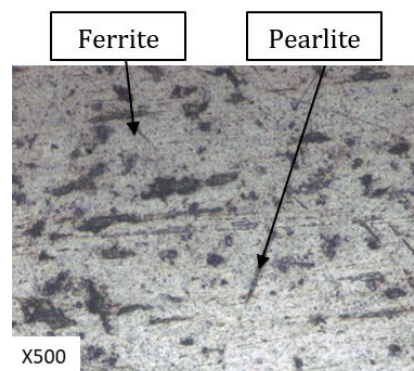
Gambar 9. Grafik hasil uji kekerasan rata - rata

Hal tersebut menunjukkan bahwa, dengan adanya variasi dari tiap parameter yang dilakukan, dapat mempengaruhi nilai kekerasannya baik pada daerah pengelasan, daerah HAZ, maupun logam dasar.

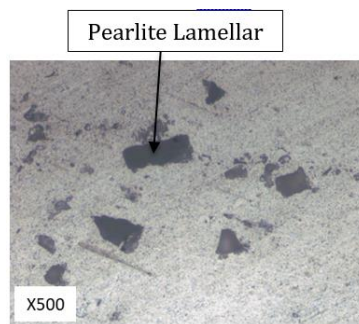
Pengujian yang dilakukan menggunakan Mikroskop dengan pembesaran yang dipakai yaitu $\times 500$, berikut adalah gambar dari hasil pengujian.



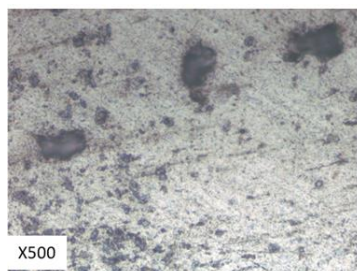
Gambar 10. Struktur mikro dengan variasi kedalaman pin 3 mm



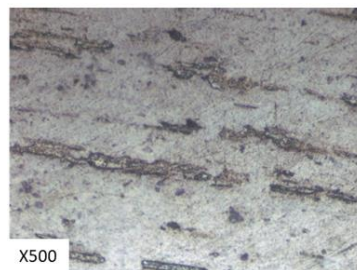
Gambar 11. Struktur mikro dengan variasi kedalaman pin 4 mm



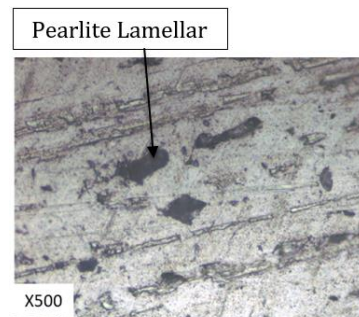
Gambar 12. Struktur mikro dengan variasi kedalaman pin 4,8 mm



Gambar 13. Struktur mikro dengan variasi kecepatan putar 910 rpm



Gambar 14. Struktur mikro dengan variasi kecepatan putar 1500 rpm



Gambar 15 Struktur mikro dengan variasi kecepatan putar 2280 rpm

Berdasarkan dari hasil pengujian struktur mikro yang telah dilakukan pada spesimen pada parameter kedalaman pin 3 mm dan 4mm yang ditunjukkan oleh gambar 10 dan gambar 11 dengan pembesaran sebesar x500 fasa yang terkandung pada pengujian tersebut antara lain ferrite dan pearlite. Fasa ferit adalah fasa yang terbentuk pada suhu 300 – 700°C. Fasa ferit mempunyai sifat lunak dan ketahanan korosi medium, itu terlihat si setiap ferit terdapat titik kecil yang merupakan karat. Sedangkan perlit disini terdapat 2 fasa yang terjadi dimana kandungan karbon mempengaruhi banyak sedikitnya kandungan pearlite, dimana yang banyak kandungan karbon akan membentuk lapisan yang biasanya disebut *pearlite lamellar*.

Pada gambar 12 menunjukkan dengan jelas bahwa beberapa pearlite mengandung banyak karbon sehingga menghasilkan banyak *pearlite lamellar* serta memiliki struktur yang lebih halus. Struktur mikro yang terbentuk pada parameter kecepatan putar tidak jauh berbeda dengan parameter kedalaman pin yaitu ferrite dan pearlite yang ditunjukkan oleh gambar 13, 14 dan 15 dengan pembesaran yaitu 500 kali.

PENUTUP

Kesimpulan

Dari hasil penelitian mengenai FSW dengan variasi kecepatan putar dan kedalaman pin maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Kekuatan tarik akan dipengaruhi dengan kecepatan putar dan kedalaman pin, hal ini terbukti dengan kekuatan tarik akan meningkat apabila kecepatan putar meningkat serta menggunakan kedalaman pin tool yang tidak terlalu dekat dengan ketebalan spesimen
2. Kekerasan spesimen uji akan semakin mengeras apabila kedalaman pin tool tidak terlalu mendekati ketebalan spesimen serta kecepatan putar pin tool tidak terlalu tinggi
3. Struktur mikro akan lebih halus dan butirannya lebih kecil serta agak memanjang berdasarkan panjangnya kedalaman dan kecepatan pin tool

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulloh, S., (2019), Analisa Pengaruh Variasi Bentuk Probe/Pin terhadap Sifat Mekanis Hasil Pengelasan Aluminium Dengan Tembaga Pada Proses *Friction Stir Welding*, Malang
- B. Marhadi, W., D. Victor, W., (2022), Pengaruh Laju Pengelasan Terhadap Kekuatan Tarik Pengelasan *Friction Stir Welding* Material Aluminium, Jurnal METIKS Volume 2 No 1, Maluku
- Budi Nur Rahman, M., Widyo Nugroho, A., Satria Wardhana, B., (2018), Pengaruh *Feed Rate* dan Kecepatan Putar Pin Tool *Friction Stir Welding* (FSW) terhadap Kekuatan Tarik dan Kekerasan Aluminium 5052, Jurnal Material dan Proses Manufaktur, Volume 2, Nomor 2, Yogyakarta
- L. Jenney, C., O'Brien, A., (2001), *Welding Science and Technology*, American Welding Society.
- Mulyadi, Iswanto, (2020), Teknologi Pengelasan, Sidoarjo, UMSIDA Press
- Prasetyana, D., Sugito, B., (2016), Pengaruh Kedalaman Pin (*Depth Punge*) Terhadap Kekuatan Sambungan Las Pada Pengelasan Adukan Gesek Sisi Ganda (*Double Sided Friction Stir Welding*) Aluminium Seri 5083, Naskah Publikasi Ilmiah, Surakarta.
- Sukmana, I., Sustiono, A., (2016), Pengaruh Kecepatan Putar Indentor Las Gesek Puntir (*Friction Stir Welding*) Terhadap Kualitas Hasil Pengelasan Aluminium 1100-H18, *Jurnal Mechanical*, Volume 7, Nomor 1. Lampung.