

Pengaruh Putaran *Tool*, Diameter Pin, dan Bentuk Pin Terhadap Kekuatan Tarik Dan Foto Makro Sambungan *Friction Stir Welding Polyvinyl Chloride* Pada Rancangan Ekperimen Desain Faktorial

Muhammad Afif Ramadhan¹⁾, Bagus Fauzi Abdullah¹⁾

¹⁾Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Jalan Brawijaya, Tamantirto, Kasihan, Bantul Daerah Istimewa Yogyakarta, 5518, Indonesia

✉ Corresponding author email: muhammadafiframadhan123@gmail.com

Abstrak

Friction Stir Welding adalah salah satu metode penyambungan material padat (*Solid State*) yang memanfaatkan panas akibat hasil dari gesekan antara Pin *Tool* dengan material. Metode *Friction Stir Welding* dapat digunakan untuk menyambung material logam maupun non logam. Bahan material yang digunakan dalam penelitian adalah *Polyvinyl Chloride* (PVC) dengan dimensi ukuran 120 x 80 x 4 mm. Variasi parameter yang digunakan dalam penelitian ini meliputi : Kecepatan Putar 1500 rpm dan 1700 rpm, Diameter Pin 3 mm dan 5 mm, dan Bentuk Pin Silinder dan Taper Silinder. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kuat tarik tertinggi didapat pada sambungan dengan parameter Kecepatan Putar 1700 rpm, Diameter Pin 5 mm, dan Bentuk Pin Taper Silinder dengan nilai rata rata kuat tarik 3,18 MPa. Dan parameter yang paling berpengaruh adalah Kecepatan Putar.

Kata Kunci: *Friction Stir Welding, Polyvinyl Chloride, Kecepatan Putar, Diameter Pin, Bentuk Pin, Kuat Uji Tarik, Foto Makro*

Abstract

Friction Stir Welding is one of the solid state material joining methods that utilizes heat resulting from friction between the Pin *Tool* and the material. The *Friction Stir Welding* method can be used to join metal and non-metal materials. The material used in the study was *Polyvinyl Chloride* (PVC) with dimensions of 120 x 80 x 4 mm. The parameter variations used in this study include: Rotary Speed 1500 rpm and 1700 rpm, Pin Diameter 3 mm and 5 mm, and Cylindrical Pin Shape and Cylindrical Taper. The research results showed that the highest tensile strength value was obtained in connections with parameters of Rotary Speed of 1700 rpm, Pin Diameter of 5 mm, and Taper Cylindrical Pin Shape with an average tensile strength value of 3.18 MPa. And the most influential parameter according is the Rotary Speed.

Keyword : *Friction Stir Welding, Polyvinyl Chloride, Rotational Speed, Pin Diameter, Pin Shape, Tensile Test Strength, Macro Photo*

PENDAHULUAN

Perkembangan dunia industri manufaktur semakin meningkat sangat pesat, salah satunya pada teknik pengelasan secara padat. Pengelasan dengan kondisi padat (*Solid State*) adalah suatu jenis penyambungan dengan memanfaatkan energi panas yang terjadi akibat gesekan antara material juga semakin beragam [1]. Salah satu metode *Solid State Welding* (SSW) adalah *Friction Stir Welding* (FSW) yaitu proses pengelasan dengan memanfaatkan panas yang timbul akibat gesekan putaran dari *tool* sehingga mengakibatkan logam induk dibawah tekanan aksial yang besar pada daerah pengelasan. *Polyvinyl Polyvinyl Chloride* atau biasa disingkat (PVC) merupakan salah satu jenis termoplastik yang ekonomis dan serbaguna untuk berbagai keperluan. PVC merupakan plastik yang memiliki sifat melunak jika terkena panas dan akan kembali mengeras jika kondisinya dingin. Karakteristik pada plastik PVC menjadikannya banyak digunakan pada bidang industri, karena sifatnya terdiri dari: Tahan terhadap aliran Listrik dan zat kimia, *Cost Effective*, dan tidak mudah terbakar [2]. Salah satu tantangan dalam pengelasan FSW bahan PVC adalah material yang lunak sehingga pada saat proses pengelasan rentan terjadi kerusakan.

Pemilihan parameter pengelasan yang tidak tepat menyebabkan terjadinya cacat pada pengelasan. Pengujian yang dilakukan dengan nilai variasi kecepatan putar yang rendah maka sambungan cenderung tersambung secara tidak optimal menghasilkan cacat *crack* dan *void* pada batas area *stir zone*. Sedangkan dengan nilai kecepatan putar yang tinggi sambungan memiliki hasil yang optimal secara visual. Penggunaan pin *tool* pada pengelasan dapat berpengaruh terhadap tingkat keberhasilan pengelasan. Salah satu pengaruh yang disebabkan pin *tool* adalah pemilihan diameter pin. Ukuran diameter pin yang rendah menghasilkan panas yang cukup sehingga mendapatkan kualitas pengelasan yang baik. Sedangkan pada ukuran diameter yang lebih tinggi menghasilkan panas yang berlebihan hal tersebut menyebabkan material induk cenderung keluar dari garis lasan sehingga berdampak pada kekuatan sambungan.

Gao dkk (2016) melakukan penelitian tentang pengaruh kecepatan putar, kedalaman *plunge*, kecepatan pengelasan, dan efek kekuatan tarik dan stuktur mikro pada sambungan lem tarik yang dissimilar dari lembaran polietilen berdensitas tinggi (HDPE) dan *acrylonitrile butadiene styrene* (ABS). Untuk tujuan penelitian ini, jenis sambungan pengelasan adalah sambungan tumpang. Kecepatan putar 2000 rpm, 2500 rpm, dan 3000 rpm digunakan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kedalaman *plunge* 0,1 mm, 0,2 mm, dan 0,4 mm, serta kecepatan pengelasan 15 mm/menit, 20 mm/min, dan 60 mm/menit, dan kedalaman *plunge* 0,2 mm sebesar 14,7 MPa adalah kekuatan tarik tertinggi. Struktur mikro yang diamati pada variasi tersebut menunjukkan *weld nugget* yang baik tanpa cacat. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa peningkatan kecepatan putaran dapat menyebabkan panas yang tinggi, yang menyebabkan gaya gesek yang tinggi pada bahan, yang menyebabkan pencampuran dan aliran pengelasan yang lebih konsisten. [3].

METODE DAN BAHAN

Alat dan Bahan

Penelitian ini menggunakan bahan PVC. PVC memiliki kekuatan tarik yang bervariasi tergantung pada jenisnya. Pada PVC yang digunakan kali ini adalah PVC kaku, kekuatan tarik berkisar antara 34-62 MPa, tergantung pada formulasi dan proses pembuatannya [4]. Lembaran yang akan digunakan memiliki ukuran panjang 120 mm, lebar 80 mm dan tebal 4 mm.

Tabel 1. Alat dan Bahan Penelitian

| Alat | Bahan |
|--|--|
| Mesin CNC <i>Robodril a-T10</i> | Lembaran <i>Polyvinyl Chloride</i> (PVC) 120 x 80 x 4 mm |
| Mikroskop optik <i>Olympus SZ61-TR</i> | |
| Mesin <i>Ibertest testcom-5</i> | |
| Mesin <i>Motoyama Bench Grinder</i> | |
| <i>Pin tool</i> | |
| Jangka Sorong | |

Rancangan Eksperimen

Tabel 2. Variabel Penelitian

| No | Variabel | Notasi | -1 | 1 |
|----|-----------------|--------|----------|----------------|
| 1 | Kecepatan Putar | n | 1500 | 1700 |
| 2 | Diameter Pin | d | 3 | 5 |
| 3 | Bentuk Pin | - | Silinder | Taper Silinder |

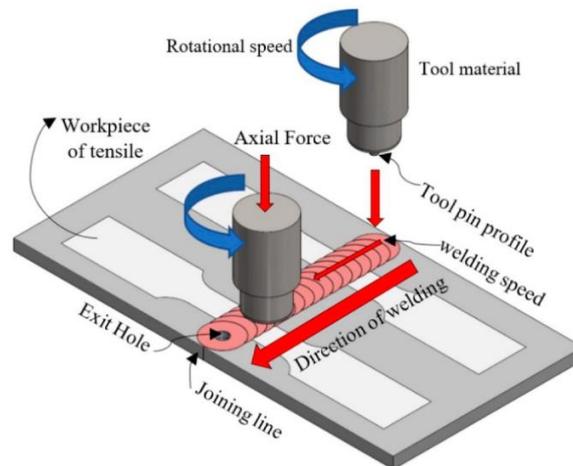
Rencana pengambilan data menggunakan kombinasi level atas dan bawah. Nilai variabel penelitian di dasarkan pada Mostafapour dkk.(2012) dan hasil penelitian awal. Tabel perencanaan pengambilan data dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Tabel Perencanaan Penelitian Desain Faktorial

| Variasi | Kecepatan Putar n (Rpm) | Diameter Pin d (mm) | Bentuk Pin |
|---------|-------------------------|---------------------|----------------|
| 1 | 1700 | 3 | Silinder |
| 2 | 1500 | 5 | Taper Silinder |
| 3 | 1700 | 5 | Silinder |
| 4 | 1700 | 3 | Taper Silinder |
| 5 | 1500 | 3 | Taper Silinder |
| 6 | 1500 | 3 | Silinder |
| 7 | 1700 | 5 | Taper Silinder |
| 8 | 1500 | 5 | Silinder |

Proses pengelasan

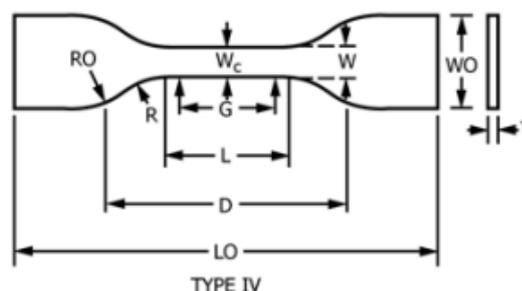
Pada proses pengelasan FSW dilakukan menggunakan mesin CNC *Robodrill a-T10* di Gedung G6 Lantai Dasar Laboratorium Fabrikasi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Beberapa parameter yang digunakan diantaranya: variasi putaran *tool* 1500 Rpm dan 1700 rpm, diameter pin: 3 mm dan 5 mm, dan bentuk pin silinder dan taper silinder. Pengelasan diawali dengan pemasangan material yang akan di las pada ragam khusus untuk pengelasan FSW Kemudian lakukan setting *zero point* pada mesin dan masukan g code gerak lurus ke arah sumbu X beserta parameter proses kecepatan putar, laju pemakanan, dan kedalaman pemakanan. Proses pengelasan menggunakan Teknik sambungan *Butt Joint*. Ilustrasi proses pengelasan ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema Pengelasan FSW (Srichok dkk, 2020).[5]

Proses Pembentukan Spesimen Uji Tarik

Proses pembentukan spesimen dilakukan menggunakan mesin *Motoyama Bench Grinder* di Gedung G6 Lantai Dasar Laboratorium Fabrikasi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Pembentukan dilakukan berdasarkan dimensi standar ASTM D638-14.



| Dimensions (see drawings) | 7 (0.28) or under | | Over 7 to 14 (0.28 to 0.55), incl | 4 (0.16) or under | | Tolerances |
|--|-------------------|-----------|-----------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------------|
| | Type I | Type II | Type III | Type IV ^B | Type V ^{C,D} | |
| W—Width of narrow section ^{E,F} | 13 (0.50) | 6 (0.25) | 19 (0.75) | 6 (0.25) | 3.18 (0.125) | ±0.5 (±0.02) ^{B,C} |
| L—Length of narrow section | 57 (2.25) | 57 (2.25) | 57 (2.25) | 33 (1.30) | 9.53 (0.375) | ±0.5 (±0.02) ^C |
| WO—Width overall, min ^G | 19 (0.75) | 19 (0.75) | 29 (1.13) | 19 (0.75) | ... | + 6.4 (+ 0.25) |
| WO—Width overall, min ^G | ... | ... | ... | ... | 9.53 (0.375) | + 3.18 (+ 0.125) |
| LO—Length overall, min ^H | 165 (6.5) | 183 (7.2) | 246 (9.7) | 115 (4.5) | 63.5 (2.5) | no max (no max) |
| G—Gage length ^I | 50 (2.00) | 50 (2.00) | 50 (2.00) | ... | 7.62 (0.300) | ±0.25 (±0.010) ^C |
| G—Gage length ^I | ... | ... | ... | 25 (1.00) | ... | ±0.13 (±0.005) |
| D—Distance between grips | 115 (4.5) | 135 (5.3) | 115 (4.5) | 65 (2.5) ^J | 25.4 (1.0) | ±5 (±0.2) |
| R—Radius of fillet | 76 (3.00) | 76 (3.00) | 76 (3.00) | 14 (0.56) | 12.7 (0.5) | ±1 (±0.04) ^C |
| RO—Outer radius (Type IV) | ... | ... | ... | 25 (1.00) | ... | ±1 (±0.04) |

Gambar 2. Sketsa Spesimen Uji Tarik

Proses Foto Makro

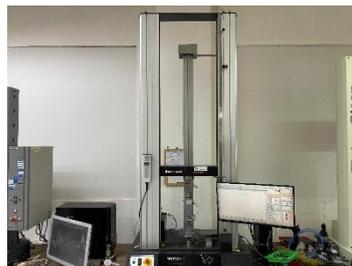
Pada penelitian pengamatan foto makro dilakukan menggunakan mikroskop Optik *Olympus SZ61-TR* di Gedung G6 Lantai 1 Ruang Laboratorium Fenomena Dasar Mesin Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Pengamatan foto makro diawali dengan meletakkan spesimen uji tarik ke bawah lensa optik, kemudian proses setting lensa sampai hasil gambar terlihat secara jelas. Bagian yang di foto merupakan bagian atas dan samping pada spesimen.



Gambar 3. Proses Foto Makro

Proses Uji Kuat Tarik

Proses pengujian Tarik dilakukan menggunakan mesin *Ibertest Testcom-5* di Balai Besar Karet Kulit dan Plastik (BBKKP). Pengujian kuat tarik dilakukan dengan menggunakan standar ASTM D638-14 *Type 4* sesuai dengan spesifikasi spesimen. Data yang dihasilkan berupa grafik dan nilai angka kuat tarik dalam satuan MPa.

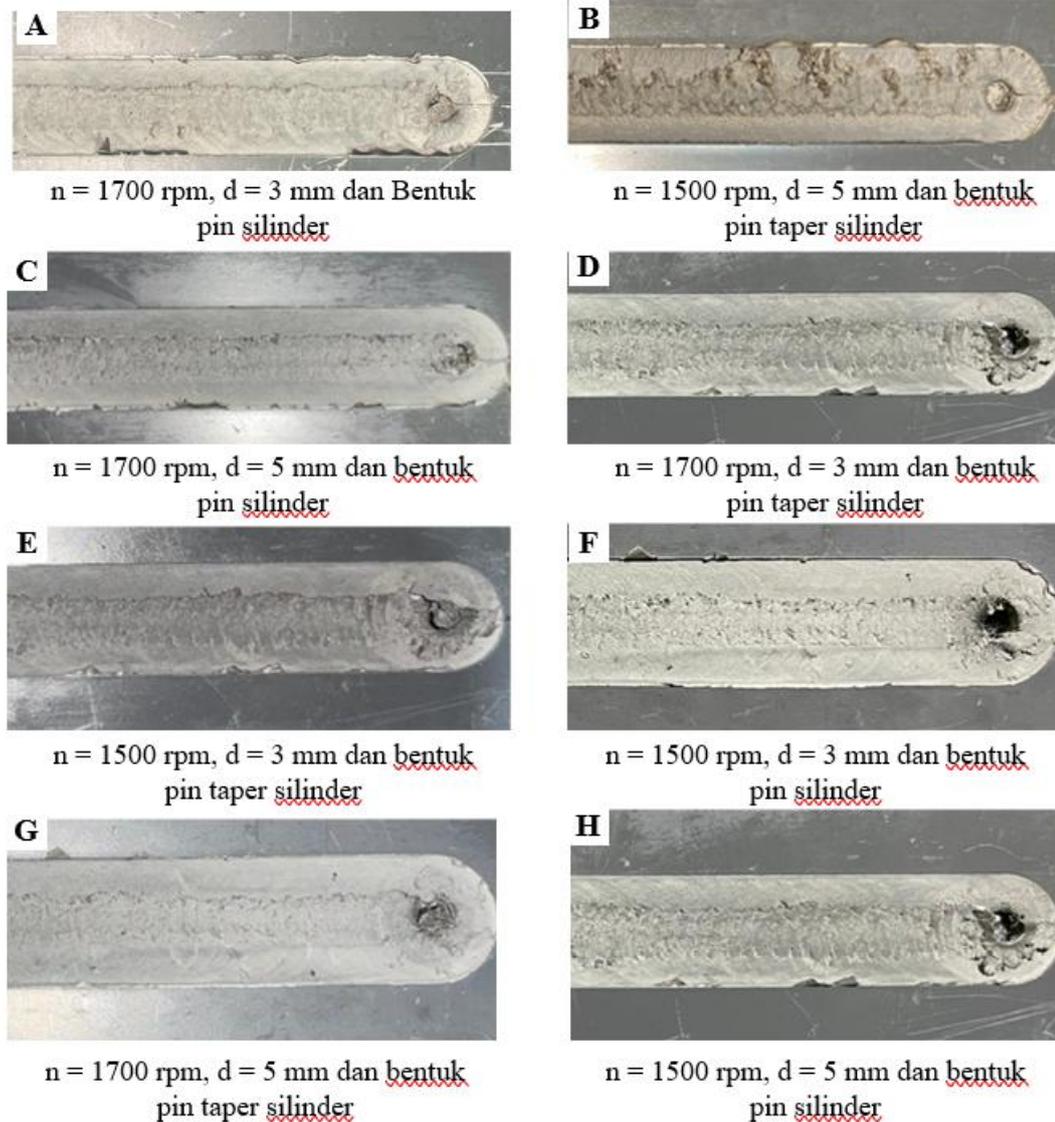


Gambar 4. Proses Uji Kuat Tarik

HASIL DAN DISKUSI

Hasil Pengelasan

Pengelasan menggunakan bahan lembaran PVC dilakukan dengan metode FSW menggunakan variasi kecepatan putar 1500 rpm dan 1700 rpm, diameter pin 3 mm dan 5 mm, bentuk pin silinder dan taper silinder. Pada proses pengelasan didapatkan hasil pengelasan yang cukup baik, Dimana lembaran PVC dapat tersambung. Secara visual sambungan dengan masing-masing variabel pengelasan ditunjukkan pada Gambar 5. pada Gambar A sampai dengan H.



Gambar 5. Visual Hasil Pengelasan

Gambar 5. Menunjukkan menunjukkan hasil pengelasan dengan parameter yang berbeda beda. Pada Gambar A variasi kecepatan putar 1700 rpm, diameter pin 3 mm dan bentuk pin silinder terlihat dari awal lasan sampai akhir hasil kurang baik permukaan lasan cenderung tidak rata menghasilkan cacat *undercut*. Pada Gambar B variasi kecepatan putar 1500 rpm, diameter pin 5 mm dan bentuk pin taper silinder terlihat dari awal lasan sampai akhir hasil kurang baik permukaan lasan cenderung tidak rata dan cukup kasar di permukaan atas menghasilkan cacat *void* dan *flash*. Pada Gambar C variasi kecepatan putar 1700 rpm, diameter pin 5 mm dan bentuk pin silinder terlihat dari awal lasan sampai akhir hasil kurang baik permukaan las cenderung rata dan halus namun masih terdapat cacat *undercut*. Pada Gambar D variasi kecepatan putar 1700 rpm, diameter pin 3 mm dan bentuk pin taper silinder terlihat dari awal lasan sampai akhir hasil kurang baik permukaan lasan cukup kasar dan terdapat cacat *flash*. Pada Gambar E variasi kecepatan putar 1500 rpm, diameter pin 3 mm dan bentuk pin taper silinder terlihat dari awal lasan sampai akhir hasil kurang

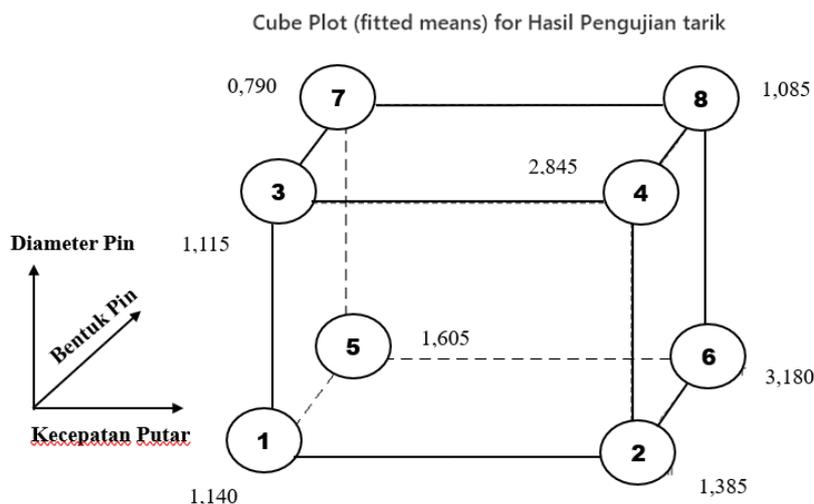
baik permukaan lasan cukup kasar dan terdapat cacat *crack* dan *void*. Gambar F variasi kecepatan putar 1500 rpm, diameter pin 3 mm dan bentuk pin silinder terlihat dari awal lasan sampai akhir hasil kurang baik permukaan permukaan lasan cenderung tidak rata dan terdapat cacat *undercut*. Pada Gambar G variasi kecepatan putar 1700 rpm, diameter pin 5 mm dan bentuk pin taper silinder terlihat dari awal lasan sampai akhir terisi secara sempurna dan memiliki hasil yang baik permukaan las cenderung rata dan halus tidak terdapat cacat. Pada Gambar H variasi kecepatan putar 1700 rpm, diameter pin 3 mm dan bentuk pin silinder terlihat dari awal lasan sampai akhir hasil kurang baik permukaan lasan cukup kasar dan terdapat cacat *flash*. Dapat dilihat pada gesekan *shoulder* dengan diameter pin yang lebih besar memiliki *Weld Nugget* yang lebih baik dibandingkan dengan yang kecil. Begitupun dengan kecepatan putar yang tinggi memiliki *Weld nugget* yang lebih baik dibandingkan dengan yang rendah. Nilai kuat tarik tertinggi ditunjukkan spesimen G dengan variasi kecepatan putar 1700 rpm, diameter pin 5 mm dan bentuk pin taper silinder dengan nilai kuat tarik 3,98 MPa dan hasil kuat tarik terendah ditunjukkan spesimen H dengan variasi kecepatan putar 1500 rpm, diameter pin 5 mm dan bentuk pin silinder dengan nilai kuat tarik 0,39 MPa. Beberapa jenis cacat yang dapat diidentifikasi meliputi *crack*, *flash*, *undercut* dan *void*.

Pola Ekperimen Desain Faktorial

Pada pengamatan didapatkan informasi bahwa hasil kuat tarik pada proses pengelasan dipengaruhi oleh parameter pengelasan yang meliputi kecepatan putar, diameter pin, Bentuk pin. Perencanaan *experiment* desain faktorial secara acak menggunakan aplikasi minitab untuk menghindari kesamaan data yang akan diperoleh. Data hasil pola *experiment two level factorial design* dapat dilihat pada Tabel 4. Gambar geometris *experiment* dapat dilihat pada Gambar 6.

Tabel 4. Hasil Pengujian Kuat Tarik dan Nilai Rata- Rata Kuat Tarik

| No | Variasi | | | Tegangan Tarik | | |
|----|---------------------|------------------|----------------|------------------|------------------|-----------------|
| | Kecepatan putar (n) | Diameter pin (d) | Bentuk Pin | Spesimen 1 (MPa) | Spesimen 2 (MPa) | Rata-Rata (MPa) |
| 1 | 1700 | 3 | Silinder | 1,21 | 1,56 | 1,38 |
| 2 | 1500 | 5 | Taper Silinder | 0,93 | 1,30 | 1,11 |
| 3 | 1700 | 5 | Silinder | 2,85 | 2,84 | 2,84 |
| 4 | 1700 | 3 | Taper Silinder | 1,32 | 0,85 | 1,08 |
| 5 | 1500 | 3 | Taper Silinder | 1,39 | 1,82 | 1,60 |
| 6 | 1500 | 3 | Silinder | 0,73 | 1,55 | 1,14 |
| 7 | 1700 | 5 | Taper Silinder | 3,98 | 2,38 | 3,18 |
| 8 | 1500 | 5 | Silinder | 1,19 | 0,39 | 0,79 |

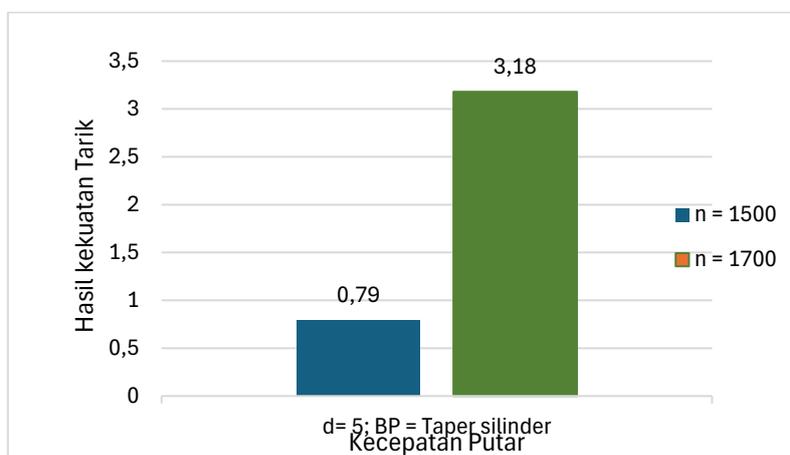


Gambar 6. Gambar geometris Experiment dan hasil

Dari gambar konstruksi experiment dapat dilihat perubahan respon yang terjadi dari kondisi 1 ke 3, 2 ke 4, 5 ke 7, dan 6 ke 8 merupakan akibat pengaruh variabel pada diameter pin berubah dari kondisi level bawah ke level atas perubahan yang terjadi dikarenakan semakin kecil diameter pin maka semakin kecil jalur pengelasan sehingga menghasilkan panas yang berlebih hal tersebut menyebabkan material induk keluar garis lasan sehingga mengakibatkan kecacatan, namun pada diameter yang lebih besar memiliki tingkat kerapatan yang lebih baik hal tersebut diakibatkan semakin lebar diameter pin pengelasan maka semakin lebar jalur pengelasan yang dihasilkan serta semakin banyak PVC yang dapat diaduk sehingga sifat mekaniknya semakin baik. Perubahan respon yang terjadi dari kondisi 1 ke 2, 3 ke 4, 5 ke 6, dan 7 ke 8 merupakan akibat dari pengaruh variabel pada parameter kecepatan putar perubahan yang terjadi dikarenakan pada kecepatan putar rendah panas yang dihasilkan tidak optimal sehingga menyebabkan gaya gesek yang dihasilkan pada material tidak baik, namun pada kecepatan putar yang tinggi panas yang dihasilkan cukup optimal sehingga menghasilkan gaya gesek yang cukup baik pada material. Perubahan respon yang terjadi dari kondisi 1 ke 5, 2 ke 6, 3 ke 7, dan 4 ke 8 merupakan akibat dari pengaruh variabel pada parameter bentuk pin perubahan yang terjadi dikarenakan pada bentuk pin silinder tidak mengalami pengadukan pin yang merata sehingga berpengaruh terhadap sambungan pengelasan, namun pada bentuk pin taper silinder, pengadukan pin merata sehingga memberikan hasil yang optimal.

Grafik Perbandingan Nilai Rata-Rata

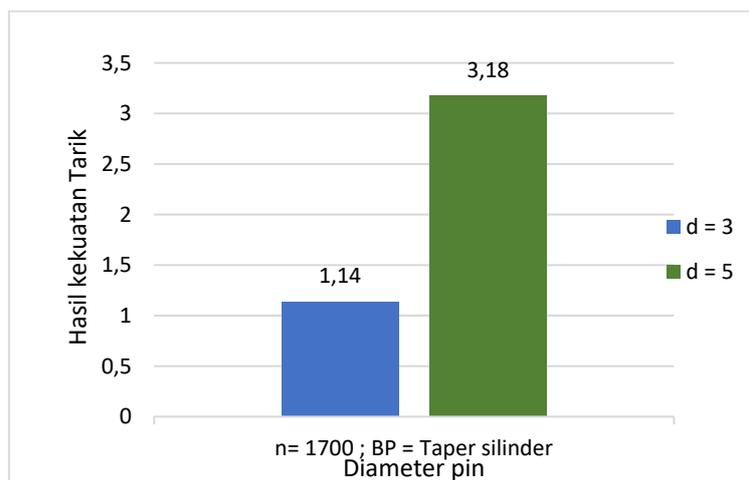
Grafik dibawah menunjukkan perbandingan dari nilai rata-rata kuat tarik dengan ketiga variasi parameter proses. Hasil grafik ditunjukkan pada Gambar 7. sampai 9.



Gambar 7. Grafik Nilai Rata-Rata Kuat Tarik Sambungan Dengan Kecepatan Putar 1500

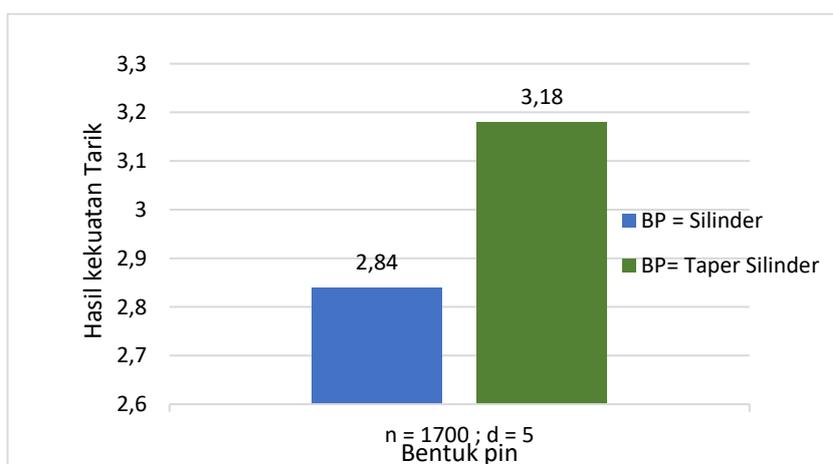
rpm, 1700 rpm menggunakan Diameter Pin 5 mm dan Bentuk Pin Taper Silinder

Gambar 7. Menunjukkan perbandingan grafik nilai rata-rata kuat tarik dengan variabel kecepatan putar pada variasi diameter pin 5 mm dan bentuk pin taper silinder. Nilai rata-rata tinggi didapatkan pada kecepatan putar 1700 rpm dengan nilai 3,18 MPa dan nilai rata-rata rendah didapatkan pada kecepatan putar 1500 rpm dengan nilai 0,79 MPa. Hal ini dapat disimpulkan bahwa kekuatan tarik mengalami peningkatan seiring bertambahnya kecepatan putar. Semakin tinggi kecepatan putar maka kekuatan tarik akan meningkat tetapi peningkatan kecepatan putar yang terlalu tinggi menyebabkan kekuatan menurun (saeddy dan Besharati, 2011).



Gambar 8. Grafik Nilai Rata-Rata Kuat Tarik Sambungan Dengan Kecepatan Putar 1700 rpm menggunakan Diameter Pin 3 mm, 5 mm dan Bentuk Pin Taper Silinder

Gambar 8. Menunjukkan perbandingan grafik nilai rata-rata kuat tarik dengan variabel diameter pin pada variasi kecepatan putar 1700 rpm dan bentuk pin taper silinder. Nilai rata-rata tinggi didapatkan pada diameter pin 5 mm dengan nilai 3,18 MPa dan nilai rata-rata rendah didapatkan pada diameter pin 3 mm dengan nilai 1,14 MPa. Hal ini dapat disimpulkan bahwa kekuatan tarik mengalami peningkatan dengan besarnya diameter pin yang dipakai. Jalur pengelasan yang semakin lebar akan dihasilkan oleh diameter pin yang lebih besar, dan ukuran butir yang dihasilkan akan semakin rapat dan lebih besar, yang dapat memengaruhi sifat mekaniknya (Faruq dkk, 2019)



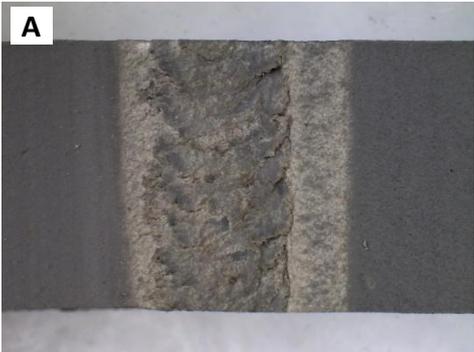
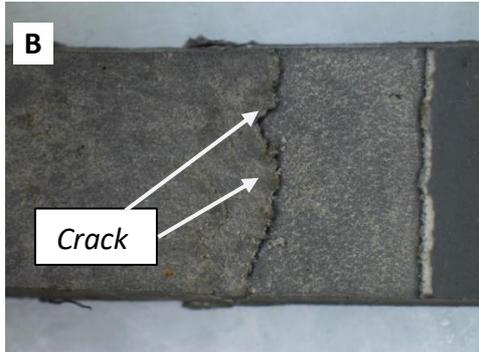
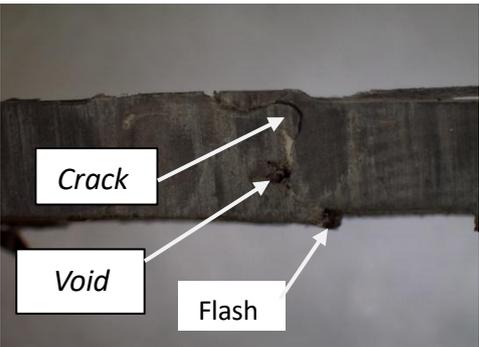
Gambar 9. Grafik Nilai Rata-Rata Kuat Tarik Sambungan Dengan Kecepatan Putar 1700 rpm, Diameter Pin 5 mm dan Bentuk Pin Silinder, Taper Silinder.

Gambar 9. Menunjukkan perbandingan grafik nilai rata-rata kuat tarik dengan variabel bentuk pin pada variasi kecepatan putar 1700 rpm dan Diameter pin 5 mm. Nilai rata-rata tinggi didapatkan pada bentuk pin taper silinder dengan nilai 3,18 MPa dan nilai rata – rata rendah didapatkan pada bentuk pin silinder dengan nilai 2,84 MPa. Hal ini dapat disimpulkan bahwa pengadukan material pada bentuk pin taper silinder merata sehingga menghasilkan kekuatan tarik yang tinggi. pengadukan material pada proses pengelasan FSW tidak merata sehingga adanya cacat akan mengurangi nilai kekuatan tarik lasan (Helmi dan Tarmizi, 2017).

Hasil Pengujian Struktur Makro

Pengamatan foto makro sambungan FSW menggunakan material PVC dengan variasi kecepatan putar, diameter pin, dan bentuk pin ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan Gambar Foto Makro Dari Hasil Terkuat Dan Terlemah

| A. Kecepatan Putar : 1700 rpm Diameter Pin : 5 mm Bentuk Pin : Taper Silinder Kekuatan Tarik : 3,98 Mpa | B. Kecepatan Putar : 1500 rpm Diameter Pin : 5 mm Bentuk Pin : Silinder Kekuatan Tarik : 0,39 Mpa |
|--|--|
|  |  |
|  |  |

Tabel 5. berisi perbandingan gambar foto makro dengan nilai terkuat dan terlemah. Hal ini dapat diamati secara jelas bahwa nilai kuat tarik yang rendah memiliki tingkat kecacatan yang besar dan banyak.

KESIMPULAN

1. Berdasarkan hasil pengujian, kekuatan tarik mengalami peningkatan seiring bertambahnya kecepatan putar. Namun pada kecepatan putar 1500 kekuatan tarik mengalami penurunan, Hal ini disebabkan karena pada kecepatan putar 1500 rpm panas yang dihasilkan tidak optimal, sehingga menyebabkan gaya gesek yang rendah pada material PVC hal ini mengakibatkan terbentuk cacat pada sambungan. Kemudian pada diameter pin 5 mm memiliki tingkat kerapatan yang baik sehingga mendapatkan kualitas pengelasan yang baik. Namun pada diameter pin 3 mm menghasilkan panas yang berlebihan hal tersebut menyebabkan material induk cenderung keluar

dari garis lasan sehingga berdampak pada kekuatan sambungan. Nilai rata-rata kekuatan tarik tertinggi sebesar 3,18 MPa diperoleh dengan parameter kecepatan putar 1700 rpm, diameter pin 5 mm dan bentuk pin taper silinder. Nilai rata-rata kekuatan tarik terendah sebesar 0,79 Mpa diperoleh dengan parameter kecepatan putar 1500 rpm, diameter pin 5 mm dan bentuk pin silinder.

2. Hasil pengujian dengan menggunakan bentuk pin *tool* silinder dan taper silinder belum memberikan hasil yang optimal dapat dilihat dari hasil pengujian foto makro munculnya cacat *void*, *crack* dan *flash*. Namun *tool* dengan bentuk pin taper silinder menghasilkan sifat mekanik maupun foto makro yang lebih baik dibandingkan menggunakan *tool* bentuk pin silinder. Pengamatan foto makro menunjukkan bahwa semakin bertambahnya kecepatan putar, diameter pin *tool* yang lebih kecil dan bentuk pin yang tepat yaitu taper silinder maka *stir zone* yang dihasilkan lebih baik.

REFERENSI

- [1]. Wiryosumarto, H., & Okumura, T. (1981). teknologi pengelasan logam pradnya paramita.
- [2]. PITANOVA, T., & ALVA, S. (2023). KARAKTERISTIK MEKANIKAL MATERIAL POLIMER PVC DENGAN VARIASI KONSENTRASI VCO (VIRGIN COCONUT OIL). JURNAL PENDIDIKAN DAN KONSELING, 5.
- [3]. Gao, J., Shen, Y., & Xu, H. (2016). *Investigations for the mechanical, macro-, and microstructural analyses of dissimilar submerged friction stir welding of acrylonitrile butadiene styrene and polycarbonate sheets. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 230(7), 1213-1220.
- [4]. WILKES, C. E., SUMMERS, J. W., DANIELS, C. A., & BERARD, M. T. (2005). *PVC HANDBOOK* (VOL. 184). MUNICH: HANSER.
- [5]. Srichok, T., Pitakaso, R., Sethanan, K., Sirirak, W., & Kwangmuang, P. (2020). *Combined response surface method and modified differential evolution for parameter optimization of friction stir welding. Processes*, 8(9), 1080.