

**PENGARUH DIAMETER DAN SUDUT *CHAMFER* TERHADAP
DISTRIBUSI TEMPERATUR METODE PENGELASAN CDFW
LOGAM AL-6061 DENGAN LOGAM SS-304**

**JURNAL
TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**AHMAD YASIN YUSUF
NIM. 125060200111049**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2016**

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH DIAMETER DAN SUDUT *CHAMFER* TERHADAP
DISTRIBUSI TEMPERATUR METODE PENGELASAN CDFW
LOGAM AL-6061 DENGAN LOGAM SS-304**

JURNAL

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



AHMAD YASIN YUSUF
NIM. 125060200111049

Jurnal ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 6 Desember 2016

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Eng. Moch. Agus Choiron, ST., MT.
NIP. 19720817 200003 1 001

Ir. Endi Sutikno, MT.
NIP. 19590411 198710 1 001

Mengetahui
Ketua Program Studi S1

Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST., MT.
NIP. 19750802 199903 2 002

PENGARUH DIAMETER DAN SUDUT *CHAMFER* TERHADAP DISTRIBUSI TEMPERATUR METODE PENGELASAN CDFW LOGAM AL-6061 DENGAN LOGAM SS-304

Ahmad Yasin Yusuf, Moch. Agus Choiron, Endi Sutikno
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia
E-mail: a.yasinyusuf@gmail.com

Abstrak

Teknologi CDFW (*continous drive friction welding*) mulai dikembangkan karena prosesnya yang murah, cepat, dan aman. CDFW dilakukan dengan cara memberikan rotasi ke benda kerja pertama dan memberikan tekanan ke benda kerja kedua sehingga menimbulkan gesekan. Gesekan yang terjadi menghasilkan panas yang dapat menyambungkan kedua benda kerja tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh diameter dan sudut *chamfer* terhadap distribusi temperatur benda kerja yang dihasilkan dari proses pengelasan CDFW. Material yang digunakan pada benda kerja pertama yakni Al-6061 yang memiliki temperatur rekristalisasi sebesar 315,56⁰C dan temperatur cair sebesar 660⁰C. Material yang digunakan pada benda kerja kedua yakni SS-304 yang memiliki temperatur rekristalisasi sebesar 537,78⁰C dan temperatur cair sebesar 1523,889⁰C. Penelitian ini menggunakan *software* berbasis elemen hingga. *Modelling* diatur dengan cara material Al-6061 dirotasi dengan kecepatan 1200Rpm dan material SS-304 ditekan dengan *friction pressure* sebesar 50Mpa selama *friction time* 1 detik. Pada material Al-6061 diberikan sudut *chamfer* dengan variasi 0⁰, 15⁰, dan 30⁰ sedangkan variasi diameter benda kerja yakni 1,5 cm, 2 cm, dan 2,5 cm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin kecil sudut *chamfer* dan semakin besar diameter benda kerja menyebabkan distribusi temperatur yang dihasilkan semakin besar yang diakibatkan oleh proses pengelasan CDFW. Temperatur tertinggi dihasilkan oleh variasi diameter 2,5 cm sudut *chamfer* 0⁰ yakni 423,64⁰C. Sedangkan temperatur terendah dihasilkan oleh variasi diameter 1,5 cm sudut *chamfer* 30⁰ yakni 152,52⁰C. Pada prosesnya, material yang digunakan akan menyambung apabila salah satu benda kerja telah mencapai temperatur rekristalisasinya. Penyambungan las CDFW yang baik apabila daerah sambungan las berada di antara temperatur rekristalisasi dan temperatur cair material. Berdasarkan asumsi tersebut, maka variasi diameter diameter 2,5 cm sudut *chamfer* 0⁰ memungkinkan memiliki hasil pengelasan yang paling baik, karena telah mencapai temperatur rekristalisasi material Al-6061 dan di bawah temperatur cair material Al-6061.

Kata kunci: *Continous drive friction welding*, diameter benda kerja, sudut *chamfer*, temperatur.

PENDAHULUAN

Dewasa ini, Indonesia sudah tergabung dalam kerja sama ekonomi antar negara ASEAN atau lebih dikenal AFTA (*Asean Free Trade Area*). Dalam menanggapi hal tersebut, Indonesia tentu terus mengembangkan perekonomiannya dengan cara mengembangkan berbagai sektor perekonomian. Salah satunya dengan cara mengembangkan teknologi pengelasan yang sering digunakan pada bidang industri manufaktur.

Salah satu teknologi pengelasan yakni las gesek CDFW (*continous drive friction welding*). Pengelasan dengan teknik ini dapat dijumpai dalam proses

pengelasan pipa, poros, garda truk, *connecting rod*, *impeller* pesawat terbang, dan piston. Pengelasan CDFW memiliki kelebihan yakni, menggunakan alat yang relatif sederhana, waktu pengelasan relatif singkat, mampu mengelas logam yang tidak sejenis, tidak memiliki dampak berbahaya bagi kesehatan, dan tidak memerlukan logam pengisi/ *filler*.

Proses pengelasan CDFW yakni salah satu benda kerja dipasangkan pada unit dengan penggerak motor yang menyebabkan benda kerja tersebut bergerak secara translasi dengan diberikan tekanan (*friction pressure*), sedangkan benda kerja satunya dihubungkan dengan

unit penggerak motor sehingga benda kerja tersebut mampu berotasi dengan *rotational speed* yang konstan. Gesekan yang terjadi antara kedua permukaan benda kerja tersebut menimbulkan panas yang semakin meningkat sehingga mampu menyebabkan kedua benda kerja tersambung. Hal ini terus dilakukan sampai batas waktu yang telah ditentukan (*friction time*). Energi panas yang terjadi selama proses pengelasan tersebut dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$Q = \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot \mu \cdot \omega \cdot P \cdot r^3 \cdot \eta \quad (1)$$

Keterangan:

Q : Jumlah energi per satuan waktu yang terjadi permukaan las (Watt) (1 Watt = 0,2388Kalori/s)

P : *Friction pressure* (N/m²)

ω : Kecepatan sudut (rad/s)

r : Radius benda kerja/ permukaan yang bergesekan (m)

μ : Koefisien gesek

η : *Inelastic heat fraction* (%)

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh diameter benda kerja dan sudut *chamfer* terhadap temperatur benda kerja selama proses *friction time*. Penelitian ini menggunakan material Al-6061 dan SS-304, dimana kedua material bersifat mampu las, dan daya tahan terhadap korosi yang baik.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode simulasi. Penelitian ini menggunakan *software Ansys workbench 14.5*. *Software* ini di-*setting* dengan menyambungkan analisis *transient thermal* dengan analisis *static structural*. Kemudian, memasukkan *properties* material Al-6061 (tabel 1) dan SS-304 (tabel 2, tabel 3, tabel 4, dan tabel 5).

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- a. Variabel bebas
 - Diameter benda kerja : 1,5 cm, 2 cm, dan 2,5 cm.
 - Sudut *chamfer* : 0⁰, 15⁰, dan 30⁰.
- b. Variabel terikat
 - Temperatur benda kerja.
- c. Variabel terkontrol
 - Material yang digunakan Al-6061 dan SS-304.
 - Panjang benda kerja sebesar 5 cm.
 - Koefisien gesek sebesar 0,3.
 - *Rotational speed* sebesar 1400 rpm.
 - *Friction pressure* sebesar 50 Mpa.
 - *Friction time* selama 1 detik.
 - *Inelastic heat fraction* diasumsikan sebesar 30%.
 - Benda kerja yang di-*chamfer* adalah material Al-6061 dengan ketebalan *chamfer* sebesar 0,2 cm.
 - *Meshing* diatur secara *default*.

Tabel 1 : Properti material Al-6061 dipengaruhi temperatur

Properti	Densitas (kg/m ³)	Modulus Young (Gpa)	Poisson's Ratio	Konduktivitas Termal (W/m ⁰ C)	Specific Heat (J/Kg ⁰ C)	
Temperatur	37,8 (°C)	2.69	68,5	0,33	162	945
	93,3 (°C)	2.69	66,2	0,33	177	978
	149 (°C)	2.67	63,1	0,33	184	1
	204 (°C)	2.66	59,2	0,33	192	1.03
	260 (°C)	2.66	54	0,33	201	1.052
	316 (°C)	2.63	47,5	0,33	207	1.08
	371 (°C)	2.63	40,3	0,33	217	1.1
	427 (°C)	2.6	31,7	0,33	223	1.13

Tabel 2: Massa jenis SS-304 dipengaruhi temperatur

Temperatur (°C)	Densitas (kg/m ³)
20	7.91
90	7.88
200	7.84
320	7.79
430	7.74
540	7.69
650	7.64
760	7.59
870	7.54

Tabel 5: *Specific Heat* SS-304 dipengaruhi temperatur

Temperatur (°C)	<i>Specific Heat</i> (J/Kg ⁰ C)
20	456
90	490
200	532
320	557
430	574
540	586
650	599
760	620
870	645

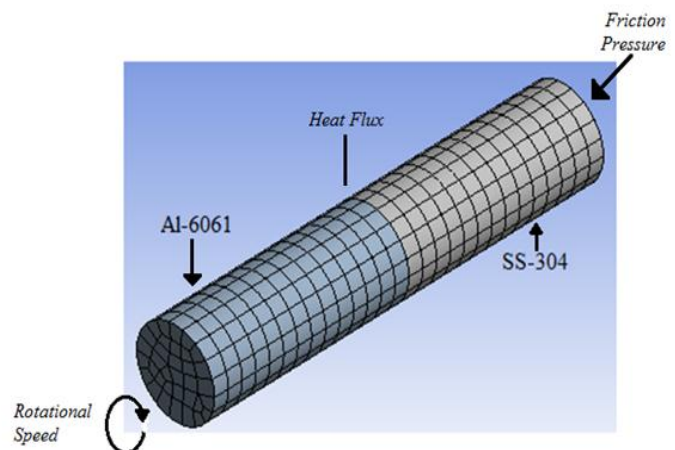
Tabel 3: Modulus young dan *Poissons ratio* SS-304 dipengaruhi temperatur

Temperatur (°C)	Modulus Young (Gpa)	<i>Poissons Ratio</i>
20	200	0,28
100	194	0,28
200	186	0,28
300	179	0,28
400	172	0,28
500	165	0,28

Tabel 4: Konduktivitas termal SS-304 dipengaruhi temperatur

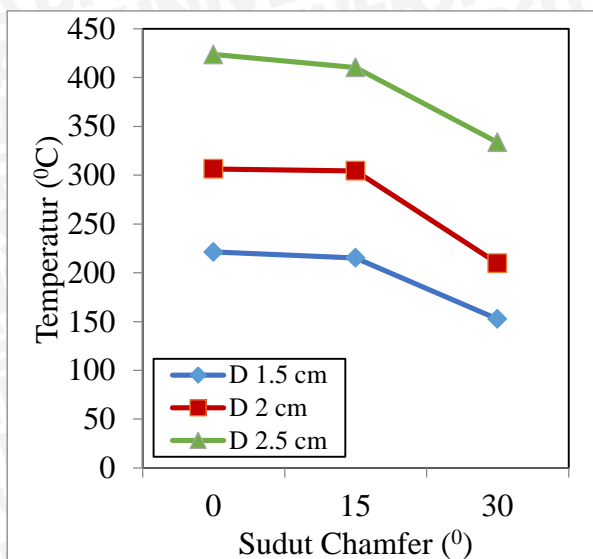
Temperatur (°C)	Konduktivitas Termal (W/m ⁰ C)
200	17,445
400	20,289
600	20,934

Setup penelitian pada gambar 1 dibuat berdasarkan penelitian sebelumnya (Srija, 2013). Gambar 1 menunjukkan skematik benda kerja yang terdiri dari 2 spesimen. Spesimen pertama (Al-6061) diputar dengan *rotational speed* sebesar 1400Rpm dan spesimen kedua (SS-304) ditekan dengan *friction pressure* sebesar 50Mpa. Koefisien gesek dan *heat flux* diaplikasikan pada kedua benda kerja yang bergesekan, dimana nilai *heat flux* didapatkan dari rumus (1).



Gambar 1: *Setup* penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

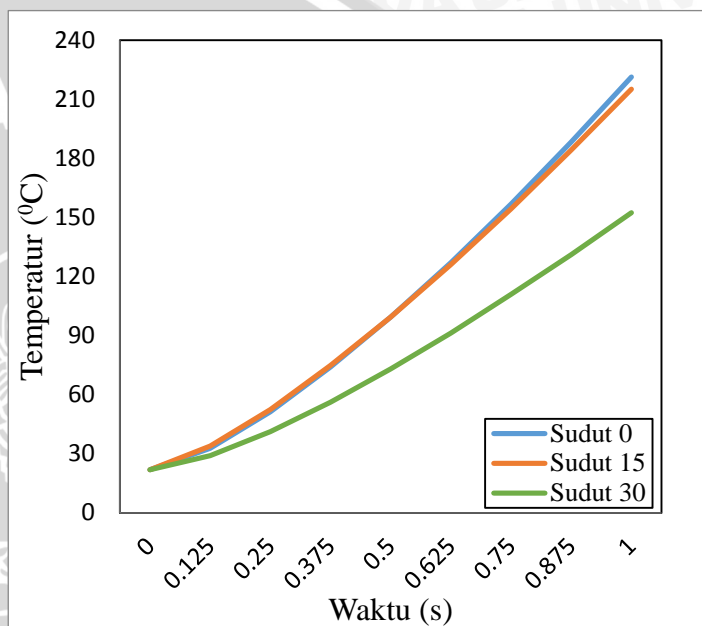


Gambar 2: Grafik hubungan pengaruh diameter dan sudut *chamfer* terhadap temperatur maksimum benda kerja.

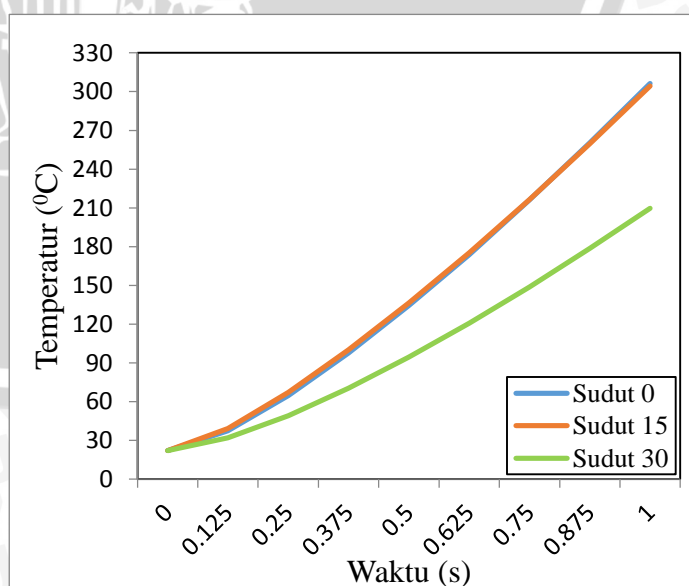
Pada gambar 2, dapat diamati nilai temperatur untuk variasi diameter 1,5 cm terbesar yakni variasi sudut *chamfer* 0° sebesar 221,29°C, diikuti dengan variasi sudut *chamfer* 15° sebesar 215,19°C, dan variasi sudut *chamfer* 30° sebesar 152,52°C. Nilai temperatur untuk variasi diameter 2 cm terbesar yakni variasi sudut *chamfer* 0° sebesar 306,39°C, diikuti dengan variasi sudut *chamfer* 15° sebesar 304,36°C, dan variasi sudut *chamfer* 30° sebesar 209,58°C. Nilai temperatur untuk variasi diameter 2,5 cm terbesar yakni variasi sudut *chamfer* 0° sebesar 423,64°C, diikuti dengan variasi sudut *chamfer* 15° sebesar 410,34°C, dan variasi sudut *chamfer* 30° sebesar 333,57°C.

Pada gambar 2, dapat diamati yakni semakin besar diameter benda kerja, maka semakin besar nilai temperatur maksimum yang dihasilkan. Hal tersebut dikarenakan semakin besar diameter benda kerja maka semakin besar luas permukaan yang bergesekan. Gesekan yang antara kedua benda kerja menghasilkan *heat flux* sehingga mampu meningkatkan nilai temperatur kedua benda kerja tersebut.

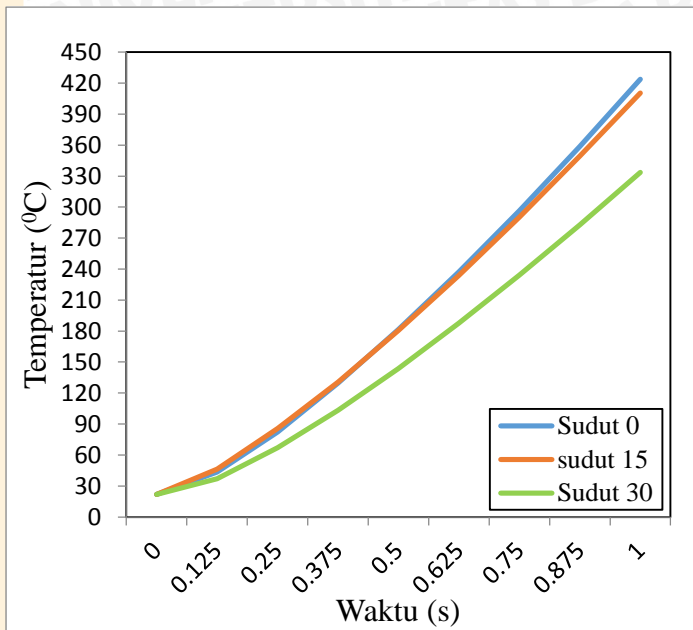
Selain itu, semakin besar sudut *chamfer* benda kerja (Al-6061) maka nilai temperatur maksimum yang dihasilkan semakin kecil. Hal ini dikarenakan semakin besar sudut *chamfer* menyebabkan semakin kecil luas permukaan yang bergesekan. Gesekan antara kedua benda kerja menghasilkan energi panas sehingga mampu meningkatkan nilai temperatur kedua benda kerja tersebut.



Gambar 3: Grafik kenaikan temperatur benda kerja variasi diameter 1,5 cm.



Gambar 4 : Grafik kenaikan temperatur benda kerja variasi diameter 2 cm.



Gambar 5 : Grafik kenaikan temperatur benda kerja variasi diameter 2,5 cm.

Pada gambar 3, gambar 4, dan gambar 5 menggambarkan grafik pengaruh diameter dan sudut *chamfer* terhadap kenaikan temperatur benda kerja. Pada ketiga grafik tersebut untuk variasi sudut *chamfer* 0° menghasilkan kenaikan temperatur tertinggi, kemudian diikuti oleh variasi sudut *chamfer* 15°, dan yang terendah yakni variasi sudut *chamfer* 30°.

Pada gambar- gambar tersebut dapat diamati semakin bertambahnya *friction time*, maka semakin besar pula temperatur yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan seiring bertambahnya waktu maka jumlah putaran yang dihasilkan akan semakin bertambah dan menyebabkan bertambahnya gesekan yang terjadi antar kedua benda kerja. Gesekan yang terjadi menghasilkan energi panas yang meningkatkan temperatur benda kerja.

Pada gambar 6 memberikan informasi tentang distribusi temperatur benda kerja untuk semua variasi. Untuk gambar 7, gambar 8, dan gambar 9 menginformasikan grafik distribusi temperatur untuk semua variasi sudut *chamfer*. Distribusi yang ditunjukkan yakni mulai dari ujung benda kerja Al-

6061 sampai dengan ujung benda kerja SS-304 yang masing- masing benda kerja memiliki panjang sebesar 5 cm. Pada gambar tersebut benda kerja Al-6061 dimulai dari 0 sampai 5 cm, sedangkan benda kerja SS-304 dimulai dari 5 sampai 10 cm.

Pada gambar 6, distribusi temperatur tertinggi dimiliki oleh variasi diameter 2,5 cm sudut *chamfer* 0° sebesar 423,640°C. Sedangkan distribusi temperatur terendah dimiliki oleh variasi diameter 1,5 cm sudut *chamfer* 30° sebesar 152,52°C.

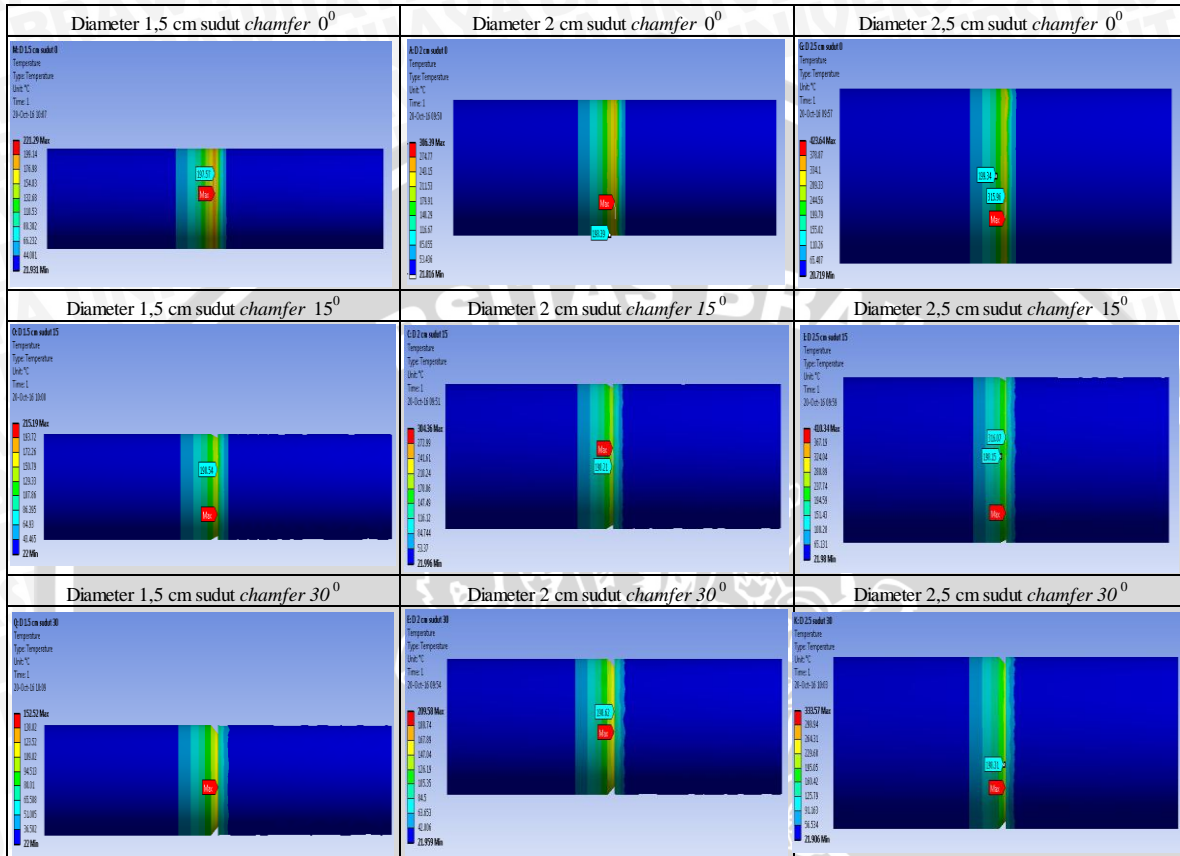
Dalam pengelasan dikenal istilah daerah sambungan las atau *heat affected zone* (HAZ). Zpl atau *fully plasticized zone* yakni daerah HAZ yang mengalami deformasi plastis secara keseluruhan dan menyatu saat pengelasan ditandai dengan telah memasuki temperatur rekristalisasi (Adib, 2016) untuk material Al-6061 sebesar 315,56°C dan untuk material SS-304 sebesar 537,78°C. Zpd atau *partly deformed zone* yakni daerah HAZ yang mengalami deformasi sebagian yang diakibatkan oleh proses pengelasan ditandai dengan telah memasuki temperatur deformasi plastis akibat panas (Sahin, 2006) dan pada pengelasan dua jenis logam yang berbeda akan mengakibatkan deformasi yang tidak simetris antara kedua benda kerjanya karena perbedaan temperatur cair yang berbeda (Khan, 2011). Untuk material Al-6061 sebesar 198°C dan material SS-304 sebesar 457,1667°C. Zud atau *undeformed region* yakni daerah yang tidak terpengaruh panas sehingga tidak terjadi deformasi pada bagian tersebut yang ditandai dengan belum memasuki temperatur deformasi plastis akibat panas untuk material Al-6061 dibawah temperatur 198°C dan untuk material SS-304 dibawah temperatur 457,1667°C.

Pada penelitian ini, variasi yang memiliki kualitas yang baik ditunjukkan oleh variasi diameter 2,5 cm sudut

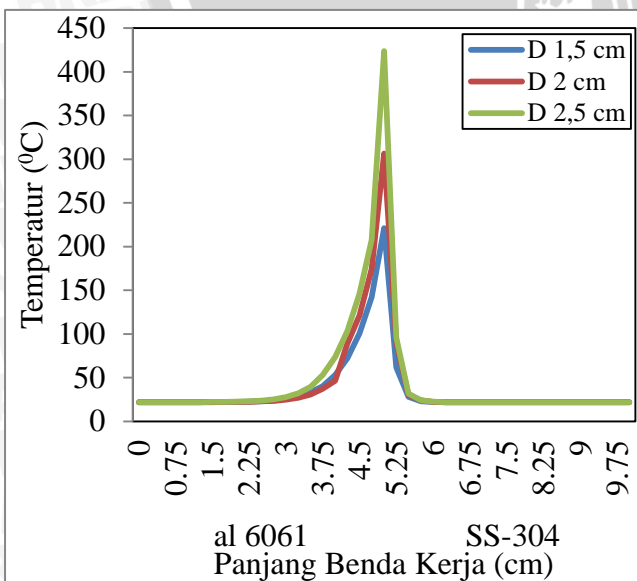


chamfer 0° , variasi diameter 2,5 cm sudut chamfer 15° , dan variasi diameter 2,5 cm sudut chamfer 30° , sedangkan untuk variasi yang lain dibutuhkan *friction time* yang lebih lama agar dapat menyambung yakni sampai salah satu material telah

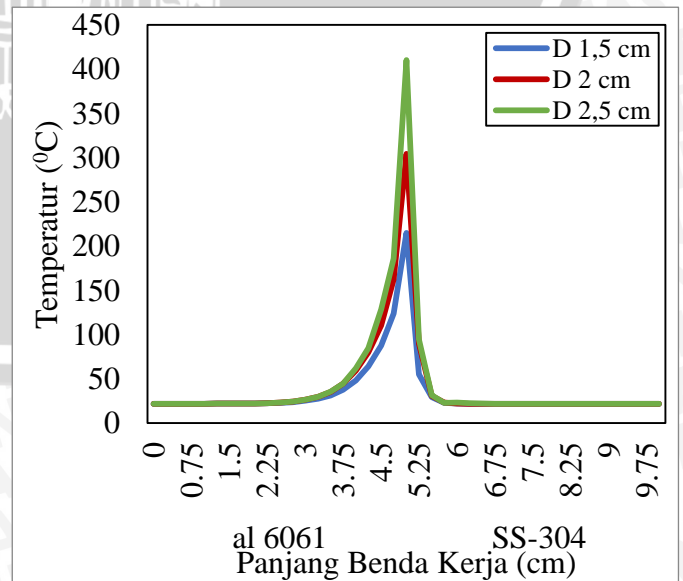
mencapai temperatur rekristalisasi. Dalam hal tersebut, semakin luas daerah zpl maka sambungan yang terbentuk akan semakin baik dan kekuatannya semakin tinggi (Lin *et al*,1999).



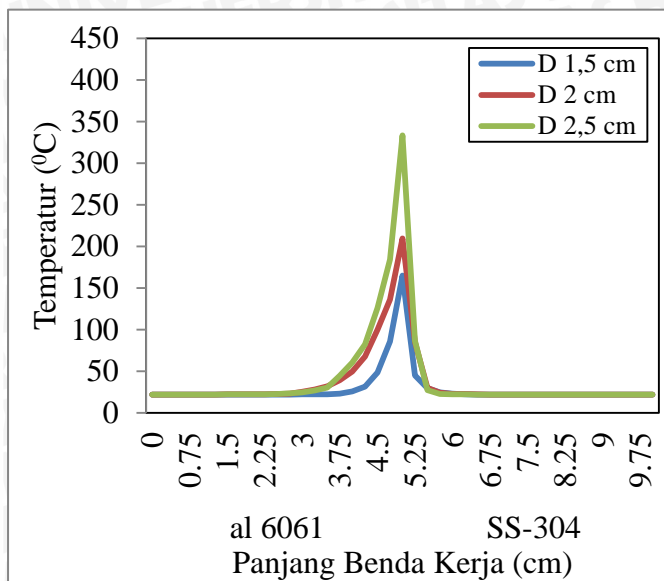
Gambar 6 : Distribusi temperatur benda kerja.



Gambar 7: Grafik distribusi temperatur benda kerja variasi sudut chamfer 0° .



Gambar 8: Grafik distribusi temperatur benda kerja variasi sudut chamfer 15° .



Gambar 9: Grafik distribusi temperatur benda kerja variasi sudut *chamfer* 30°.

Pada gambar 7, gambar 8, dan gambar 9, dapat diamati yakni setiap variasi untuk benda kerja Al-6061 memiliki distribusi temperatur yang lebih tinggi daripada benda kerja SS-304. Perubahan temperatur dipengaruhi oleh *specific heat* ($J/Kg^{\circ}C$) yakni, besar energi yang dibutuhkan untuk menaikkan setiap $1^{\circ}C$ per 1kg. Pada benda kerja Al-6061 memiliki *specific heat* yang lebih tinggi daripada benda kerja SS-304. Hal ini menyebabkan energi yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur Al-6061 lebih tinggi daripada SS-304. Selain itu, perubahan temperatur juga dipengaruhi oleh konduktivitas termal ($W/m^{\circ}C$) yakni, kemampuan material untuk menghantarkan panas. Pada benda kerja Al-6061 memiliki konduktivitas termal yang lebih tinggi daripada benda kerja SS-304. Hal tersebutlah yang menyebabkan distribusi temperatur benda kerja Al-6061 lebih tinggi daripada benda kerja SS-304.

KESIMPULAN

1. Semakin kecil sudut *chamfer* pada benda kerja menyebabkan semakin besar temperatur benda kerja yang

dihasilkan pada proses pengelasan *continuous drive friction welding*.

2. Semakin besar diameter benda kerja menyebabkan semakin besar temperatur benda kerja yang dihasilkan pada proses pengelasan *continuous drive friction welding*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ardianto, Alfian Ferry, Irawan, Yudi Surya, dan Soenoko, Rudy. 2015. *Kekuatan Puntir Sambungan Las Gesek Al-Mg-Si dengan Variasi Sudut Chamfer Dua Sisi dan Kekasaran*. Universitas Brawijaya. Malang, Indonesia.
- [2] Afriansyah, Adib, Irawan, Yudi Surya, dan Widodo, Teguh Dwi. 2016. Pengaruh Variasi Waktu Gesekan dan Sudut *Chamfer* Terhadap Nilai Kekuatan Tarik Sambungan Las Gesek Al-Mg-Si Dengan *Upset Force* 500 kgf. Universitas Brawijaya. Malang, Indonesia.
- [3] Avner, S. H. 1997. *Introduction to Physical Metallurgy, second edition*. New York : McGraw-Hill. USA.
- [4] Can, Ahmet, Sahin, Mumin, dan Kucuk, Mahmut. 2010. *Modelling of Friction Welding*. Trakya University. Turkey.
- [5] Cengel, Yunus A. 2002. *Heat Transfer A Practical Approach*. Mcgraw-Hill. USA.
- [6] El-Bedawy, Mohammed El-Sayed Mohammed, El-Raghy, S.M., El-Menshawy, K., dan Ahmed, H.A. 2010. *Effect of Aging on the Corrosion of Aluminum Alloy 6061*. Cairo University. Mesir.

- [7] <http://www.mtiwelding.com/> (diakses 10 September 2016).
- [8] <https://www.bps.go.id/linkTableDinamis/view/id/1138> (Diakses 5 September 2016).
- [9] <https://www.comsol.com/multiphysics/finite-element-method> (diakses 22 September 2016).
- [10] Irawan, Yudi Surya, Amirullah, Muhammad, Gumilang, Galih Bramantya Dian, Oerbandono, Tjuk, dan Suprpto, Wahyono. 2015. *Torsion Strength of Continous Drive Friction Weld Joint of Round Bar Aluminum A6061 Affected by Single Cone Geometry of Friction Area*. Universitas Brawijaya. Malang. Indonesia.
- [11] Khan, Ishtiaq Ahmed. 2011. *Experimental and Numerical Investigation on the Friction Welding Process*. Jawaharlal Nehru Technology University Hyderabad. India.
- [12] Lienert, Thomas J., Babu, Sudarsanam Suresh, Siewert, Thomas A., dan Acoff, Viola L. 2011. *Welding Fundamentals and Processes*. ASM International. USA.
- [13] Lin, C.B., Mu, C.K., Wu, W.W., dan Hung, C.H. 1999. *The Effect of Joint Design and Volume Fraction on Friction Welding Properties of A360/SiC (p) Composites*. Tam Kang University. Taiwan.
- [14] Longere, Patrice dan Dragon, A. Andre. 2007. *Evaluation of the Inelastic Heat Fraction in the Context of Microstructure Supported Dynamic Plasticity Modeling*. Universite' de Bretagne Sud. France.
- [15] Maalekian, M. 2007. *Science and Technology of Welding and Joining*. Institute of Materials, Minerals, and Mining. United Kindom.
- [16] Messler, Robert W. 2004. *Principles Of Welding. Processes, Physics, Chemistry, and Metallurgy*. WILEY-VCH Verlag Gmbh & Co. KgaA. Weinheim. Singapura.
- [17] Pollack, Herman W. 1981. *Materials Science and Metallurgy*. Reston Publishing Company, Inc. Amerika.
- [18] Sahin, Mumin, Akata, H.Erol, dan Ozel, Kaan. 2006. *An Experimental Study on Joining of Severe Plastic Deformed Aluminium Materials with Friction Welding Method*. Trakya University. Turkey.
- [19] Sahin, Mumin. 2004. *Joining with Friction Welding of High-Speed Steel and Medium-Carbon Steel*. Trakya University. Turkey.
- [20] Srija, V. dan Reddy, A. Chennakesava. 2013. *Finite Element Analysis of Friction Welding Process for 2024Al Alloy and UNS C23000 Brass*. JNTUH College of Engineering. India.
- [21] Surdia, Tata dan Saito, Shinroku. 1987. *Pengetahuan Bahan Teknik*. PT. Pradnya Paramita. Jakarta. Indonesia.
- [22] Suryabrata, Sumadi. 2005. *Metodologi Penelitian*. PT. Rajagrafindo Perkasa. Jakarta. Indonesia.

- [23] Tyagita, Dicky Adi, Irawan, Yudi Surya, dan Suprpto, Wahyono. 2014. *Kekuatan Puntir dan Porositas Hasil Sambungan Las Gesek ALMg-Si dengan Variasi Chamfer dan Gaya Tekan Akhir*. Universitas Brawijaya. Malang. Indonesia.
- [24] Wiryosumarto, Harsono dan Okumura, Toshie. 2000. *Teknologi Pengelasan Logam*. PT. Pradnya Paramita. Jakarta. Indonesia.

