

## Simulasi distribusi temperatur pada *friction stir welding* dengan *tool pin* silinder

Gesa Sukmawan<sup>1</sup>, Dominicus Danardono<sup>2</sup>, Bambang Kusharjanta<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Sarjana Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret  
Jl. Ir. Sutami 36A Surakarta tlp. 0271632163

<sup>2</sup>Staff Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret  
Jl. Ir. Sutami 36A Surakarta tlp. 0271632163  
Email korespondensi: danar1405@yahoo.com

### Abstrak

*Gesekan stir welding, sangat penting untuk memahami distribusi temperatur. Distribusi temperatur model tiga dimensi selama pengelasan gesekan adonan nilon 6 dengan menggunakan pin silindris dan taper telah disimulasikan dengan menggunakan metode elemen hingga. Analisis elemen hingga steady state dilakukan untuk mendapatkan distribusi suhu pada pelat nilon 6 las selama operasi pengelasan. Sumber panas dari alat bahu dan pin alat dipasang 80% dari lelehan nilon 6. Model telah diimplementasikan dan dipecahkan dengan menggunakan perangkat lunak ANSYS CFX. Hasil penelitian menunjukkan bahwa temperatur puncak lebih tinggi pada sisi maju daripada sisi mundur pada posisi awal dan tengah proses pengelasan gesekan gesekan dengan menggunakan pin silinder dan runcing. Sedangkan posisi akhir dari proses friction stir welding dengan pin silinder dan taper, temperatur puncak pada sisi yang mundur lebih tinggi dari pada sisi yang maju. Untuk posisi keseluruhan proses pengelasan gesekan gesek dengan pin silinder dan taper, distribusi temperatur di belakang pin lebih tinggi dari pada pin depan.*

**Kata kunci:** friction stir welding, nylon 6, temperature distribution, ansys cfx.

### Abstract

*In friction stir welding, it is very important to understand temperature distribution. A three-dimensional model temperature distribution during friction stir welding of the nylon 6 using cylindrical and tapered pin has been simulated using finite element method. A steady state finite Element analysis are performed to obtain the temperature distribution in the welded nylon 6 plate during the welding operation. Heat source from the tool shoulder and the tool pin are set up 80% of the melting point nylon 6. The model has been implemented and solved using ANSYS CFX software. The result showed that peak temperature are higher on the advancing side than the retreating side at the beginning and middle position of friction stir welding process using cylindrical and tapered pin. While the final position of the friction stir welding process with cylindrical and tapered pin, the peak temperature at the retreating side was higher than the advancing side. For overall position of the friction stir welding process with cylindrical and tapered pin, temperature distribution behind the pin was higher than the front pin.*

**Keywords:** friction stir welding, nylon 6, temperature distribution, ansys cfx.

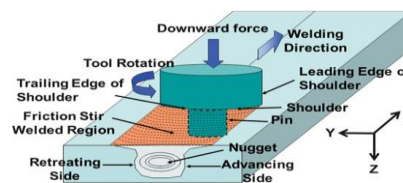
### 1. Pendahuluan

Revolusi penggunaan material plastik pada industri otomotif sudah dimulai sejak tahun 1950, mulai dari *acrylonitril butadine styrene* (ABS), lalu *polyamide* (PA), *polyoxymethylene* (POM) dan *polycarbonate* (PC). Pemilihan plastik dikarenakan plastik mempunyai sifat fisik yang bagus. Pada saat ini plastik banyak diaplikasikan dalam pembuatan mobil, dikarenakan sifatnya yang ringan maka dapat meningkatkan efisiensi energi. Selain itu kelebihan plastik lainnya adalah tidak terkorosi, tangguh, desain fleksibel, dan harganya relatif murah [1][2]

*Friction stir welding* (FSW) merupakan salah satu proses penyambungan yang relatif baru dan ditemukan di *The Welding Institute* (Cambridge,

UK) pada 1991. FSW telah dikembangkan dan sukses diaplikasikan pada aluminium [3]. Keunggulan FSW: otomasi sangat mudah, tegangan sisa yang rendah, dan daerah lasan mempunyai kekuatan mekanik yang bagus [4]

Skema proses FSW dengan konfigurasi benda kerja *butt joint* diilustrasikan pada gambar 1.



Gambar 1. Skema FSW [5].

Pada proses FSW, *tool* dengan desain *pin* dan *shoulder* khusus, berputar dan dimasukkan ke permukaan benda kerja yang akan disambung dan bergerak tegak lurus sepanjang sambungan. Pada gambar 1 *tool* berputar berlawanan arah jarum jam dan bergerak translasi (dari kiri ke kanan). Sisi *advancing* berada pada sisi kanan, dimana arah rotasi *tool* (kecepatan tangensial) searah dengan arah pengelasan. Sementara sisi *retreating* berada pada sisi kiri, dimana dimana arah rotasi *tool* (kecepatan tangensial) berlawanan arah dengan arah pengelasan [5]

Secara umum, teknik pengelasan FSW sangat cocok digunakan pada jenis logam, karena logam mempunyai nilai konduktivitas termal yang tinggi sehingga pelumeran logam dapat dicapai secara cepat, namun pada saat ini FSW telah dikembangkan untuk menyambung material non logam seperti material polimer [6]. FSW pada material polimer akan jauh lebih sulit karena polimer merupakan isolator murni yang memiliki konduktivitas termal rendah [7]

Selama proses FSW, dihasilkan panas yang diakibatkan gesekan antara *tool pin* dan *workpiece* yang mengalir pada *tool* dan *workpiece*. Jumlah panas yang mengalir pada *workpiece* akan menentukan kualitas las, tegangan sisa dan distorsi dari *workpiece*. Panas yang mengalir pada *tool* akan menentukan umur *tool* dan kemampuan dalam proses penyambungan. Pada FSW AA 7020-T53 dengan rotasi *tool* searah jarum jam, didapat temperatur puncak sisi *advance* lebih tinggi dibanding sisi *retreat* [8]

Salah satu elemen kunci keberhasilan dalam proses FSW adalah panas yang dihasilkan pada area kontak antara *tool* dan *workpiece*. Fluks panas harus menjaga *workpiece* pada suhu maksimum sehingga material *workpiece* cukup lunak untuk diaduk oleh pin, tetapi tidak sampai meleleh. Temperatur maksimum yang diciptakan oleh proses FSW adalah sekitar 80% dari titik leleh material benda kerja [9][10][11]

FSW pada material *polyamide* (nylon 66) pada variasi kecepatan rotasi *tool* 780, 994, 1255, 1570, 2000 rpm dan variasi kecepatan *transverse tool* pada 27, 42, 62 mm/min telah berhasil dilakukan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil las mempunyai *tensile strength* paling tinggi berada pada variasi kecepatan rotasi 1570 rpm dan kecepatan *transverse* 42 mm/min [2].

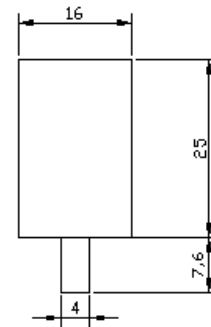
Pemodelan distribusi temperatur proses FSW AA2024-T3 pada berbagai variasi kecepatan *transverse* dan rotasi *tool* dengan *software* ANSYS CFX telah berhasil dilakukan. Hasil penelitian menunjukkan adanya kemiripan antara hasil simulasi dan eksperimen [12] Tujuan dari penelitian

yang akan dilaksanakan adalah untuk mengetahui distribusi temperatur pada FSW *pin* silinder.

## 2. Metode

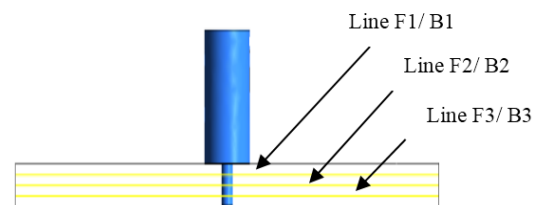
### Material dan Metode

Pada penelitian yang telah dilakukan, material benda kerja adalah 2 buah plat nylon 6 dengan dimensi 250 x 75 x 8 mm. Sedangkan *tool* berputar searah jarum jam dan kecepatan *transverse* 42 mm/ min. *Tool* terbuat dari steel dengan bentuk *pin* silinder seperti pada gambar 2.



Gambar 2. Desain *tool* dalam mm

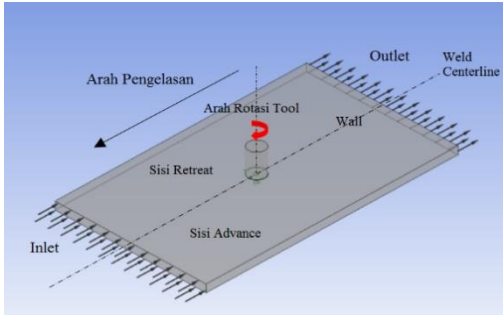
Data temperatur diukur pada 3 posisi, yaitu: 2 mm, 4 mm, dan 6 mm dari permukaan atas benda kerja (gambar 3). Daerah di depan *pin* diberikan line F1, F2, dan F3. Daerah di belakang *pin* diberikan line B1, B2, dan B3. Pada setiap *line* nantinya akan diambil 10 titik sampel pengukuran temperatur.



Gambar 3. Posisi *line* pengukuran

### Pemodelan FSW

Pemodelan FSW telah dilakukan dengan simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD). *Software* yang digunakan adalah ANSYS CFX. Pada pemodelan terdapat beberapa asumsi, yaitu: 1) benda kerja diasumsikan sebagai fluida dan *tool* sebagai solid (gambar 4), 2) material benda kerja isotropic dan homogen, 3) sumber panas pada *tool pin* dan *tool shoulder* adalah 80% dari titik leleh material benda kerja, 4) temperatur awal pada benda kerja adalah sama dengan temperatur ruangan.



Gambar 4. Pemodelan FSW

Kecepatan konstan yang mewakili kecepatan *transverse tool* diaplikasikan pada *boundary inlet*. Pada *boundary* sisi atas, bawah, dan samping benda kerja diberikan pengaturan sebagai *wall adiabatic*, dengan asumsi tidak ada panas yang masuk maupun keluar. *Boundary outlet* diberikan pengaturan tekanan sebesar 0 Pa. Sedangkan pada *tool* diberikan kecepatan rotasi searah jarum jam dan temperatur *isothermal* sebesar 80% dari titik leleh material nylon 6.

**Persamaan Pemodelan**

Pada pemodelan FSW, aliran material dan proses perpindahan panas disimulasikan secara *steady state*. Aliran material benda kerja di sekitar *tool* adalah *incompressible, non Newtonian flow*. Persamaan yang mendukung dalam pemodelan FSW adalah:

Continuity:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \tag{1}$$

dimana u, v, and w adalah kecepatan aliran material pada arah x, y, and z.

Navier-Stokes:

$$\rho \left( \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = - \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \tag{2}$$

$$\rho \left( \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = - \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \tag{3}$$

$$\rho \left( \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = - \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right)$$

(4)

dimana  $\rho$  densitas, p tekanan, dan  $\nu$  non-newtonian viscosity.

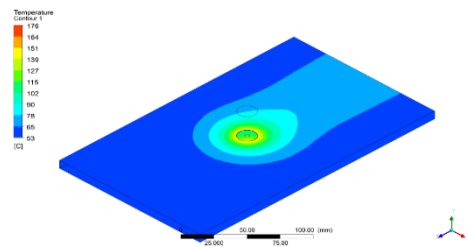
Energy:

$$\rho C_p \left( u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left( K \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K \frac{\partial T}{\partial z} \right) + S_v \tag{5}$$

Dimana k konduktivitas termal, Cp panas spesifik material, T temperatur, dan Sv sumber spasial.

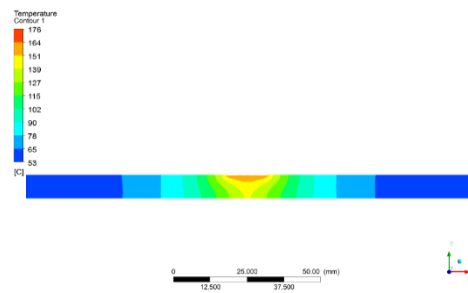
**3. Hasil dan Pembahasan**

Hasil simulasi distribusi temperatur FSW dengan ANSYS CFX ditampilkan pada kontur temperatur seperti gambar 5.

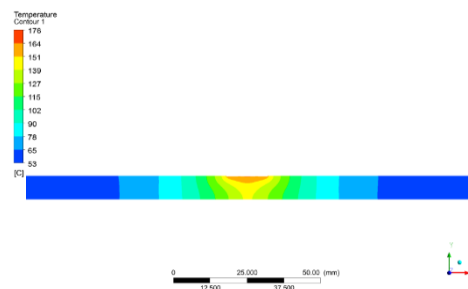


Gambar 5. Kontur temperatur FSW

Sementara kontur temperatur di depan dan di belakang *pin* ditunjukkan gambar 6 dan gambar 7.

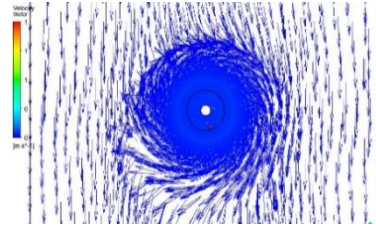


Gambar 6. Kontur temperatur di depan pin

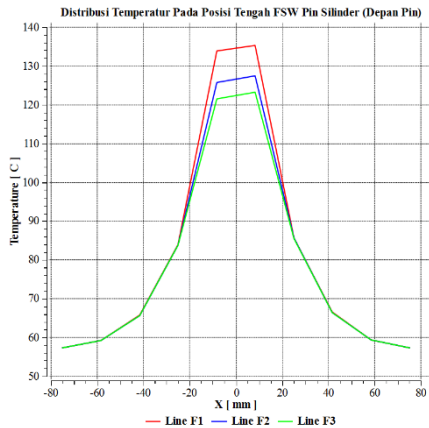


**Gambar 7.** Kontur temperatur di belakang *pin*

Kontur temperatur dianalisa berdasarkan data temperatur yang diambil pada *line* pengukuran di depan *pin* (*line* F1, F2, F3) dan di belakang *pin* (*line* B1, B2, B3). Hasil distribusi temperatur ditampilkan dalam grafik hubungan antara temperatur dengan jarak, seperti pada gambar 8 dan gambar 9.

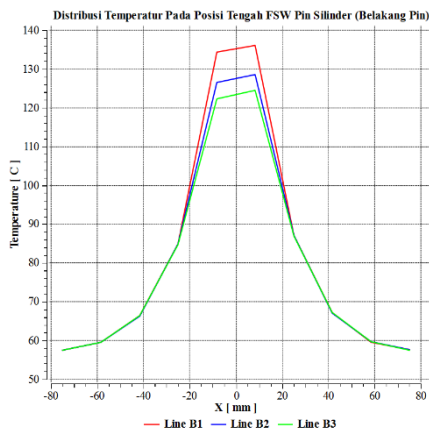


**Gambar 10.** Kecepatan aliran di sekitar *pin*



**Gambar 8.** Distribusi temperatur di depan *pin*

Temperatur puncak pada sisi *advance* terpantau lebih tinggi dibanding sisi *retreat* baik di depan maupun di belakang *pin*, sesuai dengan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh [8].



**Gambar 9.** Distribusi temperatur di belakang *pin*

Perbedaan nilai temperatur puncak pada sisi *advance* dan *retreat* menurut hasil simulasi disebabkan karena vektor kecepatan aliran pada sisi *advance* berlawanan arah dengan kecepatan aliran dari *inlet*. Sehingga muncul gesekan yang tinggi dan mengakibatkan temperatur pada sisi *advance* lebih tinggi dibanding sisi *retreat*. Sesuai pada gambar 10.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan proses pengujian, pengamatan serta hasil dari pembahasan yang telah dilakukan dalam penelitian dapat diambil kesimpulan sebagai berikut: (a) posisi ketinggian (posisi vertikal) turbin angin pada 30 mm mempunyai performa paling baik, (b) performa turbin angin dengan sudut kemiringan sudu sebesar 60o memiliki performa terbaik, (c) turbin angin dengan 2 buah guide vane dengan kemiringan guide vane 1 sebesar 90o dan guide vane sebesar 0o mampu meningkatkan daya poros turbin angin sebesar 26%, dan (d) penggunaan guide vane yang tepat memberikan pengaruh bahwa pemasangan turbin angin cross flow tidak akan mempengaruhi konsumsi daya model cooling tower.

#### Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didanai oleh skema Hibah Fundamental, Universitas Sebelas Maret, nomor kontrak 0113042017

#### Daftar Pustaka

- [1] K. Szeteiová, 2010. *Automotive materials plastics in automotive markets today*, p.7
- [2] I.M. Husain, R.K. Salim, T. Azdast, 2015. *Mechanical properties of friction-stir-welded polyamide sheets*. International Journal of Mechanical and Materials Engineering, 10(1), p.18
- [3] W. Thomas and E. Nicholas, 1997. *Friction stir welding for the transportation industries*. Materials & Design, 18(4-6), pp.269–273
- [4] S. Cartigueyen, O.P. Sukesh, and K. Mahadevan, 2014. *Numerical and Experimental Investigations of Heat Generation during Friction Stir Processing of Copper*. Procedia Engineering, 97, pp.1069–1078
- [5] R.S. Mishra, P.S. De, and N. Kumar, 2014. *Fundamentals of the Friction Stir Process*. In Springer International Publishing, pp. 13–58
- [6] Z. Kiss and T. Czígány, 2007. *Applicability of friction stir welding in polymeric materials*. Periodica Polytechnica, Mechanical Engineering, 51(1), pp.15–18
- [7] M. Sercer and P. Raos, 2010. *Joining of Plastics and Composites*. Welding Engineering and Technology, pp.1–31

- [8] J.J. Muhsin, M.H. Tolephih, and A. M. Muhammed, 2012. *Effect of friction stir welding parameters (rotation and transverse) speed on the transient temperature distribution in friction stir welding of AA 7020-t53*. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 7(4), pp.436–446.
- [9] Y.J. Chao, X. Qi, and W. Tang, 2003. *Heat Transfer in Friction Stir Welding-Experimental and Numerical Studies*. Journal of Manufacturing Science and Engineering, 125(1), p.138
- [10] H. Schmidt, J. Hattel, and J. Wert, 2004. *An analytical model for the heat generation in friction stir welding*. Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering, 12(1), pp.143–157
- [11] S.T. Selvamani, K. Umanath, and K. Palanikumar, 2011. *Heat Transfer Analysis during Friction Stir Welding of Al6061-T6 Alloy*. International Journal of Engineering Research and Applications, 1(4), pp.1453–1460
- [12] C. Pierpaolo and G.S. Palazzo, 2013. *Influence of Process Parameters on Microstructure and Mechanical Properties in AA2024-T3 Friction Stir Welding*. Metallography, Microstructure, and Analysis, 2(4), pp.213 – 222