

PENGARUH PARAMETER RASIO DIAMETER *TOOL* DAN *FEEDRATE* TERHADAP SIFAT TARIK PADA SAMBUNGAN *NYLON 6* DENGAN METODE FSW

Isma Sulistianto^a, Aris Widyo Nugroho^b, Cahyo Budiyanoro^c

Program Studi S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik,
 Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Jl. Brawijaya, Geblagan, Tamantirto, Kasihan, Bantul,
 Daerah Istimewa Yogyakarta 55183

Telp. (0274) 387656 / (0274) 387 646

e-mail: ismasulistianto@gmail.com^a, ariswidyo.nugroho@umy.ac.id^b,
cahyo_budi@umy.ac.id^c

INTISARI

Friction Stir Welding (FSW) merupakan sebuah metode alternatif penyambungan di bidang pengelasan. Metode FSW dilakukan dengan cara menggabungkan 2 benda kerja yang dijepit kemudian memanfaatkan panas yang terjadi oleh gesekan antara *tool* yang berputar dan benda kerja yang membentuk lelehan dan campuran secara menyeluruh sehingga terbentuk sambungan las. FSW dapat mengurangi masalah solidifikasi seperti pada pengelasan fusi, dan juga menghasilkan sambungan las dengan sifat yang baik, bahkan pada material yang tidak cocok dengan pengelasan fusi sekalipun. Tidak hanya logam, metode penyambungan ini juga dapat diaplikasikan pada material polimer seperti *nylon 6*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh rasio diameter *tool* dan *feedrate* pada lembar *nylon 6* dengan metode FSW terhadap sifat tarik sambungannya.

Pada penelitian ini spesimen yang digunakan adalah *nylon 6* dengan dimensi 115 mm x 100 mm dan tebal 4 mm menggunakan *tool* berbahan ST80, kemudian disambung melalui proses FSW dengan variasi parameter rasio diameter *tool* 10/3 mm/mm, 15/3 mm/mm, 20/3 mm/mm dan *feedrate* 4 mm/menit, 6 mm/menit, 8 mm/menit. Setelah tersambung, kemudian sambungan dipotong menggunakan *water jet cutting* sesuai standar pengujian tarik ASTM D638 tipe IV. Setelah selesai proses pembuatan spesimen kemudian dilakukan pengujian spesimen. Pengujian ini meliputi pengujian foto makro, pengujian kekerasan, dan pengujian tarik.

Hasil dari penelitian ini adalah nilai pengujian tarik tertinggi didapat pada variasi rasio diameter *tool* 10/3 mm/mm dengan *feedrate* 6 mm/menit yaitu dengan nilai kekuatan tarik sebesar 19 MPa. Dari hasil pengamatan foto makro diketahui bahwa cacat paling banyak terdapat pada variasi rasio diameter *tool* 20/3 mm/mm cacat yang terjadi antara lain *incomplete fusion*, *flash*, *thinning* dan *lack of bonding*. Hasil pengujian kekerasan sambungan FSW pada variasi parameter dengan nilai kekuatan tarik tertinggi adalah sebesar 54,5 HD. Dari penelitian yang telah dilakukan, parameter rasio diameter *tool* dan *feedrate* berpengaruh terhadap sifat tarik, struktur makro dan nilai kekerasan.

Kata kunci: Pengelasan, *Friction Stir Welding*, *Nylon 6*, Rasio diameter *tool*, *feedrate*.

ABSTRACT

Friction Stir Welding (FSW) is an alternative method of joints in the welding field. The FSW method is done by combining two clamped workpieces and then utilizing the heat caused by friction between the rotating tool and workpiece that forms the melt and mixture thoroughly so that a welded joint is formed. FSW can reduce solidification problems such as fusion welding, and also produce welded joints with functional properties, even in materials that do not fit with fusion welding. Not only metal, but this joints method also can be applied to polymer materials such as nylon 6. The purpose of this study was to determine the effect of tool diameter ratio and feedrate on the nylon 6 sheet with the FSW method on the tensile properties of the joints.

In this study the specimens used was nylon 6 material with a dimension of 115 mm x 100 mm and thickness of 4 mm using ST80 based tool, then jointed through the FSW process with various parameters in the tool diameter ratio of 10/3 mm/mm, 15/3 mm/mm, 20/3 mm/mm and feedrate of 4 mm/minute, 6 mm/minute, 8 mm/minute. After jointed, then the weld joint is cut by using water jet cutting according to the tensile testing standard ASTM D638 type IV. After completing the specimen making process, then the samples were tested. This test included macro photographs testing, hardness testing, and tensile testing.

The result of this study is the highest tensile test value obtained at the variation tool diameter ratio of 10/3 mm/mm with the feedrate of 6 mm/minute that is with tensile strength value of 19 MPa. From the observation result of macro photographs, it is known that the most defects are in the variation tool diameter ratio of 20/3 mm/mm defects that occur including incomplete fusion, flash, thinning and lack of bonding. The result of the FSW joint hardness test on parameter variation with the highest tensile strength amounted to 54.5 HD. The results show that the parameter of tool diameter ratio and feedrate affect the tensile properties and hardness values.

Keywords: *Welding, Friction Stir Welding, Nylon 6, Tool diameter ratio, federate.*

1. Pendahuluan

Polimer dikenal memiliki keunggulan dalam hal perancangan dan pembentukan dibandingkan dengan logam. Salah satu jenis polimer yang paling sering digunakan di dunia *engineering* adalah *nylon 6*. *Nylon 6* sangat baik sebagai bahan pengganti logam ataupun karet karena ketangguhannya, lebih ringan, koefisien gesek yang rendah dan mempunyai sifat resistansi terhadap abrasif. Metode yang paling sering digunakan untuk penyambungan *nylon 6* adalah dengan menggunakan media *epoxy adhesive* (lem *plastic steel*). Cara penyambungan ini memiliki kelemahan yaitu menyita waktu yang lama, membutuhkan persiapan permukaan, memiliki batasan temperatur, dan memiliki sifat keterandalan yang rendah. Maka, dari itu diperlukan metode alternatif penyambungan untuk material *nylon 6*.

Friction Stir Welding (FSW) merupakan sebuah inovasi dari teknik penyambungan di bidang pengelasan. Teknik ini dikembangkan dan dipatenkan oleh Thomas et al. dari *The Welding Institute* (TWI) di Inggris pada tahun 1991. Pada proses FSW material yang digabungkan memanfaatkan panas yang terjadi oleh gesekan antara *tool* yang berputar dan benda kerja yang membentuk lelehan dan campuran secara menyeluruh sehingga terbentuk sambungan las. FSW dapat mengurangi masalah solidifikasi seperti pada pengelasan fusi, dan juga menghasilkan sambungan las dengan sifat yang baik, bahkan pada material yang tidak cocok dengan pengelasan fusi sekalipun (Mironov, 2007).

Penelitian tentang FSW dengan bahan polimer telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Mendes (2014) mempelajari pengaruh kecepatan rotasi pahat, kecepatan lintasan, serta gaya aksial FSW pada *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS). Ditemukan bahwa untuk hasil sambungan las dengan efisiensi kekuatan yang tinggi maka diperlukan kecepatan rotasi dan gaya aksial yang tinggi. Diamati juga bahwa dengan memberikan panas yang cukup selama proses pengelasan akan menghasilkan mahkota las yang baik. Selain itu lasan yang dibuat menggunakan robot atau mesin hasilnya mirip dan sifat mekanisnya sedikit lebih baik dibandingkan dengan lasan yang dibuat dengan metode konvensional. Wilantara (2013) meneliti tentang pengaruh variasi panjang pin terhadap kekerasan dan sifat tarik menggunakan metode FSW dengan bahan aluminum seri 1xxx hasilnya bahwa nilai kekerasan dan sifat tarik yang didapat lebih rendah dari *raw material* nya, hal ini dikarenakan masih terdapat cacat *incomplete fusion* pada hasil sambungannya. Nilai kekuatan tarik tertinggi didapat dari variasi panjang pin 4,5 mm yaitu sebesar 76,38 MPa.

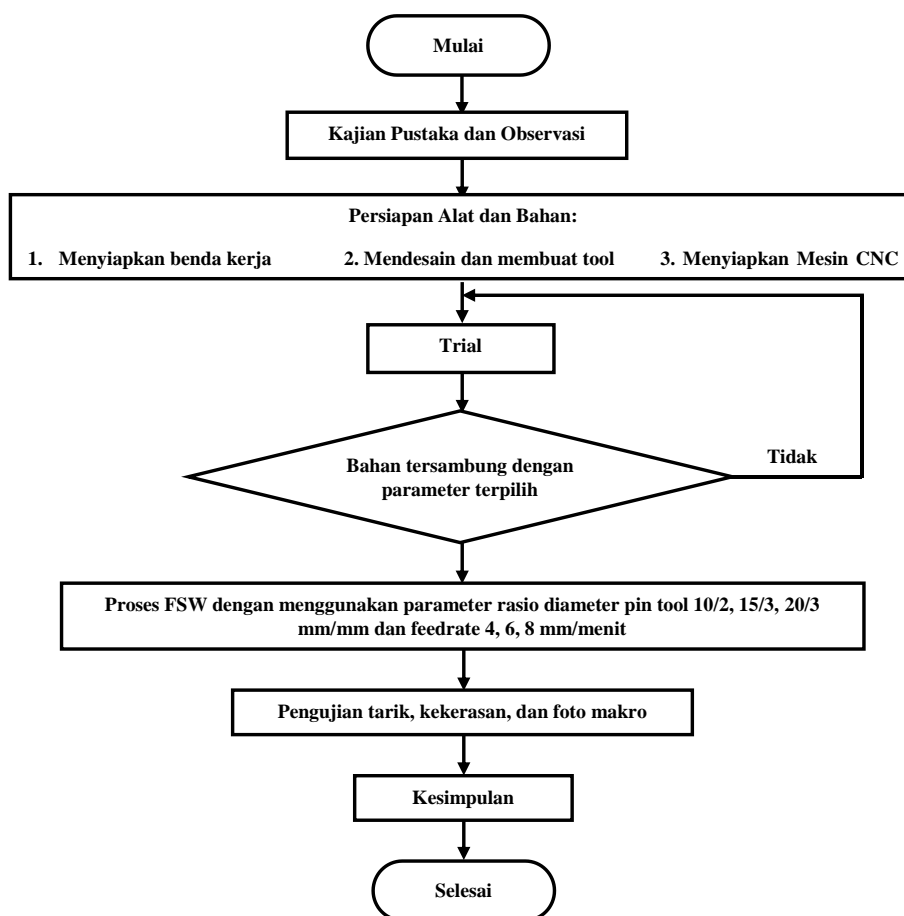
Pengaruh profil pin ulir kiri berlawanan arah jarum jam dan profil pin ulir kanan searah jarum jam untuk proses FSW dengan material *nylon 6* telah diteliti oleh Panneerselvam (2013). Parameter yang digunakan adalah kecepatan rotasi 1000 RPM, *feedrate* 10 mm/menit. Hasilnya profil pin yang searah dengan arah rotasi akan menghasilkan sambungan las yang baik. Jaiganesh (2014) melakukan penelitian FSW dengan *High Density Polypropylene* (HDPP). Dengan tujuan mengoptimalkan parameter proses untuk pembentukan sambungan las yang berkualitas. Parameter yang digunakan adalah kecepatan rotasi *tool* dari 900 - 1200 RPM, tingkat kecepatan 5 - 15 mm/menit, dan sudut kemiringan 0 - 1 derajat. Dari perobaan yang telah dilakukan diamati bahwa sambungan las yang baik dihasilkan dari kecepatan rotasi 950 hingga 1000 RPM, kecepatan geser 9 hingga 12 mm/menit dan sudut kemiringan 1 derajat.

Pengaruh kecepatan putar *tool* dan kecepatan pemakanan telah diteliti oleh Karimi (2012) menggunakan bahan yang berbeda (*dissimilar*) yaitu *aluminium alloy* 1100 dan *carbon steel* AISI 1045. Hasilnya kecepatan putar *tool* optimal didapat dari 710 RPM dan laju gerak makan 28 mm/menit untuk proses FSW. Kecepatan putar *tool* yang tinggi menyebabkan distribusi partikel baja di zona aduk menjadi lebih baik dan seragam, sementara laju gerak makan tinggi menyebabkan, distribusi partikel baja lebih besar dan tidak seragam dalam zona aduk.

Berdasarkan penelitian yang sudah diuraikan diatas, investigasi mengenai proses FSW masih cukup luas untuk dapat diteliti lebih lanjut lagi. Kecepatan pemakanan (*feedrate*) merupakan parameter yang sangat penting dalam proses FSW berdasarkan penelitian yang telah dilakukan karena berpengaruh pada distribusi partikel bahan pada zona aduk (Karimi, 2012). Penelitian tentang FSW dengan parameter variasi *feedrate*

menggunakan bahan *nylon 6* sudah pernah dilakukan tetapi penelitian menggunakan parameter *feedrate* ditambah dengan rasio diameter *tool* menggunakan bahan *nylon 6* belum pernah dilakukan. Desain *tool* sangat berpengaruh terhadap panas yang terjadi, ini dapat mempengaruhi kekuatan tarik dan kekerasan pada material yang dipakai (Wilantara, 2013). Maka dari itu penelitian tentang pengaruh rasio diameter *tool* dan kecepatan pemakanan terhadap sifat tarik pada sambungan *nylon 6* dengan metode FSW ini dilakukan dengan tujuan untuk memberikan informasi baru mengenai hasil data proses FSW terhadap sifat tarik sambungan tersebut.

2. Metode Penelitian



Gambar 2.1 Diagram alir penelitian.

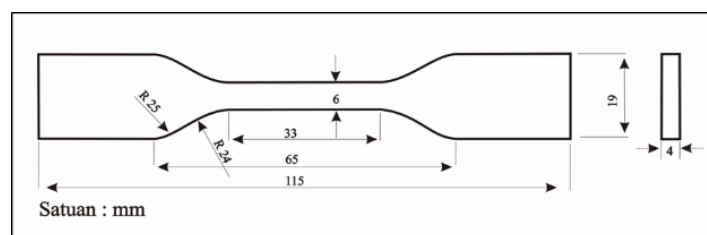
Pada penelitian ini benda kerja menggunakan bahan *nylon 6* dengan dimensi 115 x 100 x 4 mm menggunakan *tool* berbahan ST80, kemudian disambung melalui proses FSW dengan variasi parameter rasio diameter *tool* 10/3, 15/3, 20/3 mm/mm dan *feedrate* 4, 6, 8 mm/menit seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.1. Setelah tersambung kemudian sambungan dipotong menjadi spesimen uji tarik menggunakan *water jet cutting* sesuai standar ASTM D638 tipe IV seperti pada gambar 2.3. Setelah selesai proses pembuatan spesimen kemudian dilakukan pengujian spesimen yaitu pengujian foto makro, pengujian kekerasan, dan pengujian tarik.

Tabel 2.1 Parameter yang digunakan

No.	Rasio d. tool (mm/mm)	Rotasi (RPM)	Feedrate (mm/ment)
1	10/3	5800	4
2			6
3			8
4	15/3		4
5			6
6			8
7	20/3		4
8			6
9			8
10	Raw Material		
11	Lem Plastic Steel		



Gambar 2.2 Tool bahan ST80



Gambar 2.3 ASTM D638 tipe IV

2.1 Pengujian Foto Makro

Pengujian makro atau pengambilan foto makro bertujuan untuk menganalisa bentuk permukaan daerah las. Foto makro dapat menunjukkan daerah lasan antara lain *advancing side*, *stir zone*, *retreating side* serta dapat menunjukkan cacat hasil pengelasan. Pengujian foto makro atau makrografi dilakukan menggunakan mikroskop dengan koefisien pembesaran dan metode kerja yang bervariasi.

2.2 Pengujian Kekerasan

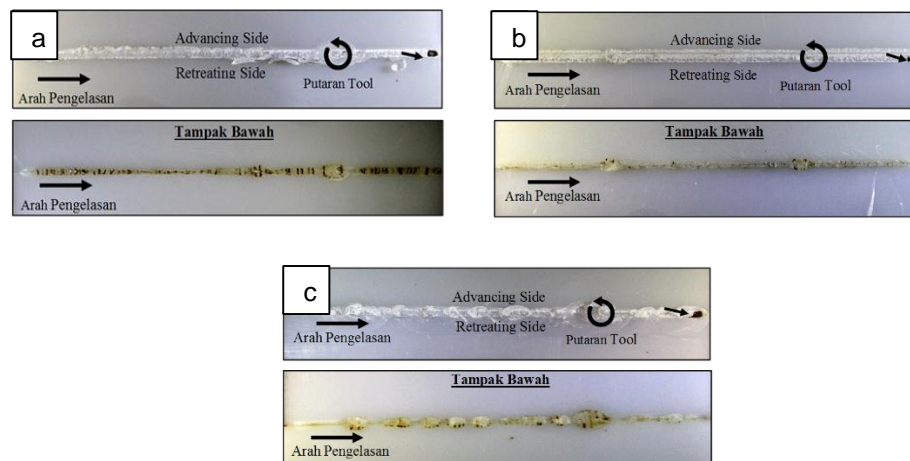
Pengujian kekerasan pada penelitian ini menggunakan alat *Shore D*. Alat ini termasuk dalam kategori durometer *hardness test*. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kekerasan atau sifat mekanik sambungan FSW *nylon 6*. Satuan untuk kekerasan menggunakan *Shore D* adalah HD karena pada jenis pengujian kekerasan ini tingkat kekerasan adalah nilai empiris (perbandingan) berkisar dari 0 - 100 HD.

2.3 Pengujian Tarik

Pengujian tarik merupakan sebuah metode yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu bahan atau material dengan cara memberikan beban gaya yang sesumbu. Pengujian ini bertujuan untuk mengukur ketahanan suatu material terhadap gaya statis yang diberikan secara lambat. Hasil yang diperoleh dari pengujian tarik sangat berperan penting dalam rekayasa teknik dan desain produk karena menghasilkan data kekuatan material. Salah satu hasil yang didapat dari pengujian ini adalah sifat mekanik. Sifat mekanik yang dapat diketahui adalah kekuatan dan regangan. Pengujian tarik banyak dilakukan untuk melengkapi informasi rancangan dasar kekuatan suatu bahan dan sebagai data pendukung bagi spesifikasi bahan. Nilai kekuatan dan regangan dari material uji dapat dilihat dari kurva tegangan - regangan.

3. Hasil dan Pembahasan

Dari Gambar 3.1 dapat dilihat bahwa hasil lasan pada setiap variasi memiliki tampilan lasan yang berbeda. Pada gambar a, b, c yaitu variasi rasio diameter *tool* 10/3 mm/mm dengan *feedrate* 4, 6, 8 mm/min tampilan lasan cukup baik walaupun sedikit cenderung tidak merata, baik pada tampak atas maupun tampak bawah. Pada gambar d, e, f yaitu variasi rasio diameter *tool* 15/3 mm/mm dengan *feedrate* 4, 6, 8 mm/min tampilan cukup baik dan hasil lasan yang cenderung merata, baik pada tampak atas maupun tampak bawah. Sedangkan pada gambar g, h, i yaitu variasi rasio diameter *tool* 20/3 mm/mm dengan *feedrate* 4, 6, 8 mm/min tampilan lasan kurang baik dan cenderung tidak merata, baik pada tampak atas maupun tampak bawah. Hasil lasan yang paling baik terdapat pada variasi rasio diameter *tool* 15/3 mm/mm yaitu gambar d, e, f dan hasil lasan yang kurang baik terdapat pada variasi rasio diameter *tool* 10/3 mm/mm dan 20/3 mm/mm. Hal ini disebabkan oleh dimensi *tool* yang memiliki diameter *shoulder* yang berbeda sehingga mempengaruhi hasil tampilan lasnya. *Shoulder* berpengaruh terhadap hasil akhir lasan karena berfungsi untuk meratakan permukaan zona aduk.

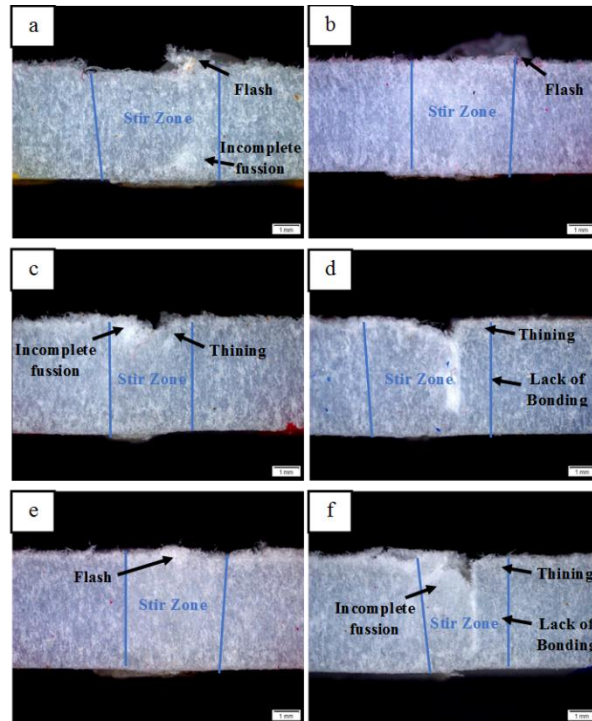


Gambar 3.1 Hasil lasan dengan variasi rasio diameter tool a. 10/3 mm/mm, b. 15/3 mm/mm, c. 20/3 mm/mm.

3.1 Pengujian Foto Makro

Pada gambar 3.2 hasil pengambilan foto makro pada spesimen penelitian FSW dengan material *nylon 6* dapat diamati bahwa pada variasi rasio diameter *tool* 10/3 mm/mm yaitu gambar a dan b, terlihat terdapat sedikit cacat *flash* dan *incomplete fusion*. Hal ini disebabkan oleh lelehan material yang tidak sempurna pada saat proses FSW. Walaupun masih terdapat sedikit cacat tetapi bentuk lasan cukup baik dan terlihat homogen. Pada variasi rasio diameter *tool* 15/3 mm/mm dan 20/3 mm/mm hasil lasan cenderung kurang bagus dan terdapat cacat *flash*, *incomplete fusion*, *lack of bonding* dan *thinning*. *Flash* merupakan lelehan material yang berlebih atau tidak sempurna dipermukaan zona aduk disebabkan oleh panas yang tinggi karena luas bidang gesek *shoulder* yang besar. *Incomplete fusion* merupakan fusi yang tidak terisi secara penuh di dalam zona aduk hal ini disebabkan oleh proses pendinginan material yang kurang sempurna. Kemudian *lack of bonding* adalah rongga kecil antara zona aduk dan material induknya disebabkan oleh distribusi partikel yang kurang baik sehingga antara kedua daerah ini tidak bisa menyatu dengan baik, ini bisa disebabkan oleh kecepatan pemakanan yang terlalu cepat pada saat proses FSW. Sedangkan *thinning* adalah cacat yang terjadi di daerah lasan atau zona aduk yaitu berupa berkurangnya material yang mengakibatkan terjadinya rongga seperti lembah pada sambungan FSW. Dari hasil

pengambilan foto makro hasil yang cukup baik ditunjukkan pada variasi rasio diameter tool 10/3 mm/mm dibandingkan dengan variasi 15/3 mm/mm dan 20/3 mm/mm.



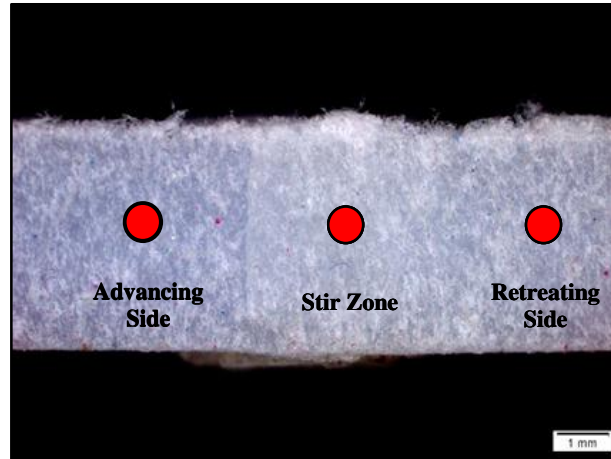
Gambar 3.2 Hasil foto makro pada variasi rasio diameter *tool* dan *feedrate* a. 10/3mm/mm & 6 mm/menit, b. 10/3 mm/m & 4 mm/menit, c. 15/3 mm & 8 mm/menit d. 15/3 & 6 mm/menit, e. 20/3 mm & 4 mm/menit, f. 20/3 mm & 8 mm/menit.

3.2 Pegujian Kekerasan

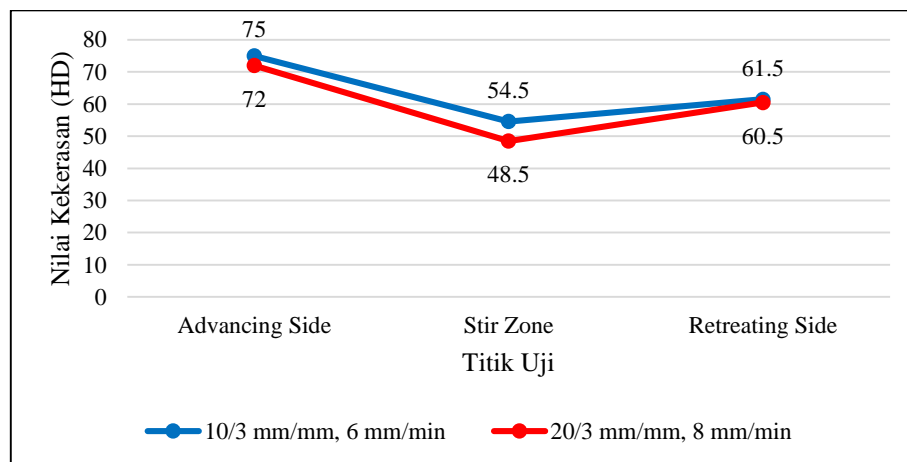
Titik pengambilan pengujian kekerasan yaitu *advancing side*, *stir zone*, dan *retreating side*. Di daerah *advancing side* yaitu daerah material induk yang terkena gesekan *tool* arah maju didapat nilai kekerasan yang paling tinggi yaitu sebesar 75 HD untuk variasi parameter 10/3 mm/mm dan 6 mm/menit dan 72 HD untuk variasi parameter 20/3 mm/mm dan 8 mm/min. Hal ini disebabkan karena pada daerah *advancing side* terdapat deformasi terbesar dari sifat mekanik dan termalnya sehingga material menjadi lebih padat dan lebih keras (Dudzik, 2014). Pada daerah *stir zone* (zona aduk), lelehan material terjadi di daerah ini saja sehingga nilai kekerasannya pun paling rendah yaitu sebesar 54,5 HD untuk variasi parameter 10/3 mm/mm dan 6 mm/menit dan 48,5 HD untuk variasi parameter 20/3 mm/mm dan 8 mm/menit. Sedangkan untuk daerah *retreating side* atau daerah yang terkena arah mundur dari putaran *tool*, nilai kekerasannya lebih rendah dari *advancing side* yaitu sebesar 61,5 HD untuk variasi parameter rasio diameter *tool* 10/3 mm/mm dan *feedrate* 6 mm/menit dan 60,5 HD untuk variasi parameter rasio diameter *tool* 20/3 mm/mm dan *feedrate* 8 mm/menit. Hal ini disebabkan karena terjadi penyapuan material oleh putaran *tool* sehingga partikel material menjadi lebih renggang dan lunak.

Pada gambar 3.5 dapat diketahui nilai kekerasan di *stir zone* sambungan FSW dari 2 variasi parameter yang diambil. Nilai kekerasan pada variasi 10/3 mm/mm & 6 mm/menit lebih tinggi dari pada nilai kekerasan pada variasi 20/3 mm/mm & 8 mm/menit yaitu sebesar 54,5 HD untuk variasi parameter 10/3 mm/mm & 6 mm/menit dan 48,5 HD untuk variasi parameter 20/3 mm/mm & 8 mm/menit. Hal ini disebabkan oleh panas yang terjadi dari gesekan *tool* 10/3 mm/mm tidak terlalu tinggi karena luas bidang gesek

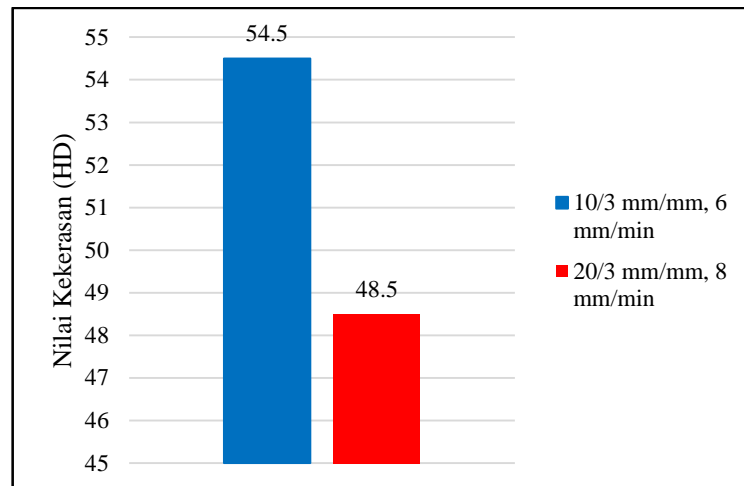
shoulder nya yang tidak terlalu besar sehingga lehan material menjadi efisien di daerah las saja sehingga menjadikan sambungan las yang homogen. Sebaliknya luas bidang *shoulder* pada variasi rasio diameter *tool* 20/3 mm/mm cukup besar menyebabkan terjadinya panas yang tinggi dan menyebabkan lehan material yang cukup lebar di sambungan lasnya sehingga sambungan terbentuk kurang homogen dan menyebabkan material menjadi lebih lunak dan mengurangi nilai kekerasannya.



Gambar 3.3 Titik pengambilan pengujian kekerasan



Gambar 3.4 Grafik nilai kekerasan ditiap titik uji.



Gambar 3.5 Grafik nilai kekerasan di daerah *stir zone*.

3.3 Pengujian Tarik

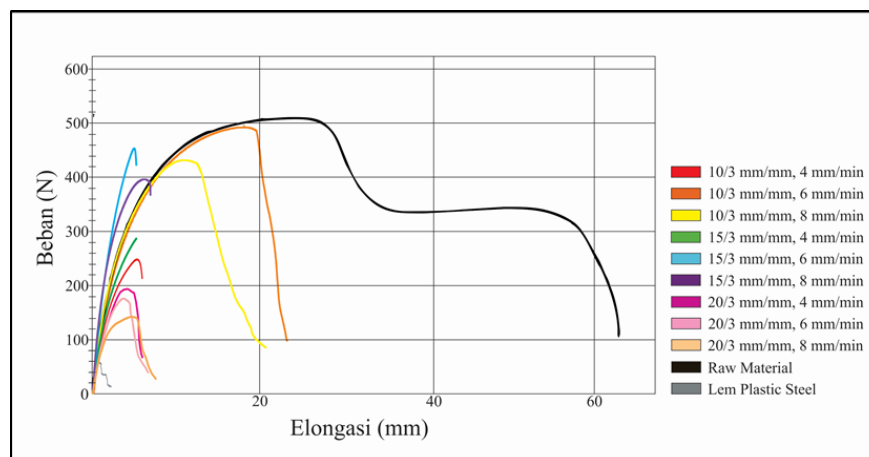
Kurva beban elongasi dari pengujian tarik yang telah dilakukan meliputi *raw material*, sambungan lem *plastic steel* dan sambungan FSW. Dari kurva beban elongasi ini kita dapat mengamati sifat tarik material dari kekuatan tarik, regangan, modulus elastisitas, kekuatan luluh dll. *Raw material nylon 6* yang ditunjukkan oleh kurva berwarna hitam, material ini belum mendapatkan perlakuan apapun sehingga kuat tarik dan regangannya masih tinggi. Pada material dengan sambungan FSW terdapat beberapa variasi parameter dengan kekuatan tarik yang tinggi dan cenderung mendekati *raw material* namun pada semua variasi parameter, regangan yang terjadi cenderung rendah. Hal ini disebabkan karena pada saat proses FSW terjadi lelehan material sehingga menurunkan tingkat keuletannya. Variasi parameter dengan kekuatan tarik dan regangan yang hampir mendekati *raw material* antara lain variasi parameter 10/3 mm/mm & 4 mm/min ditunjukkan oleh kurva berwarna jingga dan 10/3 mm/mm & 8 mm/min ditunjukkan oleh kurva berwarna kuning. Sedangkan untuk sambungan lem *plastic steel* kekuatan tarik dan regangannya sangat kecil dibandingkan dengan *raw material* ataupun sambungan FSW nya.

Pada Gambar 3.7 diatas dapat dilihat hasil kekuatan tarik rata - rata dari setiap variasi antara lain pada rasio diameter *tool* 10/3 mm/mm dengan *feedrate* 4 mm/menit sebesar 8,66 MPa, *feedrate* 6 mm/menit sebesar 19 MPa, *feedrate* 8 mm/menit sebesar, 17,2 MPa. Nilai kekuatan tarik pada rasio diameter *tool* 15/3 mm/mm dengan *feedrate* 4 mm/menit sebesar 10,2 MPa, *feedrate* 6 mm/menit sebesar 9,83 MPa, dan *feedrate* 8 mm/menit sebesar 15,2 Mpa. Nilai kekuatan tarik pada rasio diameter *tool* 20/3 mm/mm dengan *feedrate* 4 mm/menit sebesar 7,64 MPa, *feedrate* 6 mm/menit sebesar 5.75 MPa, *feedrate* 8 mm/menit sebesar 5.6 MPa. Dari tiap variasi yang telah ditentukan, nilai kekuatan tarik tertinggi didapat pada variasi rasio diameter *tool* dan *feedrate* 10/3 mm/mm & 6 mm/menit yaitu sebesar 19 MPa, persentasenya 89.2% dari *raw material* nya yang sebesar 21.3 Mpa dan 530.7% dari sambungan lem *plastic steel* yang sebesar 3.58 MPa. Hal ini bisa terjadi karena diameter *shoulder* yang tidak terlalu besar yaitu 10 mm menyebabkan *heat input* yang masuk juga tidak terlalu tinggi sehingga material *nylon 6* bisa meleleh secara efisien dan tersambung dengan baik di zona aduknya dan diameter *shoulder* pahat yang semakin besar juga menyebabkan menurunnya nilai tarik sambungan las (Bilici, 2017). *Federate* 6 mm adalah *feedrate* yang paling optimal untuk variasi diameter *tool* 10/3 mm/mm diantara variasi *feedrate* lainnya karena kecepatannya cenderung sedang, sehingga partikel material di zona aduk dapat terdistribusi dengan baik. Nilai kekuatan tarik terendah didapat pada variasi 20/3 mm/mm & 8 mm/menit yaitu sebesar 5,6 MPa, persentasenya 26,2% dari *raw material* nya yang sebesar 21.3 MPa dan 156,4% dari sambungn lem *plastic steel* yang sebesar 3,58 MPa. Hal ini bisa terjadi karena ukuran diameter *shoulder* yaitu sebesar 20 mm menyebabkan luasnya

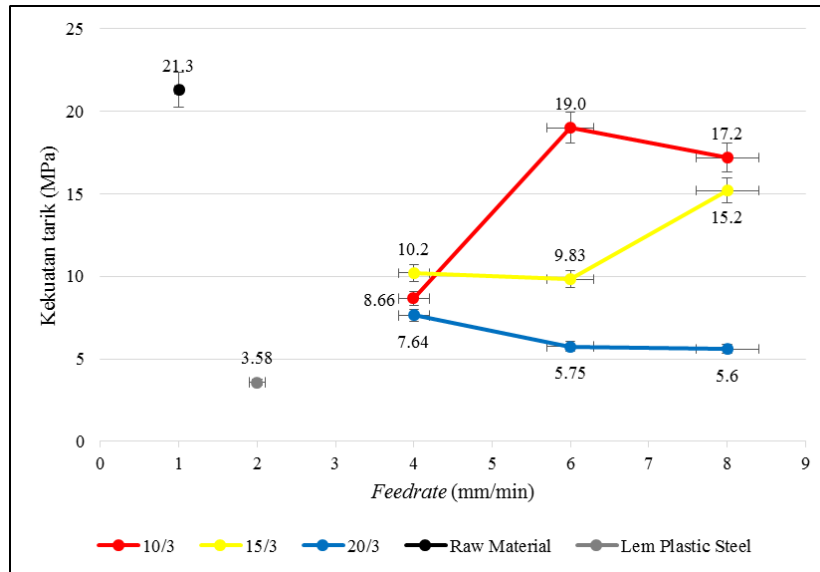
permukaan bidang gesek yang terjadi pada material *nylon 6*, menyebabkan *heat input* yang tinggi mengakibatkan lelehan material menjadi tidak sempurna dan kecepatan pemakanan *tool* sebesar 8 mm/menit menyebabkan proses pendinginan lelehan material menjadi terlalu cepat.

Dari gambar 3.8 dapat diketahui regangan tertinggi didapat pada variasi rasio diameter *tool* dan *feedrate* 10/3 mm/mm & 6 mm/menit yaitu sebesar 15%, dan nilai regangan terendah didapat pada variasi 20/3 mm/mm & 4 mm/menit yaitu sebesar 3.10%. Regangan tertinggi terdapat pada variasi yang sama dengan variasi yang memiliki nilai kekuatan tarik yang tertinggi juga. Sementara nilai regangan terendah didapat pada variasi rasio diameter *tool* dan *feedrate* 20/3 mm/mm & 4 mm/menit. Berbeda dengan nilai regangan yang tertinggi, nilai regangan terendah justru didapat tidak sama dengan variasi yang memiliki nilai kekuatan tarik yang terendah yaitu pada variasi rasio diameter *tool* dan *feedrate* 20/3 mm/mm & 8 mm/menit. Hal ini terjadi karena nilai regangan berbanding terbalik dengan nilai kekuatan tarik. Semakin tinggi kekuatan tarik maka semakin rendah regangannya, dan jika semakin rendah kekuatan tariknya maka semakin besar regangannya menurut (Sudrajat, 2012).

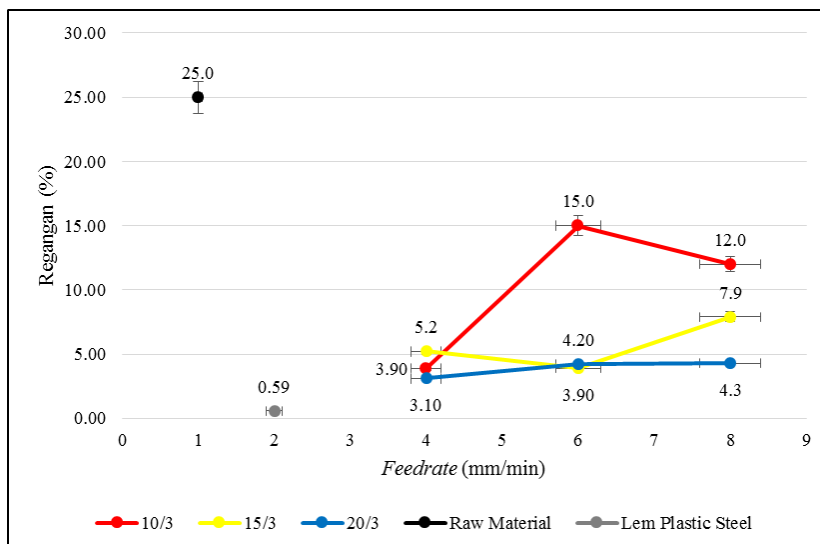
Pada gambar 3.9 dapat diketahui nilai rata - rata modulus elastisitas tertinggi terdapat pada variasi lem *plastic steel* yaitu sebesar 645,5 MPa. Sedangkan pada sambungan FSW nilai modulus elastisitas tertinggi terdapat pada variasi rasio diameter *tool* 15/3 mm/mm dengan *feedrate* 8 mm/menit yaitu sebesar 554 MPa. Untuk nilai modulus elastisitas terendah terdapat pada variasi rasio diameter *tool* 20/3 mm/mm dengan *feedrate* 6 mm/menit yaitu sebesar 310,5 MPa. Hal ini dikarenakan semakin besar nilai modulus elastisitas maka semakin besar pula tegangan yang diperlukan untuk regangan tertentu, begitupun sebaliknya.



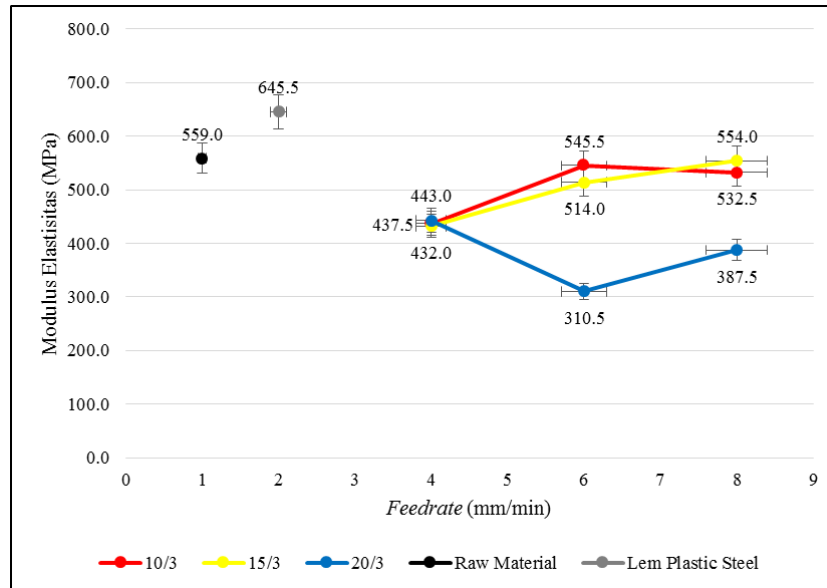
Gambar 3.6 Kurva beban elongasi hasil pengujian tarik.



Gambar 3.7 Grafik nilai kekuatan tarik.



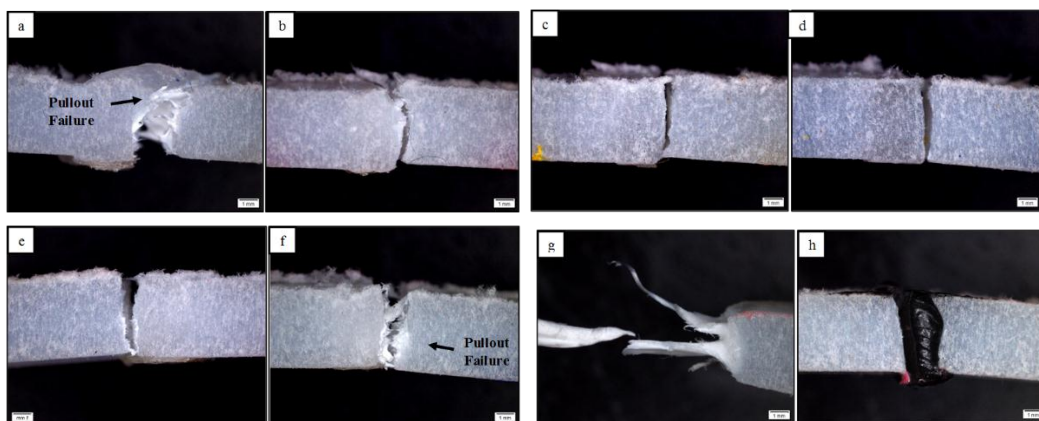
Gambar 3.8 Grafik nilai regangan.



Gambar 3.9 Grafik nilai modulus elastisitas.

3.4 Fraktografi

Hasil gambar patahan yang terjadi pada gambar 3.10 dapat diamati variasi sambungan FSW yang ditunjukkan gambar 3.10 a. 10/3 mm/mm & 6 mm/min dan f. 20/3 mm/mm & 8 mm/min patahan tidak terputus dengan sempurna. Hal ini disebabkan karena terjadinya lelehan material yang berlebih pada zona las (*flash*) sehingga menyebabkan spesimen tidak terputus dengan sempurna atau biasa disebut *pullout failure*. Sedangkan pada sambungan *raw material* yang ditunjukkan gambar g. terjadi penguluran material yang cukup panjang, dan pada sambungan lem *plastic steel* yang ditunjukkan gambar h. material terputus dengan sempurna. Hal ini sesuai dengan kurva beban elongasi pada gambar 4.6 dimana regangan pada spesimen *raw material* terlihat cenderung besar dan pada sambungan lem *plastic steel* regangannya terlihat kecil.



Gambar 3.10 Patahan spesimen pengujian tarik dengan variasi a. 10/3 mm/mm & 6 mm/min, b. 10/3 mm/mm & 4 mm/min, c. 15/3 mm/mm & 8 mm/min, d. 15/3 mm/mm & 6 mm/min, e. 20/3 mm/mm & 4 mm/min, f. 20/3 mm/mm & 8 mm/min, g. *raw material*, dan h. sambungan lem *plastic steel*.

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian tentang pengaruh parameter rasio diameter *tool* dan *feedrate* terhadap sifat tarik sambungan *nylon 6* ketebalan 4 mm dengan metode *friction stir welding* dapat disimpulkan bahwa :

1. Hasil pengujian tarik tertinggi didapat pada variasi rasio diameter *tool* 10/3 mm/mm dan *feedrate* 6 mm/menit yaitu dengan kekuatan tarik sebesar 19 MPa. Hal ini disebabkan karena dengan diameter *shoulder* yang tidak terlalu besar yaitu 10 mm menyebabkan *heat input* yang tidak terlalu tinggi sehingga material *nylon 6* bisa meleleh secara efisien dan tersambung dengan baik di zona aduknya. *Feedrate* 6 mm adalah *feedrate* yang kecepatannya cenderung sedang, sehingga partikel material di zona aduk dapat terdistribusi dengan baik.
2. Dari hasil pengamatan foto makro diketahui bahwa cacat paling banyak terdapat pada variasi rasio diameter *tool* 20/3 mm/mm cacat yang terjadi antara lain *incomplete fusion*, *flash*, *thinning* dan *lack of bonding*. Diketahui bahwa terjadi lelehan yang kurang sempurna dan rongga - rongga kecil sehingga menyebabkan material menjadi berkurang nilai kekuatannya dan menjadi lebih lunak.
3. Hasil pengujian kekerasan sambungan FSW pada variasi parameter dengan nilai kekuatan tarik tertinggi adalah sebesar 54,5 HD. Hal ini disebabkan karena pada variasi parameter rasio diameter *tool* 10/3 mm/mm dan *feedrate* 6 mm/menit, material meleleh dan terdistribusi secara homogen.

Dari penelitian FSW dengan bahan *nylon 6* yang telah dilakukan *heat input* sangat berpengaruh terhadap sifat tarik dan nilai kekerasan sambungannya. Maka dari itu, saran untuk penelitian ini adalah perlu adanya penambahan alat pendeteksi panas untuk mendeteksi *heat input* yang terjadi di daerah sambungan las pada saat proses FSW agar dapat diketahui panas yang optimal untuk sambungan yang lebih kuat.

Daftar Pustaka

- Karimi, N., Shakeri, M., Habibnia, M., & Nourouzi, S., (2012). *Joining of 1100 Al Alloy to AISI 1045 Carbon Steel by Friction Stir Welding*. Applied Mechanics and Materials Vols. 152-154, pp 418-423.
- Jaiganesh, V., Maruthu, B., Gopinath, E., (2014). *Optimization of process parameters on friction stir welding of highdensity polypropylene plate*. Procedia Engineering 97, 1957-1965.
- Mendes, N., Loureiro, A., Martins, C., Neto, P., & Pires, J.N., (2014). *Effect of friction stir welding parameters on morphology and strength of acrylonitrile butadiene styrene plate welds*. Materials and Design 58, 457-464.
- Mironov, S., Motohashi, Y., Kaibyshev, R., Somekawa, H., Mukai, T., & Tsuzaki, K., (2009). *Development of Fine-grained Structure Caused by Friction Stir Welding Process of a ZK60A Magnesium Alloy*. Material Transactions. 50(3), 610-617.
- Panneerselvam, K., & Lenin, K., (2013). *Joining of Nylon 6 plate by friction stir welding process using threaded pin profile*. Materials and Design 53, 302-307.

Wilantara, W., (2013). *Pengaruh Variasi Panjang Pin Terhadap Kekerasan dan Kekuatan Tarik Dengan Metode Friction Welding Pada Alumunium Seri 1XXX* [Skripsi]. Yogyakarta (ID): Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

Zafar, A., Awang, M., Khan, S. R., & Emamian, S., (2016). *Investigating Friction Stir Welding on Thick Nylon 6 Plates*. *Welding Journal* Vol. 95, 210-218.