

KRISTALINITAS WELD NUGGET PADA PENGELASAN *FRICTION STIR WELDING* POLYPROPYLENE

Bambang Kusharjanta* dan Wijang W. Raharjo

Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret

Jl. Ir. Sutami 36A, Surakarta, Indonesia, 57126.

*Email: bambang_k@staff.uns.ac.id

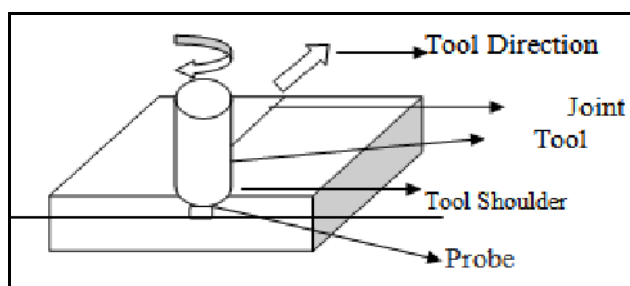
Abstrak

Proses Friction Stir Welding (FSW) pada polypropylene (PP) akan memberi dampak panas pada bahan yang berakibat kepada perubahan kristalinitas. Paper ini melaporkan kristalinitas pada weld nugget yang dihasilkan pada pengelasan FSW dengan laju travelling 7,3 mm/menit dan 13 mm/menit dengan putaran 620 rpm. Toolpin yang digunakan berbentuk silinder dengan diameter 4,5 mm dan panjang 5,7 mm, memiliki diameter shouder 18 mm. Pengelasan FSW dilakukan dengan mesin milling konvensional. Uji kristalinitas dilakukan dengan X-Ray Defraction (XRD) Prosentase kristalinitas nugget las lebih besar dibandingkan dengan prosentase kristalinitas bahan dasar, sedangkan prosentase kristalinitas berbanding terbalik dengan laju traveling proses FSW.

Kata Kunci : *friction stir welding, kristalinitas, polypropylene*

1. PENDAHULUAN

Pengelasan *friction stir welding (FSW)* semula dikembangkan untuk pengelasan logam terutama aluminium. Dengan metode FSW ini dapat diperoleh hasil yang memuaskan. Ekspansi cara pengelasan ini pada bahan polimer memberikan tantangan yang besar bagi para peneliti. Penelitian FSW pada bahan polimer sudah dilakukan dan memberi harapan akan keberhasilannya (Eslami, *et al*, 2015). Proses FSW dilakukan dengan *toolpin/probe* yang berputar dan ditekan ke dalam lembaran benda kerja yang akan disambungkan, gambar 1 Panas diperoleh dari gesekan *toolpin* yang berputar pada benda kerja. Panas yang dibangkitkan ini menjadikan benda kerja mengalami perlunakan namun tidak meleleh. Material benda kerja yang lunak akan berpindah dari depan ke arah belakang *toolpin*. Secara bersamaan *toolpin* bergerak maju (*travelling/transverse*) sehingga material dibelakang *toolpin* akan mengalami pendinginan serta pemadatan sehingga akan terjadi sambungan/nuget las (Kumar & Ramana, 2014; Eslami, *et al*, 2015).

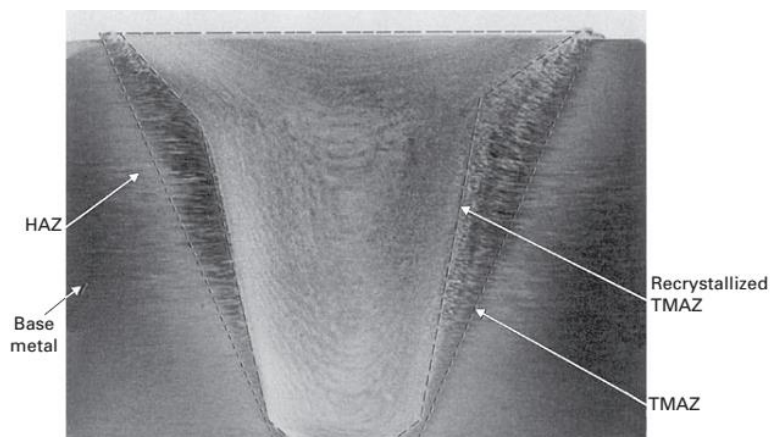


Gambar 1 Proses Friction Stir Welding (Kumar and Ramana, 2014)

Pada gambar 2, sambungan dilihat secara melintang, memotong ketebalan benda kerja, maka terlihat pada daerah sambungan terbagi menjadi daerah las/nuget, daerah *thermo mechanical affected zone* dan daerah bahan dasar (Threadgill, 2007; Huang *et al.*, 2018).

Proses FSW memberikan pengaruh terhadap sifat bahan dasar. Bahan dasar pada yang digunakan pada pengelasan ini adalah golongan polimer. Salah satu yang terpengaruh adalah kristalinitas. Kristalinitas polimer akan dipengaruhi perlakuan termal yang dialami oleh polimer itu. Semakin tinggi temperatur perlakuan akan menaikkan derajat kristalinitasnya (Frontini and Fave, 1995; Ariff, Loon and Zakaria, 2017). Polimer yang mengalami aging selama 20 hari mengalami penurunan derajat kristalinitasnya akibat *chain scission mechanisms*. Selain itu juga terjadi kontraksi pada layer permukaan

sehingga menimbulkan retak permukaan. Polimer yang diteliti adalah polypropylene (Oliani *et al.*, 2009).



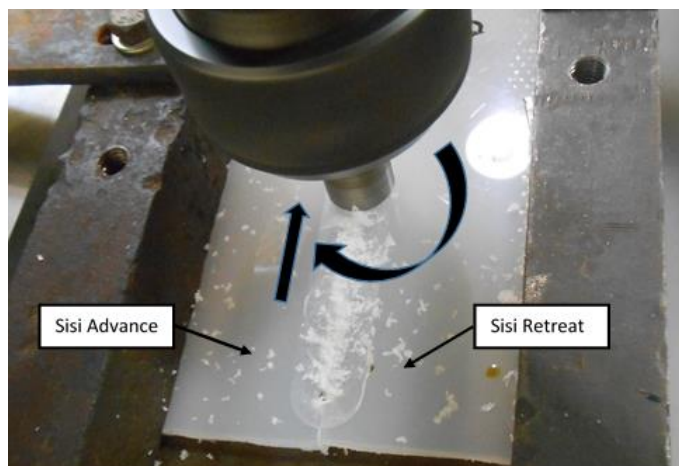
Gambar 2 Penampang Hasil Pengelasan FSW (Lohwasser & Chen, 2010)

Perubahan kristalinitas juga terjadi karena polypropylene yang diproses *rolling* dan perlakuan pemanasan sebelum proses *rolling*. Kristalinitas polypropylene lebih rendah pada material yang dipanaskan pada suhu 60°C dibandingkan material yang menerima pemanasan hingga suhu 100°C (Jia, *et al.*, 2008).

Dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya ternyata bahwa ada pengaruh panas pada perubahan kristalinitas bahan polimer. Polypropylene pada proses FSW mengalami pemanasan akibat gesekan dengan *toolpin* selama proses pengelasan. Selama ini belum diteliti perubahan derajat/prosentase kristalinitas pada *polypropylene* yang disambung dengan FSW. Oleh karena itu menjadi tantangan menarik untuk diteliti.

2. METODOLOGI

Pengelasan FSW *polypropylene* dilakukan dengan mesin *milling*, ditunjukkan dengan gambar 3. Landasan pada mesin *milling* ditambah dengan plat yang rata supaya benda kerja tidak melengkung akibat tekanan *toolpin* ketika proses FSW dijalankan. Bahan yang disambung dengan pengelasan ini adalah *polypropylene* lembaran dengan ukuran 250x150x6 mm. Diameter *shoulder* 18 mm, diameter pin 4,5 mm dan panjang pin 5,6 mm. panjang *shoulder* 90 mm. Sedangkan bentuk *toolpin* yang digunakan seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 3 Proses Pengelasan FSW Polypropylene



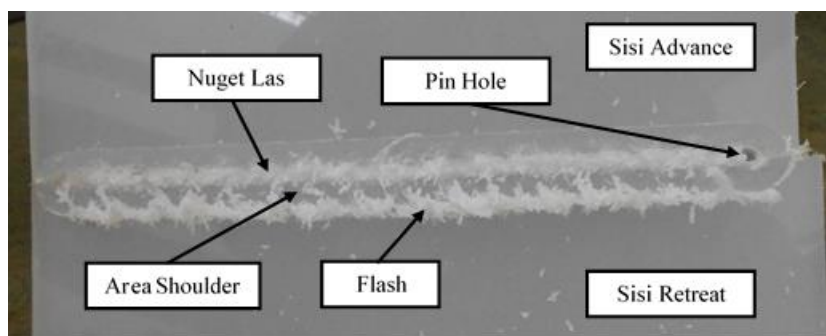
Gambar 4 Bentuk Toolpin Pengelasan FSW Polypropylene

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

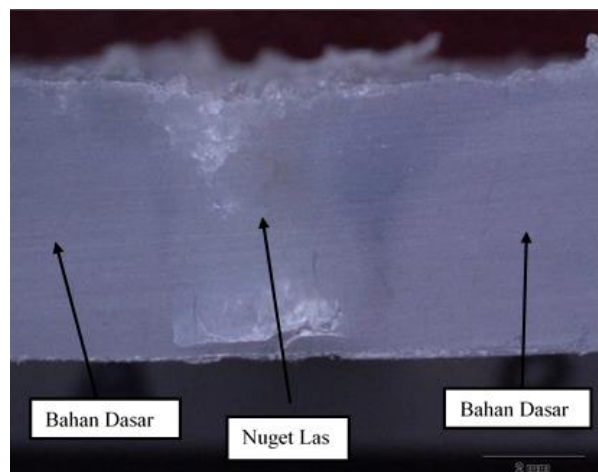
3.1. Morfologi sambungan FSW

Hasil penyambungan benda kerja *polypropylene* dengan FSW ditunjukkan dan bagian-bagiannya dengan Gambar 5 dan Gambar 6. Pada Gambar 5 adalah gambar permukaan benda kerja yang telah tersambung dan terbagi dalam beberapa area. Area nuget dan area shoulder adalah tempat bekas terjadi gerakan gesekan pin dan *shoulder*. Area nuget terdapat di tengah dan masuk ke dalam plat yang disambung. Penyambungan benda las terjadi di area nuget ini. Prosesnya adalah material dipanaskan oleh gesekan pin dan benda kerja hingga material melunak. Material lunak ini akan terbawa dari sisi *advance* menuju ke sisi *retreat* oleh putaran pin. Selanjutnya akibat pergerakan arah maju pin, maka material tertinggal di belakang pin dan mengalami penurunan suhu dan mengeras, (Guerra *et al.*, 2002). Hasil proses ini adalah terjadinya sambungan antara *advance* dan sisi *retreat* yang merupakan bagian nuget las ditunjukkan oleh Gambar 6.

Sedangkan area *shoulder* merupakan bekas gesekan *shoulder* dengan permukaan benda las. Bentuk khas yang menjadi ciri area ini adalah pola lengkungan berulang. Pola ini adalah akibat yang ditinggalkan oleh putaran dan gerak maju/travelling *shoulder* pada permukaan benda kerja dan disebut *periodic deposition* (Simões and Rodrigues, 2014). Pada bagian tepi area *shoulder* ditemukan adanya *flash*. *Flash* terjadi karena parameter pengelasan yang tidak tepat, (Gibson *et al.*, 2014). Pada putaran yang terlalu tinggi akan menyebabkan *flash* yang besar. Ini terjadi karena material lunak terlempar oleh gaya sentrifugal putaran *toolpin* yang mendorong material ke bagian luar area *shoulder* (Yan *et al.*, 2017).



Gambar 5 Hasil Penyambungan FSW polypropylene

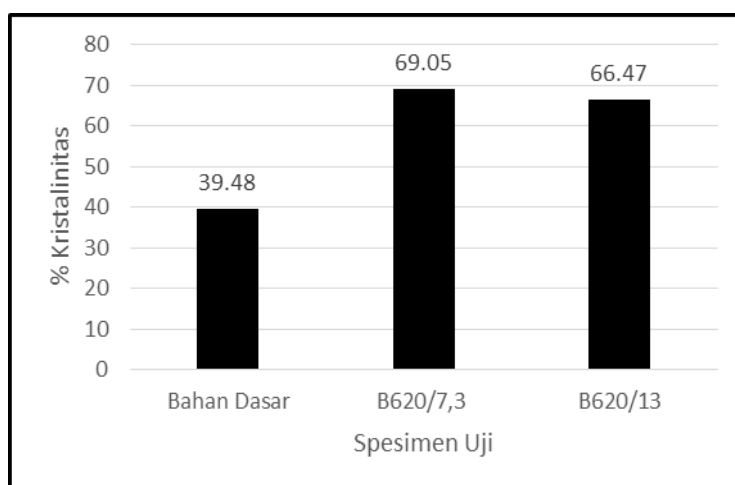


Gambar 6 Penampang Melintang Sambungan FSW Polypropylene

3.2. Kristalinitas Sambungan FSW

Data hasil pengujian XRD ditampilkan oleh Gambar 7. Dari grafik pada Gambar 7 tampak bahwa bahan dasar memiliki prosentase kristalinitas yang paling rendah yaitu 39,48%, nuget las dengan laju *travelling* 7,3 mm/menit memiliki prosentase kristalinitas sebesar 69,05% sedangkan nuget pada laju *travelling* 13 mm/menit mempunyai angka prosentase kristalinitas 66,47%. Kenaikan nilai kristalinitas nuget las dibandingkan bahan dasar ini terjadi sebagai akibat panas yang diterima selama terjadi pengelasan FSW. Bahan *polypropylene* yang menerima panas akan mengalami proses rekristalisasi pada fraksi amorphous. Akibatnya jumlah fraksi kristalin akan bertambah sehingga menjadikan prosentase kristalinitas nuget lebih tinggi dibandingkan bahan dasarnya (Jia and Raabe, 2006).

Sedangkan bila diperbandingkan prosentase kristalinitas antar nuget, maka nuget dengan laju *travelling* 7,3 mm/menit (spesimen B620/7,3) lebih tinggi, yaitu 69,05% dibandingkan kristalinitas nuget yang diproses dengan laju *travelling* 13 mm/menit (spesimen B620/13) yang memiliki angka 66,47%. Fenomena ini dapat dijelaskan bahwa pada laju *traveling* yang rendah maka proses pemanasan pada bahan akan lebih lama dibandingkan proses pengelasan dengan laju *travelling* yang lebih tinggi. Pada laju *traveling* yang tinggi maka toolpin akan semakin cepat bergerak maju sehingga bahan dasar akan mengalami pemanasan yang relatif lebih singkat dan mengalami pendinginan yang lebih cepat. Waktu pemanasan yang singkat dan laju pendinginan yang besar akan menyebabkan prosentase kristalinitasnya lebih rendah (El-hadi *et al.*, 2002). Kasus ini serupa dengan yang terjadi pada proses FSW bahan *polyethylene sheets* (Gao *et al.*, 2014).



Gambar 7 Grafik Kristalinitas Nugget Las dan Bahan Dasar

4. KESIMPULAN

Proses FSW dapat diterapkan pada bahan *polypropylene*. Pengelasan ini menggunakan panas yang dibangkitkan dari gesekan shoulder dan pin yang berputar. Adanya panas pengelasan FSW akan mengakibatkan perubahan kristalinitas pada nuget las. Prosentase kristalinitas nuget lebih tinggi dibandingkan dengan prosentase kristalinitas bahan dasar. Sedangkan proses FSW dengan laju travelling yang besar akan menghasilkan prosentase kristalinitas yang lebih rendah dibandingkan dengan proses yang *travellingnya* kecil. Tingkat kristalinitas nuget berhubungan dengan lama pemanasan, laju pendinginan dan rekristalisasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariff, Z. M., Loon, C. K. and Zakaria, Z. (2017) 'Influence of processing parameters on spherulite formation and crystallization behaviour of polypropylene', in *Advanced Materials Engineering and Technology*. doi: 10.1063/1.4983798.
- El-hadi, A., Schnabel, R., Straube, E. and Mu, G. (2002) 'Correlation between degree of crystallinity, morphology, glass temperature, mechanical properties and biodegradation of poly (3-hydroxyalkanoate) PHAs and their blends', *Polymer Testing*, 21, pp. 665–674.
- Eslami, S., Ramos, T., Tavares, P. J. and Moreira, P. M. G. P. (2015) 'Effect of Friction Stir Welding Parameters with Newly Developed Tool for Lap Joint of Dissimilar Polymers', *Procedia Engineering*. Elsevier B.V., 114, pp. 199–207. doi: 10.1016/j.proeng.2015.08.059.
- Eslami, S., Ramos, T., Tavares, P. J. and Moreira, P. M. G. P. (2015) 'Effect of Friction Stir Welding Parameters with Newly Developed Tool for Lap Joint of Dissimilar Polymers', *Procedia Engineering*. Elsevier B.V., 114, pp. 199–207. doi: 10.1016/j.proeng.2015.08.059.
- Frontini, P. M. and Fave, A. (1995) 'The effect of annealing temperature on the fracture performance of isotactic polypropylene', *Journal of Materials Science*, 30, pp. 2446–2454.
- Gao, J., Shen, Y., Zhang, J. and Xu, H. (2014) 'Submerged Friction Stir Weld of Polyethylene Sheets', *Journal of Applied Polymer Science*, pp. 1–8. doi: 10.1002/app.41059.
- Gibson, B. T., Lammlein, D. H., Prater, T. J., Longhurst, W. R., Cox, C. D., Ballun, M. C., Dharmaraj, K. J., Cook, G. E. and Strauss, a. M. (2014) 'Friction stir welding: Process, automation, and control', *Journal of Manufacturing Processes*. The Society of Manufacturing Engineers, 16(1), pp. 56–73. doi: 10.1016/j.jmapro.2013.04.002.
- Guerra, M., Schmidt, C., McClure, J. C., Murr, L. E. and Nunes, a. C. (2002) 'Flow patterns during friction stir welding', *Materials Characterization*, 49(2), pp. 95–101. doi: 10.1016/S1044-5803(02)00362-5.
- Huang, Y., Meng, X., Xie, Y., Wan, L., Lv, Z., Cao, J. and Feng, J. (2018) 'Friction stir welding / processing of polymers and polymer matrix composites', *Composites Part A*. Elsevier Ltd, 105, pp. 235–257. doi: 10.1016/j.compositesa.2017.12.005.
- Jia, J., Mao, W. and Raabe, D. (2008) 'Changes of crystallinity and spherulite morphology in isotactic polypropylene after rolling and heat treatment', *Journal of University of Science and Technology Beijing: Mineral Metallurgy Materials (Eng Ed)*, 15(4), pp. 514–520. doi: 10.1016/S1005-8850(08)60097-3.
- Jia, J. and Raabe, D. (2006) 'Evolution of crystallinity and of crystallographic orientation in isotactic polypropylene during rolling and heat treatment', *European Polymer Journal*, 42(8), pp. 1755–1766. doi: 10.1016/j.eurpolymj.2006.02.013.
- Kumar, H. M. A. and Ramana, V. V. (2014) 'An Overview of Friction Stir Welding (FSW): A New Perspective', *International Journal of Engineering and Science*, 4(6), pp. 1–4.
- Lohwasser, D. and Chen, Z. (2010) *Friction Stir Welding : From Basic to Application*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited.
- Oliani, W. L., Parra, D. F., Lima, L. F. C. P. and Lugão, A. B. (2009) 'Effect of Thermal Ageing on HMS-PP Crystallinity', in *International Nuclear Atlantic Conference-INAC*. Rio de Janeiro, Brazil.
- Simões, F. and Rodrigues, D. M. (2014) 'Material flow and thermo-mechanical conditions during Friction Stir Welding of polymers: Literature review, experimental results and empirical analysis', *Materials & Design*, 59, pp. 344–351. doi: 10.1016/j.matdes.2013.12.038.
- Threadgill, P. L. (2007) 'Terminology in friction stir welding', *Science and Technology of Welding and Joining*, 12(4), pp. 357–360. doi: 10.1179/174329307X197629.

Yan, Y., Shen, Y., Lan, B. and Gao, J. (2017) 'Influences of friction stir welding parameters on morphology and tensile strength of high density polyethylene lap joints produced by double-pin tool', *Journal of Manufacturing Processes*. The Society of Manufacturing Engineers, 28, pp. 33–40. doi: 10.1016/j.jmapro.2017.05.019.