

HEAT GENERATION DAN PENGAMATAN VISUAL CACAT SAMBUNGAN ALUMINIUM SERI SERI Al-Mg-Si DENGAN *FRICTION* *STIR WELDING* (FSW)

Jarot Wijayanto¹, Murdjani², A. Gufrans³
Politeknik Negeri Banjarmasin^{1,2,3}
jarot@poliban.ac.id¹

ABSTRACT

The working principle of FSW is to utilize the friction of the workpiece that rotates with other workpieces that are still able to melt (due to heat generation) the stationary workpiece and finally those workpieces are connected to one. This research is conducted to know the heat generation and the defects occurred from the feed rate of the probe during the process so that the appropriate parameters will be obtained in connecting aluminium series Al-Mg-Si. In general FSW results are good in feed rate of 320 mm/min. There is a decrease in the heat input during the FSW process, which is 138% significant in the variable feed rate of 64 mm/min i.e: 70.98 KJ, of 40 mm/min of 506.35 KJ. There are 3 (three) kinds of defects FSW process, namely surface defects, deep and deformed defects of the weld.

Keywords : Weld, FSW, Heat Generation, Feed Rate, Aluminium

ABSTRAK

Prinsip kerja FSW adalah memanfaatkan gesekan dari benda kerja yang berputar dengan benda kerja lain yang diam sehingga mampu melelehkan (karena panas yang timbul/ heat generation) benda kerja yang diam tersebut dan akhirnya tersambung menjadi satu. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui panas yang timbul (heat generation) dan cacat yang terjadi dari vareasi kecepatan translasi (feed rate) dari probe saat proses berlangsung sehingga akan didapatkan parameter yang tepat dalam melakukan sambungan Aluminium seri Al-Mg-Si. Secara umum kualitas hasil FSW baik di feed rate 320 mm/menit. Terjadi penurunan masukan panas saat proses FSW berlangsung, yang signifikan 138 % pada variabel feed rate 64 mm/menit yaitu 70,98 KJ, dari 40 mm/menit sebesar 506,35 KJ. Terdapat 3 (tiga) macam cacat proses FSW, yaitu cacat permukaan, dalam dan cacat takikan ditembusan las.

Kata kunci : Las, FSW, Heat Generation, Feed Rate, Aluminium

PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi terjadi diberbagai bidang industri, salah satunya dalam metode pengelasan. Prosedur pengelasan yang kelihatannya sangat sederhana, tetapi sebenarnya di dalam prosesnya memiliki masalah-masalah yang harus diatasi dimana pemecahannya memerlukan bermacam-macam pengetahuan. Secara lebih terperinci dapat dikatakan bahwa dalam perancangan konstruksi bangunan dan mesin dengan sambungan las, harus direncanakan pula tentang metode pengelasan, cara pemeriksaan, bahan las dan mesin las yang akan dipergunakan, berdasarkan fungsi dari bagian-bagian bangunan atau mesin yang dirancang.

Berdasarkan pengertian dari *Deutche Industrie Normen* (DIN), las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam paduan yang dilakukan dalam keadaan lumer atau cair. Perkembangan teknik pengelasan tidak hanya dalam penyambungan konstruksi-konstruksi baja dan penyambungan konstruksi mesin, tetapi juga dapat digunakan untuk mengisi lubang akibat cacat dalam proses pengecoran pada logam dan sambungan las itu sendiri serta mempertebal bagian yang telah aus dan masih banyak lagi reparasi lainnya. Sejalan dengan meningkatnya proses produksi terutama dalam bidang manufaktur dan peningkatan keselamatan kerja serta penanganan pemanasan global, maka mendorong industri-industri manufaktur untuk mengembangkan proses dan metode kerja yang ramah lingkungan dan aman. *Friction stir welding* adalah salah satu hasil perkembangan teknologi dalam bidang las ramah lingkungan yang dapat di aplikasikan dalam industri manufaktur, beberapa contohnya adalah pembuatan bodi mobil dan bodi pesawat terbang. Selain itu, pengelasan dengan menggunakan metode ini akan

lebih aman, karena ketika proses pengelasan berlangsung tidak ada percikan gas atau logam yang mengancam keselamatan ataupun kilauan busur nyala yang dapat menyebabkan radiasi negatif bagi operatornya. Dibalik kelebihan yang ada, pengelasan dengan menggunakan metode ini juga mempunyai kekurangan, salah satunya adalah kurang fleksibel. Prinsip kerja FSW adalah memanfaatkan gesekan dari benda kerja yang berputar dengan benda kerja lain yang diam sehingga menimbulkan panas yang mampu melelehkan benda kerja yang diam tersebut dan akhirnya tersambung menjadi satu. Bersatunya dua bagian yang disambung (Aluminium seri Al-Mg-Si) ditentukan oleh parameter kecepatan translasi dan kecepatan putar probe sebagai faktor utama panas/*heat generation* sehingga perlu dilakukan proses dengan vareasi parameter tersebut diatas untuk mendapatkan proses sambungan yang tidak mengalami cacat.

FSW (*friction stir welding*) merupakan sebuah metode pengelasan yang telah ditemukan dan dikembangkan oleh Wayne Thomas untuk benda kerja *aluminium* dan *aluminium alloy* pada tahun 1991 di TWI (*The Welding Institute*) Amerika Serikat. *Friction stir welding* termasuk dalam kategori las gesek yang berpeluang menjadi proses pengelasan yang akan digunakan pada masa mendatang, karena biaya yang harus dikeluarkan untuk proses ini lebih rendah dari proses pengelasan yang lain.

Beberapa penelitian yang dilakukan terkait FSW adalah sebagai berikut :

J. Adamowski dan M. Szkodo., 2007, meneliti pengelasan aluminium AW6082-T6 dengan metode FSW. Dalam penelitiannya diperoleh bahwa perubahan sifat mekanik aluminium alloy AW6082-T6 yang telah dilas dengan metode *friction stir welding* terjadi ketika ada perubahan parameter, yaitu kecepatan putaran mesin dan *travel speed*. Hasil kekuatan tarik benda kerja lasan berbanding lurus dengan *travel speed* dan penurunan kekerasan terjadi disekitar daerah HAZ.

Z. Barlas dan H. Uzun., 2008, meneliti mengenai sifat mekanik dan struktur mikro dari pengelasan antara Cu dengan CuZn30 yang berupa lembaran dengan metode FSW. Dalam penelitiannya diperoleh bahwa pengelasan dengan metode *friction stir welding* pada material yang berbeda jenis antara Cu dan CuZn30 dapat dilakukan dengan baik. Hasil rata-rata pengujian tarik, kekuatan luluh serta *elongation* antara Cu dan CuZn30 yang dilas dengan metode *friction stir welding* adalah 235 MPa, 167 MPa dan 22%. Hasil uji kekerasan menunjukkan bahwa daerah yang berada diatas *stir zone* mempunyai kekerasan yang lebih tinggi dari pada daerah yang berada dibawah *stir zone*, dengan nilai kekerasan rata-rata pada daerah *stir zone* 72-107 Hv.

T. Yasui, M. Tsubaki dan M. Fukumoto., 2006, meneliti mengenai mampu las kecepatan tinggi dengan metode FSW antara paduan aluminium 6063 dengan baja karbon S400. Dalam penelitiannya diperoleh bahwa pembesaran diameter pada *shoulder* menghasilkan kekuatan tarik sebesar 160 MPa pada 4000 rpm dan *feed rate* 1000 mm/mnt. Hasil dari uji kekerasan menunjukkan bahwa terjadi penurunan lelerasan didaerah *stir zone* dan HAZ.

METODE PENELITIAN

Prinsip *Friction Stir Welding*

Gesekan dua benda yang terus-menerus akan menghasilkan panas, ini menjadi suatu prinsip dasar terciptanya suatu proses pengelasan gesek. Pada proses *friction stir welding*, sebuah *tool* yang berputar di tekankan pada material yang akan di satukan. Gesekan *tool* yang berbentuk silindris (*cylindrical-shoulder*) yang dilengkapi dengan sebuah *pin/probe* dengan material mengakibatkan pemanasan setempat yang mampu melunakan bagian tersebut. *Tool* bergerak pada kecepatan tetap (parameter1) dan bergerak melintang (parameter 2) pada jalur pengelasan (*joint line*) dari material yang akan di satukan. Dua parameter itu digerakan bersama-sama untuk menjaga suhu pada titik pengelasan.

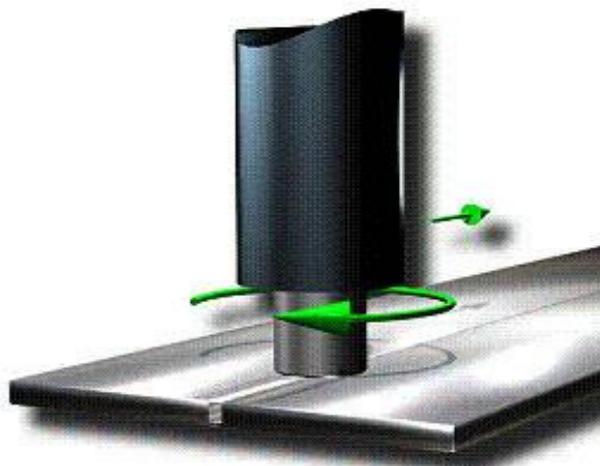
Parameter-Parameter Proses *Friction Stir Welding*

Pada proses pengelasan dengan metode *friction stir welding* ada beberapa parameter penting yang sangat berpengaruh dengan hasil lasan. Parameter-parameter tersebut adalah:

A. Rotasi Tool dan Kecepatan Melintang

Ada dua kecepatan alat yang harus diperhitungkan dalam pengelasan ini yaitu seberapa cepat *tool* itu berputar dan seberapa cepat *tool* itu melintasi jalur pengelasan (*joint line*). Kedua parameter ini harus ditentukan secara cermat untuk memastikan proses pengelasan yang efisien dan hasil yang memuaskan. Hubungan antara kecepatan pengelasan dan *input* panas selama proses pengelasan sangat kompleks, tetapi umumnya dapat dikatakan bahwa meningkatnya kecepatan rotasi dan berkurangnya kecepatan melintas akan mengakibatkan titik las lebih panas. Jika material tidak cukup panas maka arus pelunakan tidak akan optimal sehingga dimungkinkan akan terjadi cacat rongga atau cacat lain pada *stir zone*, dan kemungkinan *tool* akan rusak.

Tetapi input panas yang terlalu tinggi akan merugikan sifat akhir lasan karena perubahan karakteristik logam dasar material. Oleh sebab itu dalam menentukan parameter harus benar-benar cermat, input panas harus cukup tinggi untuk menjamin plastisitas material yang memadai, tetapi tidak terlalu tinggi untuk mencegah timbulnya sifat-sifat las yang merugikan.



Gambar 1. Gerakan *tool* (www.azom.com/details.asp%3farticle)

B. Kedalaman Ceburan dan Tekanan Tool

Kedalaman ceburan (*plunge depth*) didefinisikan sebagai kedalaman titik terendah *probe* di bawah permukaan material yang dilas dan telah diketahui sebagai parameter kritis yang menjamin kualitas lasan. *Plunge depth* perlu diatur dengan baik untuk menjamin tekanan ke bawah tercapai, dan memastikan *tool* penuh menembus lasan. *Plunge depth* yang dangkal dapat mengakibatkan cacat dalam lasan, sebaliknya *plunge depth* yang berlebihan bisa mengakibatkan kerusakan pin karena berinteraksi dengan alasnya.

Tekanan *shoulder* diharapkan untuk menjaga material lunak tidak keluar jalur dan memberi efek tempa (*forging*). Material panas di tekan dari atas oleh *shoulder* dan di tahan oleh alas dari bawah. Proses ini bertujuan untuk memadatkan material sehingga penguatan sambungan terjadi akibat efek tempa tersebut.

Selain itu tekanan *shoulder* juga menghasilkan *input* panas tambahan karena permukaannya yang lebih besar bergesekan dengan material.

C. Rancangan Tool

Rancangan *tool* adalah faktor yang sangat mempengaruhi kualitas hasil lasan, karena rancangan *tool* yang tepat dapat meningkatkan kualitas las dan kecepatan las semaksimal mungkin. Panas yang dihasilkan dari gesekan *tool* dan material yang akan dilas sekitar 70 – 80% dari temperatur titik lebur material yang akan dilas tersebut. Material *tool* harus

memiliki titik cair yang lebih tinggi dari material las, agar ketika proses pengelasan berlangsung material tool ikut tercampur dengan lasan.

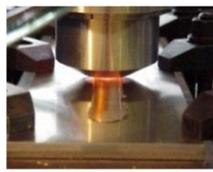
Material tool harus mempunyai kekuatan yang cukup pada temperatur ini karena jika tidak maka tool dapat terpuntir dan retak. Oleh sebab itu diharapkan material *tool* cukup kuat, keras dan liat, pada suhu pengelasan. Sebaiknya material yang digunakan juga mempunyai ketahanan oksida yang baik dan penghantar panas rendah untuk mengurangi kerugian panas dan kerusakan termal pada mesin.

Desain *tool* terdiri dari *shoulder* dan *pin*. *Pin* berfungsi untuk menghasilkan panas dan menggerakkan material yang sedang dilas. *Shoulder* memiliki beberapa fungsi antara lain:

1. Sebagai pelindung dari kemungkinan masuknya suatu material berbeda.
2. *Shoulder* yang berdiameter lebih besar, berperan untuk mempertahankan dan menjaga agar material *plasticised* tidak keluar dari daerah las.
3. *Shoulder* memberi tekanan kebawah yang memberi efek tempa pada lasan.
4. *Shoulder* juga menyediakan *input* panas tambahan, karena luas permukaan yang bergesekan dengan material las lebih besar maka panas yang dihasilkan juga lebih besar.

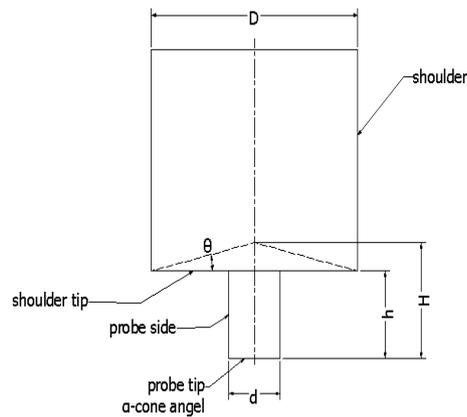
Proses Pengelasan

Tabel 1. Proses Pengelasan (www.msm.cam.ac.uk/phasetrans/2003/FSW)

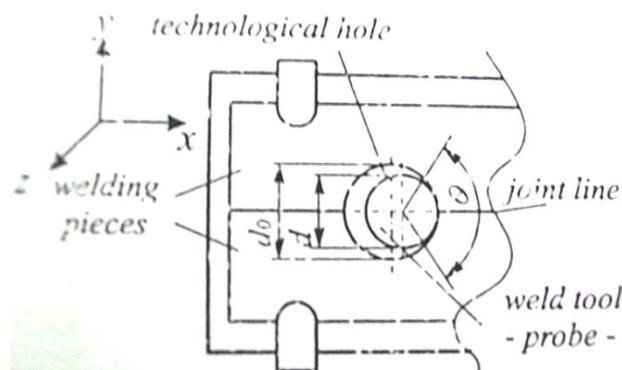
No Step	Gambar	Keterangan
1		<ol style="list-style-type: none">1. Benda kerja dicekam dimeja kerja2. <i>Tool</i> berputar dan digesek ke benda kerja
2		<ol style="list-style-type: none">1. Benda kerja mulai mencair
3		<ol style="list-style-type: none">1. <i>Tool</i> ditarik melintang searah daerah yang dilas
4		<ol style="list-style-type: none">1. Hasil las

Metode Analisa Penghitungan *Heat Generation*

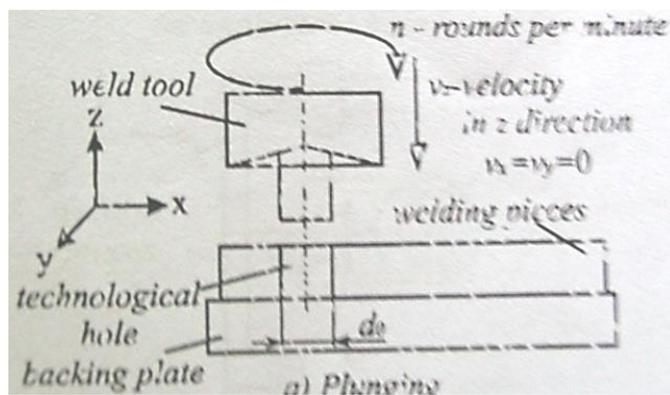
Panas yang terjadi ketika pengelasan FSW pada prinsipnya terjadi karena ada gesekan antara dua material yang salah satunya dinamis dan satunya lagi statis. *Shoulder* yang berguna sebagai *tool* dalam pengelasan FSW mempunyai beberapa bagian yang bersinggungan dan bergesekan dengan material yang akan dilas. Akibat dari gesekan tersebut maka akan menimbulkan panas yang akhirnya akan mengikat dua material yang dilas. B. Durdanovic, M. M. Mijajlocovic et al, 2009, merumuskan bahwa *heat generation* yang terjadi ketika proses pengelasan FSW terjadi, adalah sebagai berikut:



Gambar 2. Basic shape of FSW tool (Durdanovic.M. B, et al.,2009)



Gambar 3. Sudut kontak θ (Durdanovic.M. B,et al.,2009)



Gambar 4. Probe dan technological hole (Durdanovic.M. M.,dkk,2009)

$$Q = Q_{\text{adhesion}} + Q_{\text{deformation}} \dots\dots\dots (1)$$

$$Q_{\text{adhesion}} = Q_{\text{sliding}} ; Q_{\text{deformation}} = Q_{\text{sticking}} \dots\dots\dots (2)$$

$$Q = Q_{\text{pt}} + Q_{\text{ps}} + Q_{\text{st}} \dots\dots\dots (3)$$

1. *Shoulder tip surface:*

Sticking

$$Q_{st} = \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot \tau \cdot \omega \cdot \left[\left(\frac{D}{2} \right)^3 - \left(\frac{d}{2} \right)^3 \right] \cdot (1 + \tan \alpha) \times \frac{L}{V} \dots\dots\dots(4)$$

Sliding

$$Q_{st} = \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot \mu \cdot p \cdot \omega \cdot \left[\left(\frac{D}{2} \right)^3 - \left(\frac{d}{2} \right)^3 \right] \cdot (1 + \tan \alpha) \times \frac{L}{V} \dots\dots\dots(5)$$

2. *Tool probe tip surface:*

Sticking

$$Q_{pt} = \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot \tau \cdot \omega \cdot \left[\left(\frac{d}{2} \right)^3 - \left(\frac{d_0}{2} \right)^3 \right] \times \frac{L}{V} \dots\dots\dots(6)$$

Sliding

$$Q_{pt} = \frac{2}{3} \cdot \mu \cdot p \cdot \omega \cdot \left[\left(\frac{d}{2} \right)^3 - \left(\frac{d_0}{2} \right)^3 \right] \times \frac{L}{V} \dots\dots\dots(7)$$

3. *Tool probe side surface:*

Sticking

$$Q_{pt} = \theta \cdot \tau \cdot \omega \cdot \left(\frac{d}{2} \right)^2 \cdot H \times \frac{L}{V} \dots\dots\dots(8)$$

Sliding

$$Q_{pt} = \theta \cdot \mu \cdot p \cdot \omega \cdot \left(\frac{d}{2} \right)^2 \cdot H \times \frac{L}{V} \dots\dots\dots(9)$$

Dimana:

- D = Diameter *shoulder* (m)
- d = Diameter *probe* (m)
- d₀ = Diameter bentukan *probe* (m)
- α = Kemiringan *shoulder tip*
- μ = Koefisien gesek
- ω = Kecepatan sudut (rad/sec)
- τ = Tegangan geser (N/m²)
- p = Tekanan (N/m²)
- V = *Feed rate* (mm/mnt)
- L = Panjang lintasan (m)

HASIL DAN PEMBAHASAN

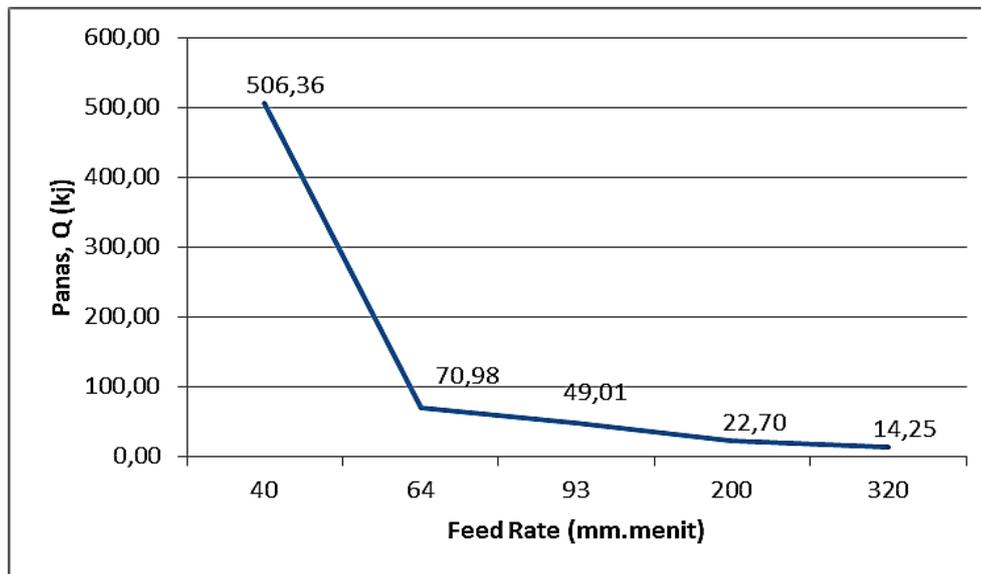
Analisa Heat Generation

Hasil pelaksanaan pengelasan alumunium dengan menggunakan metode FSW, memungkinkan terjadinya perubahan struktur mikro dan kemampuan fisiknya akibat dari perubahan temperatur. M.B. Durdanovic, M. B., 2009, dalam jurnalnya menyatakan bahwas panas yang dibangkitkan 85% berasal dari *shoulder tip surface* dan 15% dari *probe*.

Pada analisa ini, *heat generation* yang dihitung diasumsikan sebagai *heat generation* ketika tool berjalan melintang. Penghitungan panas yang dibangkitkan (*heat generation*) seperti pada persamaan (1 – 9), adalah sebagai berikut:

Tabel 2. *Heat Generation*

No	Feed rate (mm/mnt)	Q_{st} (kJ)	Q_{pt} (kJ)	Q_{ps} (kJ)	Q(kJ)
1	40	506.3	0	0.059	506.359
2	64	70.97	0	0.008	70.978
3	93	49	0	0.006	49.006
4	200	22.7	0	0.003	22.703
5	320	14.25	0	0.002	14.252

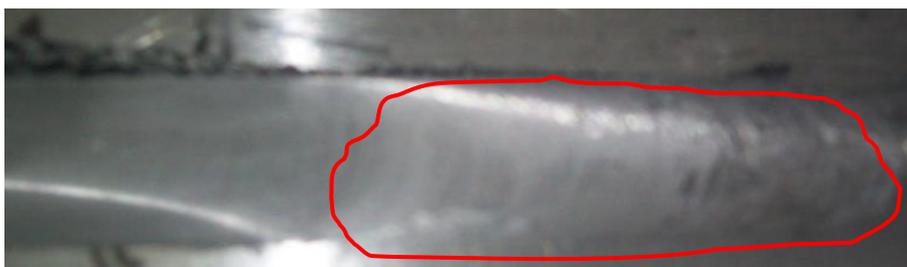


Gambar 6. Grafik Penurunan Panas dengan Bertambahnya *Feed Rate*

Analisa Cacat-Cacat

Dalam pelaksanaan pengelasan alumunium dengan menggunakan metode FSW terdapat beberapa cacat. Cacat-cacat yang terjadi selain yang sudah diterangkan diatas, terdapat juga beberapa cacat yang diakibatkan oleh kurang bagusnya pengerjaan pengelasan. Yaitu:

1. Cacat permukaan



Gambar 6. Cacat permukaan

Cacat permukaan tersebut di karenakan karena permukaan shoulder kurang menyentuk dengan material alumunium. Faktor-faktor lain yang menyebabkan cacat permukaan, antara lain:

- a. Perbedaan ketebalan dari sisi-sisi raw material
- b. Kurang kokohnya *bed machine*
- c. Keausan dari bagian-bagian pendukung dari *spindle machine*

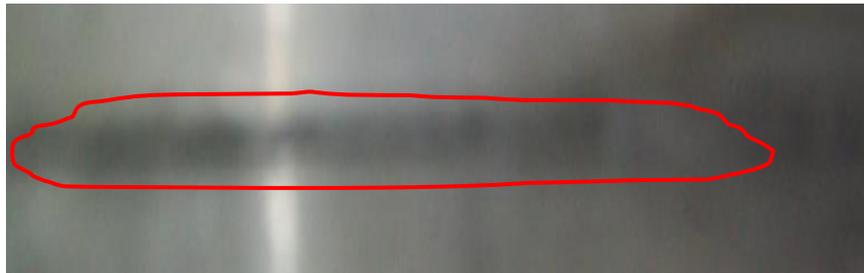
2. Cacat dalam



Gambar 7. Cacat dalam

Cacat dalam terjadi pada jarak $\pm 5-10$ mm dari daerah akhir pengelasan di hampir setiap sampel pengerjaan, penyebab dari cacat ini kurang diketahui dengan pasti. Hal ini berkebalikan dengan permukaan potong material yang kurang rata, meskipun permukaan potong kurang rata tetapi cacat dalam sedikit terjadi bahkan tidak terjadi.

3. Cacat takikan di tembusan las



Gambar 8. Cacat takikan

Cacat takikan terjadi didaerah tembusan las, akibat kurang rataanya permukaan potong alumunium atau terlalu renggang jarak antara 2 plat yang akan dilas. Meskipun terjadi cacat takikan ditembusan las tidak serta-merta menyebabkan cacat-cacat yang lain seperti cacat dalam atau cacat permukaan.

KESIMPULAN

1. Terjadi penurunan masukan panas saat proses FSW berlangsung, yang signifikan 138 % pada variabel *feed rate* 64 mm/menit yaitu 70,98 KJ, dari 40 mm/menit sebesar 506,35 KJ. Penurunan masukan panas terus berlangsung semakin tinggi nilai *feed rate*; dan
2. Terdapat 3 (tiga) macam cacat proses FSW, yaitu cacat permukaan, dalam dan cacat takikan ditembusan las.
3. Secara umum kualitas hasil FSW baik di *feed rate* 320 mm/menit

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada :

1. Agda Anelis, Astra Otopart Engineering Development Center
2. Pusat Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat, Politeknik Negeri Banjarmasin.

DAFTAR PUSTAKA

- Adamowski, J. & Szkodo, M., 2007, "Friction Stir Welds (FSW) of Aluminium Alloy AW6082-T6", Journals of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, Vol. 20, ISSUES.1-2 Jan-Feb 2007. Pages.403-406
- Budinski Kenneth G, 1989, "*Engineering Materials Properties and Selection*", Prentice-Hall International, Inc, London.
- Durdanović, M. B., Mijajlovic, M.M., Milcic, D. S. dan Stamenkovic , D. S., 2009, " Heat generation During Friction Stir Welding Process", J. Tribology in Industry, Vol. 31, No.1&2.
- Mroczka, K., Dutkiewicz, J., Ltynska-Dobrzyńska dan Pietras, A., 2008, "Microstructure and Properties of FSW joint of 2017A/6013 Aluminium Alloy Sheets", J. International Scientific, Vol 33, page 93-96.
- Surdia, T., dan Shinroku., 1992, "*Pengetahuan Bahan Teknik*", PT Pradnya Paramita, Jakarta.
- Wirjosumarto Harsono, Okumura Toshie, 1996, "Teknologi Pengelasan Logam", PT Pradnya Paramita, Jakarta
- Vurala, M, A. Ogur b, G. Cam c, and C. Ozarpa d, .2007, On the friction stir welding of aluminium alloys EN AW 2024-0 and EN AW 5754-H22, "J. International Scientific" Volume 28 Issue 1 January 2007 Pages 49-54.