

PENGARUH TEKANAN *UPSET* TERHADAP KEKUATAN TARIK STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN DARI SAMBUNGAN LOGAM SILINDER PEJAL ALUMINIUM 6061 T6 MENGGUNAKAN METODE *CONTINUOUS DRIVE FRICTION WELDING*

Luji Priyanto^{1,a}, Totok Suwanda^{1,b}, Aris Widyo Nugroho^{1,c}

Program Studi Teknik mesin, Fakultas teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
Jalan Lingkar Selatan Tamantirto, Kasihan, Bantul, DI Yogyakarta, Indonesia, 55183
lujipriyanto29@gmail.com, suwanda@umy.ac.id, nugrohoaris@gmail.com

INTISARI

Continuous drive friction welding (CDFW) merupakan suatu metode pengelasan *solid state* yang cocok diaplikasikan pada penyambungan logam silinder pejal. Pada proses penyambungan CDFW digunakan beberapa parameter penting yang berpengaruh terhadap kekuatan sambungan. Beberapa parameter tersebut diantaranya: Tekanan *upset*, tekanan gesek, waktu *upset*, waktu gesek, dan putaran mesin. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi tekanan *upset* terhadap kekuatan tarik, struktur mikro dan kekerasan sambungan dengan CDFW.

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah logam silinder pejal aluminium 6061 T6. Proses pengelasan menggunakan variasi parameter tekanan *upset* 40 MPa, 50 MPa, 60 MPa, 70 MPa, 80 MPa, 90 MPa, 100 MPa, 110 MPa, dan 120 MPa. Sedangkan parameter yang lain dibuat konstan, yaitu tekanan gesek 40 MPa, waktu gesek 4 detik, waktu *upset* 4 detik, dan putaran mesin 1000 rpm. Untuk mengetahui pengaruh dari tekanan *upset* pada hasil sambungan dilakukan pengamatan struktur mikro, pengujian kekerasan mikro vickers, dan pengujian tarik.

Pada pengujian struktur mikro hasil sambungan mengalami perubahan struktur mikro dimana semakin mendekati sambungan kandungan Mg semakin meningkat. Pada pengujian kekerasan spesimen mengalami penurunan nilai kekerasan seiring semakin dekatnya jarak dari sambungan. Untuk pengujian tarik kekuatan tarik maksimum terjadi pada tekanan *upset* 90 MPa dengan hasil 232,212 MPa, sedangkan kekuatan tarik terendah diperoleh saat penggunaan tekanan *upset* 60 MPa yaitu 215,142. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan disimpulkan bahwa semakin bertambahnya tekanan *upset* yang diberikan tidak mempengaruhi kekekuatan tarik material hasil sambungan secara signifikan.

Kata kunci : CDFW, Aluminium 6061 T6, Tekanan *upset*, Struktur mikro, Kekerasan, Kekuatan tarik

1. PENDAHULUAN

Aluminium merupakan logam *non fero* yang banyak digunakan, aluminium adalah logam ringan yang mempunyai ketahanan korosi yang baik. Aluminium tidak hanya dipakai pada industri rumah tangga, namun banyak juga digunakan sebagai material pesawat terbang, kapal, mobil, dan bidang konstruksi yang dalam penggunaannya sering kali memerlukan proses penyambungan.

Pada proses penyambungan aluminium silinder pejal sulit dilakukan dengan pengelasan cair (*fusion welding*). Hal ini merupakan masalah yang sering terjadi pada proses penyambungan aluminium silinder pejal dimana pengelasan cair tidak dapat menyambung hingga sebagian dalam dari silinder pejal tersebut. *Friction welding* merupakan proses pengelasan yang dapat memecahkan masalah terhadap sulitnya

melakukan penyambungan aluminium silinder pejal menggunakan pengelasan cair.

Friction welding adalah pengelasan yang dilakukan dalam kondisi padat (*solid state*). Dilihat dari prosesnya ada beberapa jenis *friction welding*, di antaranya: *friction stir welding*, *linear friction welding* dan *continuous drive friction welding*. *Friction stir welding* (FSW) adalah proses pengelasan *solid-state* yang menggunakan suatu *tool* yang berputar kemudian dimakamkan sepanjang sambungan yang hendak dilakukan antara dua benda kerja. *Linear Friction Welding* (LFW) adalah proses pengelasan *solid state* dimana satu bagian bergerak dalam gerakan linier dengan kecepatan tinggi dan ditekan ke bagian lain yang menahan secara *stasioner*. *continuous drive friction welding* adalah proses pengelasan *solid state* dimana satu bagian bergerak berputar dengan putaran tertentu serta diberikan tekanan ke bagian benda satunya yang menahan secara *stasioner* (www.mtiwelding.com).

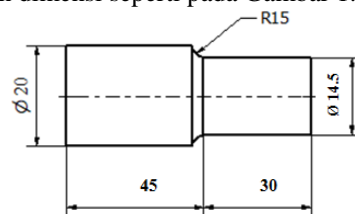
Ada beberapa keunggulan *friction welding* dibandingkan dengan *fusion welding*, di antaranya: penghematan material, tidak menimbulkan gas/asap pada prosesnya, pengelasan lebih menyeluruh (terutama pada benda pejal), lebih hemat waktu, serta mampu untuk penyambungan dua material yang sama maupun berbeda jenis. *Friction welding* mampu menghemat material, karena tidak memerlukan material tambahan dalam prosesnya. Tidak mengeluarkan gas maupun asap karena tidak menggunakan listrik secara langsung ketika melakukan pengelasan. Pengelasan lebih menyeluruh tidak seperti kebanyakan pengelasan lain yang hanya di permukaan benda tersebut terutama pada benda pejal, karena pengelasan langsung dilakukan antar material dengan memanfaatkan panas dari material tersebut.

Pada proses pengelasan *friction welding*, ada beberapa parameter penting yang perlu di perhatikan, yaitu: waktu gesekan, tekanan gesekan, waktu *upset*, dan tekanan *upset*. Ardiyanto (2017) telah meneliti tentang pengaruh variasi sudut kampuh dan kuat arus terhadap kekuatan tarik aluminium 6061 pada pengelasan *tungsten inert gas (tig)* dengan variasi sudut kampuh (50°, 85° dan 120°) dan

kuat arus (60 A, 110 A dan 160 A). Hasil yang diperoleh menjelaskan bahwa Penggunaan kuat arus dan sudut kampuh yang kecil meningkatkan terjadinya cacat pada hasil las sehingga menurunkan kekuatan tariknya. Berdasarkan uji tarik diperoleh nilai tegangan tarik tertinggi pada penggunaan sudut kampuh 85° dengan kuat arus 160 A sebesar 16,45 kg/mm², kekuatan tarik terendah terjadi pada penggunaan sudut kampuh 85° dengan kuat arus 60 A sebesar 1,27 kg/mm². Rahmanto (2016) telah melakukan penelitian tentang analisis sifat mekanik dan struktur mikro aluminium 6061 hasil pengelasan *friction welding* dengan variasi kecepatan putaran dan tekanan *upset*. Dalam penelitian yang dilakukan, peneliti menggunakan beberapa variasi, yaitu: tekanan gesek dibuat konstan (15 MPa), waktu gesek dibuat tetap (60 detik), tekanan *upset* (50 MPa, 60 MPa), waktu *upset* (30 detik), putaran mesin (600 rpm, 800 rpm, 1000 rpm). Hasil pengujian menyimpulkan bahwa besarnya tekanan *upset* berpengaruh pada hasil lasan, hal ini dibuktikan dengan adanya cacat las pada tekanan *upset* 50 MPa pada saat dilakukan pengujian struktur mikro.

2. METODE PENELITIAN

Logam silinder pejal AA 6061 T6 dipotong dengan panjang 75 mm. kemudian dibubut dengan dimensi seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Dimensi spesimen pengelasan

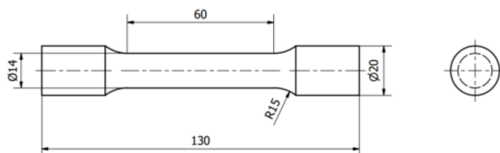
Setelah itu spesimen disiapkan untuk proses pengelasan. Siapkan juga tabel rencana parameter penelitian untuk memudahkan jalannya penelitian (Tabel 1).

Tabel 1. Rencana parameter penelitian

No.	Tekanan upset (MPa)	Waktu gesek (s)	Tekanan gesek (MPa)	Waktu upset (s)
1	40	4	40	4
2	50	4	40	4
3	60	4	40	4
4	70	4	40	4
5	80	4	40	4
6	90	4	40	4
7	100	4	40	4
8	110	4	40	4
9	120	4	40	4

Dua material AA 6061 T6 disiapkan kemudian salah satu dipasang pada spindle yang diam dan yang lainnya dipasang pada spindle yang berputar. Motor dinyalakan dengan kecepatan putar 1000 rpm. Spindle diam diberikan tekanan sebesar 40 MPa, setelah bergesekan selama 4 detik, motor dihentikan, lakukan penekanan *upset* sebesar 40 MPa selama 4 detik. Setelah itu material yang sudah tersambung dilepas, kemudian penyambungan berikutnya dilakukan dengan variasi penekanan *upset* 50 MPa, 60 MPa, 70 MPa, 80 MPa, 90 MPa, 100 MPa, 110 MPa, dan 120 MPa.

Setelah proses penyambungan selesai, spesimen dibubut dan dibentuk sesuai standar JIS Z 2201 (Gambar 3). Spesimen ini disiapkan untuk proses pengujian tarik yang dilakukan di Laboratorium UMY.

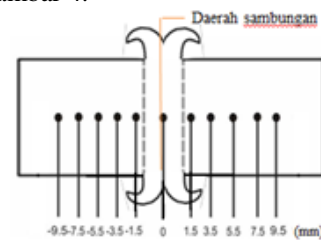


Gambar 3. Dimensi standar JIS Z 2201

Pengujian tarik dilakukan pada semua spesimen. Setelah dilakukan pengujian tarik dilanjutkan dengan pengamatan struktur mikro pada spesimen tekanan *upset* 60 MPa, dan 90 MPa. Sebelum itu lakukan penyambungan ulang pada parameter tekanan *upset* 60 MPa dan 90 MPa. Setelah tersambung, spesimen kemudian dibelah dengan mesin *metacut* dan dipotong menggunakan gergaji. Material yang telah dipotong diresin dan diampelas dengan

urutan amplas 120, 320, 1000, dan 2000. Setelah diampelas kemudian dilakukan pemolesan dengan menggunakan autosol secukupnya. Pengetsaan dilakukan pada masing-masing material sesuai standar ASTM E407-07. Spesimen dicuci dengan aquades lalu dibersihkan menggunakan kapas atau kain bersih. Pengamatan struktur mikro dilakukan menggunakan mikroskop optik Olympus tipe BX53MRF-S di Laboratorium UMY.

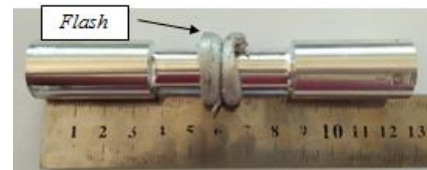
Pengujian kekerasan untuk spesimen tekanan *upset* 60 MPa dan 90 MPa dilakukan menggunakan alat uji kekerasan Mikro Vickers merek Shimadzu dengan tipe HMV-M3. Posisi titik pengambilan data dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Posisi pengambilan nilai kekerasan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari penyambungan menggunakan metode CDFW pada silinder pejal AA 6061 T6 dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil sambungan

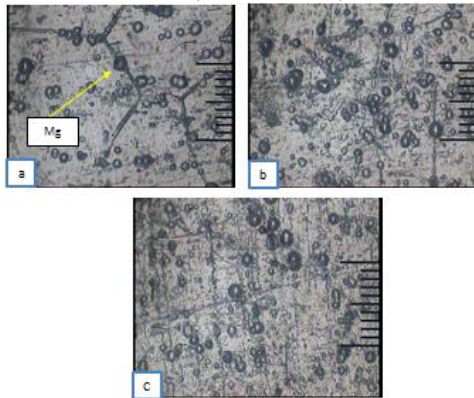
Dari hasil penyambungan dinunjukkan bahwa *flash* terjadi pada kedua material aluminium 6061-T6, hal terjadi karena titik leleh kedua material sama (660°C). Besarnya *flash* yang terjadi menyebabkan adanya pemendekan dari hasil penyambungan. Pemendekan hasil sambungan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Pemendekan hasil sambungan

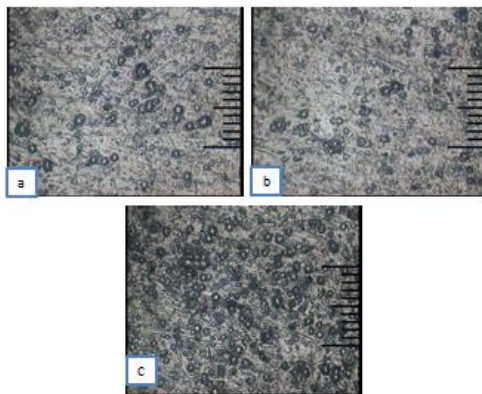
No.	Tekanan <i>upset</i> (Mpa)	Panjang awal (mm)	Panjang akhir (mm)	Pemendekan (mm)
1	40	60	41	19
2	50	60	42	18
3	60	60	39	21
4	70	60	40	20
5	80	60	36	24
6	90	60	34	26
7	100	60	32	28
8	110	60	34	26
9	120	60	32	28

Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro dilakukan pada spesimen dengan variasi tekanan *upset* (Pu) 60 MPa, dan 90 MPa (Gambar 6&7).



Gambar 6. Struktur mikro sambungan dengan variasi *upset* 60 MPa. a) daerah dekat logam induk, b) daerah HAZ, dan c) daerah sambungan.



Gambar 7. Struktur mikro sambungan dengan variasi *upset* 90 MPa. a) daerah HAZ 1 (diam)

spesimen tekanan *upset* 90 MPa, b) daerah HAZ 2 (berputar), c) daerah sambungan

Parameter variasi tekanan *upset* 90 MPa, pada daerah sambungan lebih banyak terdapat tumpukan Mg jika dibandingkan dengan variasi tekanan *upset* 60 MPa.

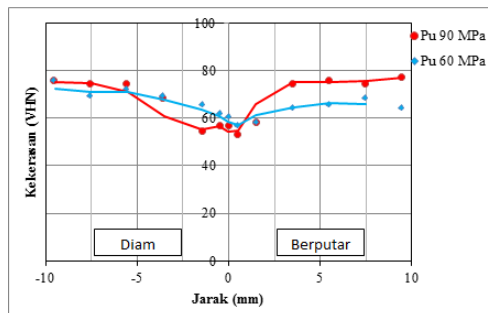
Kekerasan

Berdasarkan dari pengujian struktur mikro yang sudah dilakukan maka diketahui posisi untuk pengujian kekerasan. Posisi pengujian kekerasan bisa dilihat pada Gambar 4. Hasil pengujian kekerasan untuk masing-masing spesimen pada tiap titiknya dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 8.

Tabel 3. Hasil pengujian kekerasan

Tekanan <i>upset</i> (MPa)	Jarak dari sambungan (mm)	d ₁ (μm)	d ₂ (μm)	d _{rata-rata} (μm)	Kekerasan (VHN)	
60	Berputar	9.5	76.0	76.0	76.00	64.2
		7.5	75.0	73.0	74.00	67.7
		5.5	76.0	75.0	75.50	65.1
		3.5	76.0	76.0	76.00	64.2
		1.5	80.0	80.0	80.00	58.0
		-0.5	82.0	80.0	81.00	56.5
	Diam	0	80.0	77.0	78.50	60.2
		-0.5	79.0	76.0	77.50	61.7
		-1.5	76.0	74.0	75.00	65.9
		-3.5	74.0	72.0	73.00	69.6
		-5.5	73.5	70.0	71.75	72.0
		-7.5	73.0	73.0	73.00	69.6
-9.5	71.5	69.0	70.25	75.2		

Tekanan <i>upset</i> (MPa)	Jarak dari sambungan (mm)	d ₁ (μm)	d ₂ (μm)	d _{rata-rata} (μm)	Kekerasan (VHN)	
90	Berputar	9.5	70.0	69.0	69.50	76.8
		7.5	70.0	71.0	70.50	74.6
		5.5	70.0	70.0	70.00	75.7
		3.5	71.0	70.0	70.50	74.6
		1.5	80.0	81.0	80.50	57.2
		-0.5	85.0	83.0	84.00	52.6
	Diam	0	80.0	82.0	81.00	56.5
		-0.5	81.0	81.0	81.00	56.5
		-1.5	83.0	83.0	83.00	53.8
		-3.5	74.0	74.0	74.00	67.7
		-5.5	70.0	71.0	70.50	74.6
		-7.5	71.0	70.0	70.50	74.6
-9.5	70.0	70.0	70.00	75.7		



Gambar 8. Hasil pengujian kekerasan

Berdasarkan gambar 8 dapat diketahui pada daerah masing-masing spesimen uji nilai kekerasannya turun seiring semakin dekatnya dengan daerah sambungan. Pada daerah aluminium dengan variasi tekanan *upset* 90 MPa terlihat mengalami penurunan nilai kekerasan yang lebih besar, bila dibandingkan daerah aluminium dengan variasi parameter tekanan *upset* 60 MPa. Nilai kekerasan paling rendah pada sambungan variasi tekanan *upset* 90 MPa adalah 52,6 dimana daerah tersebut berada pada daerah sambungan las dan nilai tertinggi 76,8 pada daerah logam induk, sedangkan pada variasi tekanan *upset* 60 MPa nilai terendah pada daerah sambungan las yaitu: 56.5 dan tertinggi 75,2 berada pada daerah logam induk (Tabel 3).

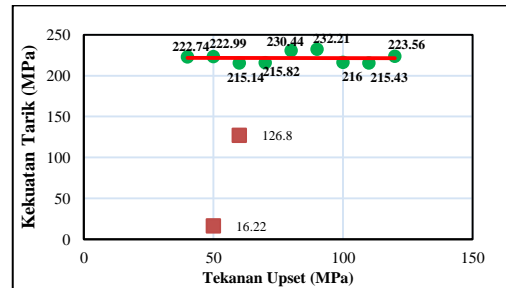
Kekuatan tarik

Pengujian kekuatan tarik pada penelitian ini dilakukan pada semua spesimen yang sudah tersambung dengan variasi parameter yang berbeda-beda. Namun sebelum spesimen dilakukan pengujian kekuatan tarik dilakukan proses pemesinan untuk menghilangkan *flash* dan membentuk dimensi yang mengacu pada standar JIS Z 2201.

Tabel 4. Hasil pengujian kekuatan tarik

No.	Parameter				Kekuatan tarik (MPa)
	Tekanan gesek (MPa)	Waktu gesek (s)	Tekanan <i>upset</i> (MPa)	Waktu <i>upset</i> (s)	
1	40	4	40	4	222.743
2			50		222.999
3			60		215.142
4			70		215.825
5			80		230.441
6			90		232.212
7			100		216.001
8			110		215.436
9			120		223.568

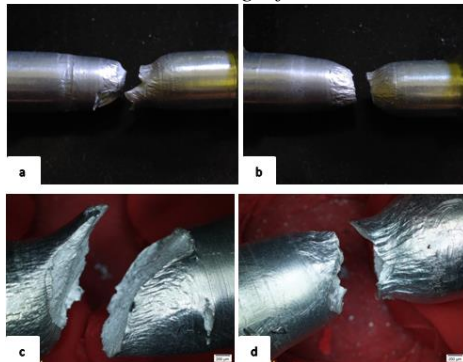
Hasil untuk pengujian kekuatan tarik dari masing-masing specimen dapat dilihat pada Tabel 4.



Gambar 9. Grafik hubungan tekanan *upset* dan kekuatan tarik

Dari Gambar 9 dapat diketahui bahwa kekuatan tarik maksimum terjadi pada tekanan *upset* 90 MPa dengan hasil 232,212 MPa sedangkan kekuatan tarik terendah diperoleh saat penggunaan tekanan *upset* 60 MPa yaitu 215,142. Hasil tersebut jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Rahmanto (2016) dimana pada penelitian tersebut kekuatan tarik terbesar diperoleh pada variasi tekanan *upset* 60 Mpa dengan hasil 126,80 Mpa dan terendah dengan variasi tekanan *upset* 50 MPa yaitu: 16,22 MPa. Berdasarkan dari hasil yang telah diperoleh dengan membandingkan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya maka variasi yang digunakan pada penelitian ini dapat meningkatkan kekuatan tarik dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Dan jika dibandingkan dengan pengelasan *tungsten inert gas (TIG)* yang telah dilakukan oleh Ardiyanto (2017), Kekuatan tarik tertinggi pada pengujian ini diperoleh pada variasi sudut kampuh 85° dengan kuat arus 160 A sebesar 161,37 MPa, dan kekuatan tarik terendah terjadi pada penggunaan sudut kampuh 85° dengan kuat arus 60 A sebesar 12,46 MPa. Berdasarkan data tersebut maka penelasan menggunakan CDFW menghasilkan kekuatan tarik yang lebih besar dibandingkan *fusion welding*. Dari data Tabel 4.3 juga dapat dibuat grafik hubungan antara parameter tekanan *upset* dengan kekuatan tarik yang diperoleh. Dari grafik tersebut dapat diketahui pengaruh dari besarnya tekanan *upset* terhadap kekuatan tarik sambungan aluminium 6061 T6.

Faktografi



Gambar 10. Hasil struktur makro penampang patahan a) variasi tekanan *upset* 70 MPa, b) variasi 80 MPa, c) variasi 60 MPa dan d) variasi 90 MPa

Seperti yang terlihat pada Gambar 10. Penampang patahan hasil sambungan pada aluminium menunjukkan patahan bersifat ulet yang diindikasikan dengan adanya deformasi plastis disekitar patahan. Hal tersebut kemungkinan karena panas yang terjadi saat proses penyambungan terdistribusi dengan baik. Terjadinya distribusi panas yang baik dikarenakan material sama-sama mengalami kondisi *thermoplastis*.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan proses penelitian dan hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Hasil pengujian struktur mikro menunjukkan bahwa tekanan *upset* berpengaruh pada perubahan struktur mikro aluminium 6061-T6 dimana hasil pengujian menunjukkan kandungan Mg semakin menumpuk di daerah dekat sambungan.
2. Pengujian kekerasan metode vickers dengan pembebanan 200 gf menunjukkan bahwa terjadi perubahan nilai kekerasan pada material aluminium, perubahan terjadi pada setiap titiknya dimana semakin mendekati daerah sambungan nilai kekerasannya semakin menurun. Nilai kekerasan paling rendah pada sambungan variasi tekanan *upset* 90 MPa adalah 52,6 dimana daerah tersebut berada pada daerah sambungan las dan

nilai tertinggi 76,8 pada daerah logam induk, dan pada variasi tekanan *upset* 60 MPa nilai terendah pada daerah sambungan las yaitu: 56,5 dan tertinggi 75,2 berada pada daerah logam induk.

3. Pada hasil pengujian kekuatan tarik menunjukkan bahwa tekanan *upset* tidak memberikan perubahan yang berarti pada hasil kekuatan tarik untuk penggunaan tekanan *upset* 40 MPa sampai dengan 120 MPa.
4. Pada pengamatan faktografi menunjukkan bahwa patahan sambungan bersifat ulet yang diindikasikan dengan adanya deformasi plastis pada daerah sebelum patahan.

5. Daftar Pustaka

- Fitriyanto, M.N. 2014. Penyambungan *stainless steel austenitic* seri 316 dengan metoda *friction welding* terhadap kekuatan tarik, kekerasan, dan struktur mikro.
- Kusaka, M, Kimura M, Ishii H, Kaizul K dan Fuji A. 2009. Joining phenomena and joint strength of friction welded joint between aluminium– magnesium alloy (AA5052) and low carbon steel.
- Manufactured Technology Inc. Friction welding solutions for the Automotive industry. Dari <http://www.mtiwelding.com/industries/automotive/>. Diakses pada 2 juli 2017.
- Prasetyono, S. dan Subiyanto, H. 2012. Pengaruh durasi gesek, tekanan gesek dan tekanan tempa terhadap *impact strength* sambungan lasan gesek langsung pada baja karbon AISI 1045.
- Rahmanto, Y.A. 2016. Variasi kecepatan putar dan tekanan tempa pada friction welding terhadap sifat mekanik Al 6061.
- Santoso, E.B., Irawan, Y.S. dan Sutikno E. 2012. pengaruh sudut *chamfer* dan gaya tekan akhir terhadap kekuatan tarik dan porositas sambungan las gesek pada paduan Al-Mg-Si.