

KARAKTERISASI MATERIAL BAJA *CONNECTING ROD* BEKAS SEBAGAI BAHAN PEMBUATAN ALAT GESEK *FRICTION STIR WELDING* (FSW)

Wahyu Ari Putranto ^{*1)}, Susanto Susanto ²⁾, Khaeroman Khaeroman ³⁾, Deri Herdawan ⁴⁾, Noviarianto Noviarianto ⁵⁾, Heri Kiswanto ⁶⁾

^{1,2,3,4,5,6)} Politeknik Maritim Negeri Indonesia

Email : wahyu_ap@polimarin.ac.id ^{*1)}, susanto@polimarin.ac.id ²⁾, khoer@polimarin.ac.id ³⁾, deriherdawan@polimarin.ac.id ⁴⁾, novi@polimarin.ac.id ⁵⁾, hkiswanto@polimarin.ac.id ⁶⁾

ABSTRAK

Permasalahan umum pengelasan las busur adalah retak saat proses peleburan dan pematatan, timbulnya porositas, serta hilangnya elemen paduan yang mudah menguap. Penyambungan material lunak dapat dilakukan menggunakan pengelasan aduk gesekan yang disebut *Friction Stir Welding* (FSW). Alat pengaduk gesekan (Alat FSW) merupakan komponen penting pada pengelasan FSW. Penelitian ini dilakukan beberapa tahapan dengan tujuan menghasilkan alat FSW untuk material aluminium 5083. Studi dilakukan secara eksperimen mencakup desain alat FSW, perlakuan panas dan pengujian material alat FSW dan pembuatan alat FSW. Material dasar alat FSW yang dibuat menggunakan baut *connecting rod* bekas dari *marine diesel engine*. Model alat FSW yang dibuat dengan dua jenis pin (silinder berulir dan kerucut berulir). Alat FSW yang dibuat selanjutnya diberikan perlakuan panas suhu 950°C dan di *quenching* dengan media pendingin air dan oli. Hasil pengujian komposisi kimia menunjukkan baut *connecting rod* termasuk jenis baja AISI 4145. Hasil pengujian kekerasan nilainya sebesar 52,5 HRC, dan 51,5 HRC dari *quenching* media air dan oli. Pengujian struktur mikro material tersebut menunjukkan fasa martensit yang sifatnya keras dari proses *quenching* semua media pendingin. Penelitian ini menunjukkan bahwa material baut *connecting rod* bisa digunakan sebagai bahan alat FSW setelah diberi perlakuan panas dan *quenching* dengan media air.

Kata Kunci : alat FSW, aluminium 5083, baut *connecting rod*, *quenching*, sifat mekanik

ABSTRACT

Common problems of arc welding are cracks during the melting and solidification process, the emergence of porosity, and the loss of volatile alloying elements. The connection of soft materials can be done using friction stir welding called Friction Stir Welding (FSW). The friction stir tool (FSW Tool) is an important component in FSW welding. This study was carried out in several stages with the aim of producing a FSW tool for aluminum 5083 material. The study was carried out experimentally including the design of the FSW tool, heat treatment and testing of the FSW tool material and the manufacture of the FSW tool. The basic material of the FSW tool made was used connecting rod bolts from marine diesel engines. The FSW tool model was made with two types of pins (threaded cylinder and threaded cone). The FSW tool that was made was then given a heat treatment at a temperature of 950oC and quenched with water and oil cooling media. The results of the chemical composition test showed that the connecting rod bolts were AISI 4145 steel. The results of the hardness test were 52.5 HRC, and 51.5 HRC from quenching with water and oil media. The microstructure test of the material shows a hard martensite phase from the quenching process of all cooling media. This study shows that the connecting rod bolt material can be used as a FSW tool material after being given heat treatment and quenching with water media.

Keywords: FSW tools, aluminum 5083, connecting rod bolts, quenching, mechanical properties

1. PENDAHULUAN

Salah satu teknik pengelasan yang relatif baru adalah *Friction Stir Welding* (FSW). FSW dikembangkan oleh TWI (*The Welding Institute*) Teknik pengelasan FSW sebetulnya berawal dari keingintahuan dan percobaan laboratorium, tetapi dalam perkembangannya FSW menjadi teknik pengelasan yang banyak sekali memberikan manfaat terutama untuk logam aluminium (Daryono dkk, 2022).

FSW adalah teknik pengelasan *solid state* di mana bahan las dipanaskan oleh gesekan dan diaduk dalam keadaan semi padat untuk mencapai penyambungan. Dalam proses ini, *tool* yang terdiri dari pin dan *shoulder* dimasukkan ke dalam tepi pelat yang akan dilas. Aksi gesekan *shoulder* dan putaran pin dengan pelat menghasilkan panas gesekan dan melunakkan material menjadi semi padat (Maji dkk,2022; Rai dkk, 2011)

Tool yang baik dapat meningkatkan kualitas pengelasan dan kecepatan pengelasan semaksimal mungkin. Jadi, sebaiknya bahan *tool* harus cukup kuat, tangguh, dan tahan aus pada suhu pengelasan serta memiliki ketahanan oksidasi yang baik dan konduktivitas termal yang rendah (Tarmizi & Hutapea, 2016). Baja perkakas (*tool steel*) banyak digunakan untuk *tool* FSW pada material paduan Al, Mg dan Cu, meskipun memiliki tingkat keausan tinggi (Sunnapu dan Kolli, 2020).

Tool terdiri dari *shoulder*/bahu dan pin (Rai dkk, 2011). Pin dapat menyatu dengan bahu atau sebagai sisipan terpisah yang bisa juga terbuat dari bahan yang berbeda. Desain bahu dan pin sangat penting untuk kualitas hasil las. Pin menghasilkan panas dan mengaduk material yang sedang dilas, bahu juga memainkan peran penting dengan memberikan perlakuan gesekan tambahan serta mencegah material yang terplastis keluar dari daerah las. (Sing dkk, 2020; Kumar dkk, 2020).

Untuk meningkatkan kekerasan pada *tool* FSW adalah dengan cara perlakuan panas. Salah satu proses perlakuan panas pada baja adalah pengerasan (*hardening*), yaitu proses pemanasan baja sampai suhu di atas daerah

kritis disusul dengan pendinginan yang cepat dinamakan *quenching* (Haryadi dkk,2018).

Karakterisasi *tool* FSW dilakukan setelah dilakukan proses *heat treatment* dengan melakukan pengujian kekerasan, pengujian mikrografi dan pengujian komposisi kimia. Pengujian kekerasan bertujuan untuk mengetahui perubahan kekerasannya yang divalidasi dengan pengujian mikrografi. Pengujian mikrografi untuk mengetahui perubahan fasa yang terjadi. Pengujian komposisi kimia adalah untuk mengetahui unsur-unsur kimia apa saja yang ada pada material *tool* FSW (Andreansyah dkk, 2024).

Satish Kumar & Shiva Chander (2020) melakukan penelitian *tool* FSW pada sambungan material aluminium seri AA5083-AA6061, Material *tool* FSW yang digunakan adalah baja H13 dengan dimensi 24 mm, 8 mm, dan ketinggian pin 4,7 mm. Variasi geometri pin yang digunakan *cylindrical threaded*, *tapper threaded*, dan *square*. Kecepatan *tool* 710 rpm, 900 rpm, dan 1400 rpm serta *feed rate* 60mm/min, 31.5mm/min dan 40 mm/min.

Bala Chennaiah dkk (2021) melakukan studi pengaruh profil *tool* pada sambungan FSW 5083, fokus pada bentuk pin *taper* (lancip/ mengerucut) dengan profil pin berulir dan tanpa ulir. Variasi *feed rate*: 20, 32, 44 mm/min, dan variasi *tool rotational speed*: 700, 825, 1120 rpm. Hasil pengamatan struktur mikro menunjukkan profil pin berulir menghasilkan bentuk butiran yang baik dengan ukuran butir $7\mu\text{m}$ dan *tapper* tanpa ulir menghasilkan ukuran butir $6.5\mu\text{m}$ pada zona pengelasan, hal ini disebabkan pembangkitan panas yang tinggi saat dilas dengan alat berulir yang memiliki efisiensi gesekan yang tinggi.. Hasil pengujian kekerasan pada pin berulir menghasilkan 55.57 HV, sedangkan pin tanpa ulir 46.87 HV.

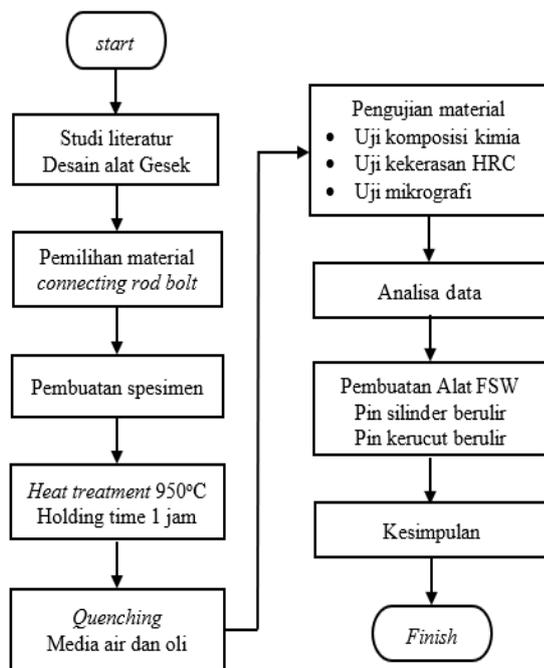
Kebaruan dari studi ini adalah membuat alat FSW dari bahan baja baut *connecting rod* bekas dari *marine diesel engine* yang dikeraskan dengan metode *quenching*. Material ini dipakai karena memiliki kekerasan tinggi dan tahan terhadap korosi dan panas. Sedangkan Alat FSW yang ada dipasaran harganya mahal sehingga secara

ekonomi dapat menghemat biaya pembelian alat FSW.

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah membuat alat FSW dari material baja *connecting rod* bekas yang dikeraskan dengan cara *heat treatment* dilanjutkan proses *quenching* media air dan oli. Hasil akhir adalah alat FSW dengan bentuk pin silinder berulir dan kerucut berulir.

2. METODE

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah eksperimental, lebih jelasnya bisa dilihat pada diagram alir penelitian pada gambar 1. Penjabaran secara rinci tahapan yang ditentukan untuk membuat alat FSW dari gambar 1 adalah sebagai berikut:



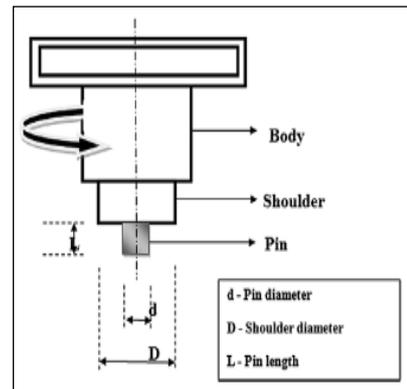
Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.1 Desain Alat Gesek FSW

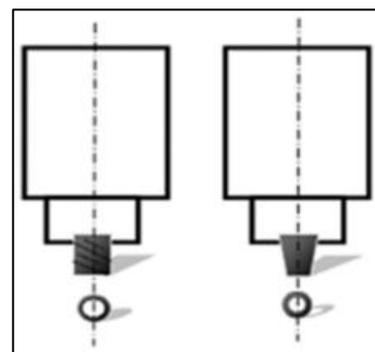
Langkah pertama penelitian ini adalah melakukan studi literatur desain alat FSW. Alat FSW memiliki peranan sangat penting dalam pengelasan FSW karena hasil lasan ditentukan oleh desain dan dimensi alat tersebut. Alat FSW secara umum terdiri dari tiga bagian yaitu *body*, *shoulder* dan pin yang bisa dilihat pada gambar 2.

Pin adalah bagian alat FSW yang vital karena bergesekan dan bersinggungan langsung dengan benda kerja yang disambung. Bentuk pin yang

dibuat adalah bentuk silinder berulir dan kerucut berulir bisa dilihat pada gambar 3 dan tabel 1. Pin tersebut berputar, bergesekan dan berjalan sepanjang lasan. Adanya proses tersebut dapat menimbulkan panas dan melelehkan kedua benda kerja tersebut sehingga kedua benda tersebut dapat tersambung.



Gambar 2. Alat FSW (Anand & Sridhar, 2020)



Gambar 3. Desain bentuk pin alat FSW (a) Silinder berulir, (b) Kerucut berulir (Anand & Sridhar, 2020)

Tabel 1. Dimensi Alat Gesek FSW

Model Pin Alat FSW	Dimensi (mm)		
	Ø Shoulder (D)	Ø Pin (d)	Panjang Pin (L)
Silinder berulir	15	3	2,8
Kerucut berulir	15	3	2,8

2.2 Material Alat FSW

Material yang digunakan untuk membuat alat FSW pada penelitian ini adalah baut *connecting rod* bekas yang berasal dari *marine diesel engine*. Material ini kemudian dibuat

menjadi spesimen-spesimen uji yang bisa dilihat pada gambar 4.



(a)

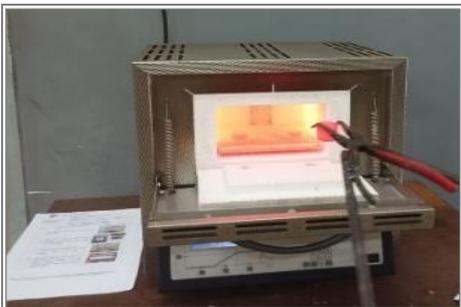


(b)

Gambar 4. Material alat FSW (a) baut *connecting rod*, (b) spesimen uji

2.3 Perlakuan Panas dan *Quenching*

Langkah berikutnya adalah perlakuan panas dan proses *quenching* spesimen baja *connecting rod* bekas. Spesimen-spesimen tersebut dipanaskan di dalam *furnace* sampai suhu 950°C dan ditahan selama 1 jam di dalam *furnace* dapat dilihat pada gambar 5. Spesimen-spesimen tersebut kemudian dilakukan pendinginan kejut (*quenching*) menggunakan media air dan oli. Proses tersebut dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 5. Pemanasan specimen di *furnace*



(a)

(b)

Gambar 6. Proses *quenching* spesimen, (a) air, (b) oli

2.4 Pengujian Spesimen

Spesimen-spesimen yang sudah diberi perlakuan panas dan spesimen dasar (tanpa perlakuan panas) kemudian dilakukan pengujian mekanik material. Pengujian ini meliputi pengujian komposisi kimia, pengujian kekerasan dan pengujian mikrografi. Gambar alat pengujian tersebut dapat dilihat pada gambar 7.



(a)

(b)

(c)

Gambar 7. Pengujian spesimen (a) pengujian komposisi kimia, (b) pngujian kekerasan, (c) pengujian mikrografi

2.3.1 Pengujian Komposisi Kimia

Untuk mengetahui unsur-unsur kimia dan persentase yang terkandung pada material maka diperlukan pengujian komposisi kimia. Data hasil uji komposisi kimia digunakan sebagai acuan untuk menentukan jenis material yang diuji. Pengujian komposisi kimia ini menggunakan alat *spectrometer* yang ditunjukkan pada Gambar 7a.

2.3.2 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui tingkat kekerasan material. Pengujian ini menggunakan metode *Rockwell* tipe C. Indentor yang dipakai adalah kerucut intan. Beban minor sebesar 10 kgf, beban mayor 150 kgf. Hasil pengujian ini bisa langsung dilihat pada jarum skala hasil pengujian (Syaifullah dkk,2021). Alat pengujian kekerasan *Rockwell* tipe C ditunjukkan pada Gambar 7b.

2.3.3 Pengujian Mikrografi

Pengujian mikrografi dilakukan untuk mengetahui ukuran dan bentuk butir serta fasa

yang terbentuk pada material. Spesimen sebelum dan setelah dikeraskan dilihat struktur mikronya, apakah mengalami perubahan atau tidak sehingga bisa ditarik kesimpulan. Hubungan antara struktur dengan sifat atau karakter suatu material perlu diketahui secara mendalam. Material teknik memiliki sifat-sifat dasar seperti tensile *strength*, *elongasi*, sifat thermal, dan sifat kelistrikan sangat dipengaruhi oleh mikrostruktur yang menjadi penyusunnya (Banjarnahor et al., 2022). Alat pengujian mikrografi ditunjukkan pada Gambar 7c.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data-data hasil pengujian yang diperoleh ditampilkan dan dianalisa. Data-data dari pengujian komposisi kimia, pengujian kekerasan dan pengujian mikrografi dari material baut *connecting rod* bekas sebelum dan sesudah dilakukan proses *heat treatment* dan proses *quenching* media air dan oli dibahas pada bagian ini. Berikut adalah hasil pengujian pada sampel-sampel.

3.1 Hasil Pengujian Komposisi Kimia

Unsur-unsur kimia yang terkandung pada material dapat diketahui dengan melakukan pengujian komposisi kimia. Material yang diuji komposisi kimia adalah baja *connecting rod* bekas dan baja H13 (sebagai pembanding). Hasil pengujian ini dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian komposisi kimia baja H13 dan baja *connecting rod* bekas

No.	Unsur kimia	Baja H13	Baut <i>connecting rod</i>
1	%C	0,40	0,34
2	%Mn	-	0,47
3	%Si	1,00	0,29
4	%Cr	5,30	1,88
5	%W	-	0,007
6	%Mo	1,4	0,36
7	%V	1,0	0,016
8	%Ni	-	1,82

Unsur-unsur kimia yang terkandung pada material baja H13 dan baja *connecting rod*

bekas bisa dilihat pada tabel 1. Unsur yang pertama kali dilihat adalah persentase unsur karbon (%C). %C kedua material hampir sama (0,4% dan 0,34%) termasuk dalam jenis baja karbon menengah (0,3 sd 0,5%).

Persentase unsur berikutnya yang dilihat adalah unsur paduannya. Kedua material tersebut termasuk jenis baja paduan karena ada unsur paduan seperti silikon, kromium, molibdenum, vanadium, nikel.

Dari data uji komposisi kimia jika disinkronkan dengan data baja AISI maka baja *connecting rod* termasuk jenis baja AISI 4145. Baja ini adalah penggabungan dari unsur nikel dan kromium (Ni-Cr) yang memiliki peran meningkatkan kekuatan baja (ketangguhan dan kekerasan). Unsur kromium mempunyai peran yang sama dengan mangan (meningkatkan ketangguhan, kemampuan dikeraskan dan tahan suhu tinggi) serta tahan terhadap korosi (Khaeroman dan wahyu, 2021).

3.2 Hasil Pengujian Kekerasan

Kekerasan suatu material dapat diketahui nilainya dengan melakukan pengujian kekerasan. Penelitian ini melakukan pengujian kekerasan dengan metode *Rockwell* tipe C. adapun material yang diuji adalah baja baut *connecting rod* bekas dan baja H13 (sebagai pembanding). Hasil pengujian kekerasan pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 3 dan gambar 8.

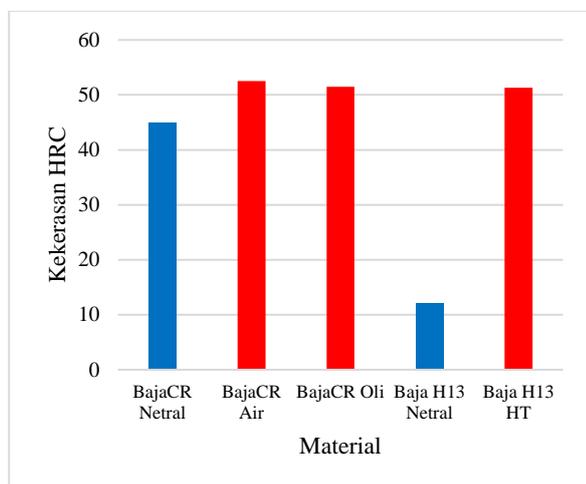
Tabel 3. Hasil Pengujian kekerasan

No.	Spesimen	Pengujian Kekerasan (HRC)			Rata-rata
		1	2	3	
1	BajaCR netral	45	44	46	45
2	BajaCR Air	52,5	52	53	52,5
4	BajaCR Oli	51,5	51	52	51,5
5	Baja H13 netral	15	10	11	12
6	Baja H13 HT	51	51	52	51,33

Tabel 2 dan gambar 8 menunjukkan data hasil pengujian kekerasan. *Raw material* baja baut *connecting rod* bekas dan baja H13 dengan nilai kekerasan sebesar 45 HRC dan 12 HRC.

Nilai kekerasan tertinggi sebesar 52,5 HRC pada baja baut *connecting rod* bekas *quenching* media air. Pada baja baut *connecting rod* bekas *quenching* media oli kekerasannya sebesar 51,5 HRC sedangkan baja H13 *Heat treatment* nilai kekerasannya 51,33 HRC.

Adanya perubahan fasa menyebabkan peningkatan nilai kekerasan. Fasa awal material adalah ferit-pearlit menjadi fasa martensit. Fasa martensit sebesar 2,5-25% terbentuk pada baja yang mengalami proses *quenching* dengan media air atau air garam. Fasa martensit yang terbentuk semakin halus jika kandungan garam yang digunakan semakin banyak (Tarmizi & Prayoga, 2016).



Gambar 8. Hasil pengujian kekerasan baja *connecting rod* bekas dan baja H13

3.3 Hasil Pengujian Mikrografi

Ukuran dan bentuk butir serta fasa dapat dilihat melalui pengujian mikrografi. Uji kekerasan dan mikrografi bisa dikaitkan. Hasil pengujian mikrografi baja H13 dan baja baut *connecting rod* bekas bisa dilihat pada gambar 9 dan 10.

Pada gambar 9 terlihat hasil pengujian mikrografi baja H13. Pada gambar 9a. terlihat struktur mikro baja H13 sebelum diberi perlakuan panas adalah ferit-pearlit (putih-hitam) dengan presentase terbesar ferit. Pada gambar 9b. terlihat struktur mikronya kebalikan dari gambar 9a, dimana pearlitnya jumlahnya paling banyak.



(a)



(b)

Gambar 9. Struktur mikro Baja H13, a) sebelum perlakuan panas, b) setelah perlakuan panas.

Pada gambar 10 terlihat hasil pengujian mikrografi baja *connecting rod* bekas. Pada gambar 10a. terlihat struktur mikro sebelum diberi perlakuan panas adalah martensit. Pada gambar 10b dan 10c juga terlihat struktur mikronya adalah martensit (seperti jarum) tetapi jumlah jarum dan ukuran jarumnya berbeda.

Adanya perubahan struktur mikro adalah adanya perubahan bentuk, ukuran butir dan fasa. Struktur mikro awal adalah fasa ferit-pearlit dengan bentuk bulat tidak teratur warna putih-hitam berubah menjadi fasa martensit dengan bentuk jarum-jarum. Hal ini terjadi karena ada pendinginan kejut sehingga pearlit secara cepat berubah menjadi martensit.



(a)



(b)



(c)

Gambar 10. Struktur mikro baja *connecting rod* bekas, a) sebelum perlakuan panas, b) *quenching* air, c) *quenching* oli

Martensit adalah struktur mikro yang memiliki sifat keras, semakin banyak struktur martensitnya maka nilai kekerasannya

semakin tinggi, dimana fasa martensit ini merupakan fasa keras metastabil, sesuai dengan apa yang dijelaskan ASM International (1991: 160-161) bahwa tujuan dari proses *quenching* adalah untuk membentuk fasa martensit (Tarmizi & Prayoga, 2016).

3.4 Pembuatan Alat Gesek FSW

Hasil Karakterisasi material digunakan sebagai acuan dalam pembuatan alat gesek FSW. Dari data pengujian diperoleh parameter optimum. Langkah awal adalah baja *connecting rod* bekas diproses di mesin bubut untuk dibuat menjadi alat gesek FSW dengan bentuk pin silinder berulir dan kerucut berulir. Langkah berikutnya adalah proses *heat treatment* di dalam *furnace* sampai suhu 950°C ditahan 60 menit kemudian di*quenching* dengan media air. Gambar alat gesek FW dapat dilihat pada gambar 11.



Gambar 10. Alat gesek FSW, (a) pin silinder berulir, (b) pin kerucut berulir

4. PENUTUP

4.1. Kesimpulan

Material baut *connecting rod* bekas dari mesin kapal yang diuji dan dianalisa bisa disimpulkan sebagai berikut:

1. Material baja baut *connecting rod* bekas termasuk jenis baja paduan AISI 4145.
2. Nilai kekerasan paling tinggi sebesar 52,36 HRC pada baja baut *connecting rod* bekas setelah proses *heat treatment* dan *quenching* menggunakan media air garam, air
3. Fasa martensit terbentuk setelah baut *connecting rod* bekas diproses *heat treatment quenching* air.

4. Material baut *connecting rod* yang sudah di *quenched* air bisa digunakan untuk membuat alat gesek FSW

5. DAFTAR PUSTAKA

- A. S. Daryono, Dwi Handoko, Topan Prihantono. 2022. "Analisa Variasi Putaran Friction Welding Terhadap Kekerasan Logam Aluminium Paduan Seri 1100-H18," *Accurate J. Mech. Eng. Sci.*, vol. Vol.3, No., no. October 2022, pp. 15–20.
- Maji, P., Karmakar, R., Kanti Nath, R., & Paul, P. 2022. An overview on friction stir welding/processing tools. *Materials Today: Proceedings*, 58, 57–64.
- Rai, R., De, A., Bhadeshia, H. K. D. H., & DebRoy, T. 2011. Review: Friction stir welding tools. *Science and Technology of Welding and Joining*, 16(4), 325–342.
- Tarmizi, T., & Hutapea, O. B. 2016. Desain dan Pembuatan Perkakas untuk Proses Friction Stir Welding pada Material Aluminium 5052. *Jurnal Riset Teknologi Industri*, 9(2), 107–119.
- Sunnapu, C., & Kolli, M. 2020. Tool shoulder and pin geometry's effect on friction stir welding: A study of literature.
- R. Rai, A. De, H. K. D. H. Bhadeshia, and T. DebRoy. 2011. "Review: Friction stir welding tools," *Sci. Technol. Weld. Join.*, vol. 16, no. 4, pp. 325–342, doi: 10.1179/1362171811Y.0000000023.
- Singh, shri ram yagya. 2020. *A Hand Book on Friction Stir Welding Late Shri Ram Yagya Singh*. (Issue August).
- Kumar Rajak, D., Pagar, D. D., Menezes, P. L., & Eyvazian, A. 2020. Friction-based welding processes: friction welding and friction stir welding. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 34(24), 2613–2637.
- Haryadi, Abdurrofi Zahrawani, Bintang Adjiantoro Iman Saefuloh. 2018. "Pengaruh Proses Quenching Dan Tempering Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Baja Karbon Rendah Dengan Paduan Laterit", *Jurnal Teknik Mesin Untirta*.
- M. Andreansyah, R. D. Anjani, and Viktor Naubnome. 2024. "Pengaruh Proses Heat Treatment (Quenching dan Tempering) Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Baja Karbon Menengah," *J. Serambi Eng.*, vol. Vol 9, No., no. Januari 2024, pp. 7864–7872,
- Satish Kumar, P., & Shiva Chander, M. 2020. Effect of tool pin geometry on FSW dissimilar aluminum alloys - (AA5083 & AA6061). *Materials Today: Proceedings*, 39, 472–477.
- Bala Chennaiah, M., Ravi Kumar, K., & Sridhar, V. 20210. Influence of tool profiles on similar Al-5083 alloys using friction stir welding. *Materials Today: Proceedings*, 46, 8032–8037.
- Anand, R., & Sridhar, V. G. 2020. Studies on process parameters and tool geometry selecting aspects of friction stir welding-A review. *Materials Today: Proceedings*, 27(xxxx), 576–583.
- Muhammad Syaifullah, Muhammad Subhan, Juanda. (2021). Pengaruh Air Garam Sebagai Media Pendingin Terhadap Nilai Kekerasan Pada Proses Pengerasan Baja St 60. *Jurnal Syntax Admiration*, Vol.,2 No. 8, pp. 1555-1559.
- Balachandar, K., & Jegadeeshwaran, R. 2021. Friction stir welding tool condition monitoring using vibration signals and Random forest algorithm - A Machine learning approach. *Materials Today: Proceedings*, 46(xxxx), 1174–1180.
- Khaeroman, W. A. Putranto. 2021. "Studi Kasus Analisis Kegagalan Baut *Connecting Rod*," *Jurnal Inovtek Polbeng*, vol. 11, no. 1.