

## ANALISIS SIFAT MEKANIS BAJA St.60 HASIL PENGELASAN FRICTION WELDING DENGAN VARIASI PENDINGIN

Agus Suprayitno<sup>1</sup>, Rohman<sup>1,\*</sup>, Dimas Sanjaya<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Wastukencana, Purwakarta, Jalan Cikopak  
No.53 Purwakarta, Jawa-Barat

Email: [\\*rohman@stt-wastukencana.ac.id](mailto:*rohman@stt-wastukencana.ac.id)

### ABSTRAK

Banyaknya komponen dalam industri manufaktur memerlukan penggunaan teknik pengelasan yang efektif dan efisien. Pengelasan gesekan adalah metode penyambungan benda padat di mana laju rotasi satu benda kerja digabungkan dengan laju rotasi ujung benda kerja yang lain. Durasi gesekan, kecepatan rotasi, dan tekanan merupakan variabel penting dalam pengelasan gesekan karena mempengaruhi kualitas dan hasil proses. Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja St.60. Parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah kecepatan putar 2300 rpm, waktu gesekan 60 detik dan tekanan 70 Psi. Dengan memvariasikan pendingin. Setelah pengelasan gesekan, benda kerja dipadatkan dengan minyak pendingin, air garam, udara dan air. Untuk mengetahui sifat mekanik dari hasil pengelasan ini dilakukan pengujian kekerasan dan pengujian tarik. Dari hasil penelitian ini diketahui bahwa variasi cairan pendingin mempengaruhi metode las gesekan. Hasil kekerasan tertinggi daerah sambungan sebesar 170 HB terdapat pada variasi fluida pendingin air asin, kekerasan terendah pada daerah sambungan sebesar 112,33 HB terdapat pada variasi fluida pendingin udara. Hasil kekuatan tarik tertinggi sebesar 517,82 N/mm<sup>2</sup> terdapat pada variasi pendingin air asin. sedangkan kekuatan tarik terendah sebesar 291,70 N/mm<sup>2</sup> terdapat pada variasi fluida pendingin air.

**Kata kunci:** Pengelasan gesekan, Pendingin, baja St.60, Uji tarik, Uji kekerasan

### ABSTRACT

*Many components in the manufacturing industry necessitate the use of effective and efficient welding techniques. Friction welding is a method of joining solid objects in which the rotation rate of one workpiece is combined with the rotation rate of the other end of the workpiece. Friction duration, rotational speed, and pressure are all critical variables in friction welding because they affect the quality and outcome of the process. The material used in this research is St.60 steel. The parameters used in this study are the rotational speed of 2300 rpm, the friction time of 60 seconds and the pressure of 70 Psi. By varying the coolant. After friction welding, the workpiece is quenched with coolant oil, salt water, air and water. To determine the mechanical properties of this welding result, this research is carried out by testing the hardness and tensile testing. From the results of this study, it is known that the variation of the coolant affects the friction welding method. The result of the highest hardness of the connection area of 170 HB is found in the variation of the salt water cooling fluid, the lowest hardness of the connection area of 112.33 HB is found in the variation of the air cooling fluid. The result of the highest tensile strength of 517.82 N/mm<sup>2</sup> was found in the variation of the salt water coolant. while the lowest tensile strength of 291.70 N/mm<sup>2</sup> was found in the variation of the water cooling fluid.*

**Keywords:** Friction welding, Coolant, St.60 steel, Tensile test, Hardness test

## PENDAHULUAN

Pengelasan salah satu bagian yang penting dari pertumbuhan dan peningkatan efisiensi industri manufaktur, karena memegang peranan penting dalam rekayasa dan produksi logam. Proses pengelasan dan pengabungan material sangat signifikan dalam pengembangan hampir setiap proses manufaktur [1]. Kualitas pengelasan sangat dicirikan oleh geometri manik las dan mikrostruktur pengelasan yang terkait [2]. Salah satu cara atau solusi untuk mengelas benda pejal adalah dengan menggunakan las gesek (*friction welding*).

Pada *friction welding*, proses penyambungan logam tanpa menggunakan bahan tambahan *filler*, dimana penyambungan terjadi akibat kenaikan temperatur yang diakibatkan menyatunya laju putaran satu benda kerja dengan ujung benda kerja yang lain, yang mengalami tekanan sehingga akan menghasilkan panas yang melelehkan kedua permukaan yang bergesekan. Kecepatan rotasi, tekanan dan durasi gesekan, adalah variabel penting dalam pengelasan gesekan karena menentukan kualitas dan hasil *friction welding* [3]. Waktu merupakan salah satu parameter penting pada berbagai aplikasi pengelasan, seperti pada proses *resistance spot welding* (RSW) [4][5], pengelasan SMAW [6] dan metode pengelasan lainnya.

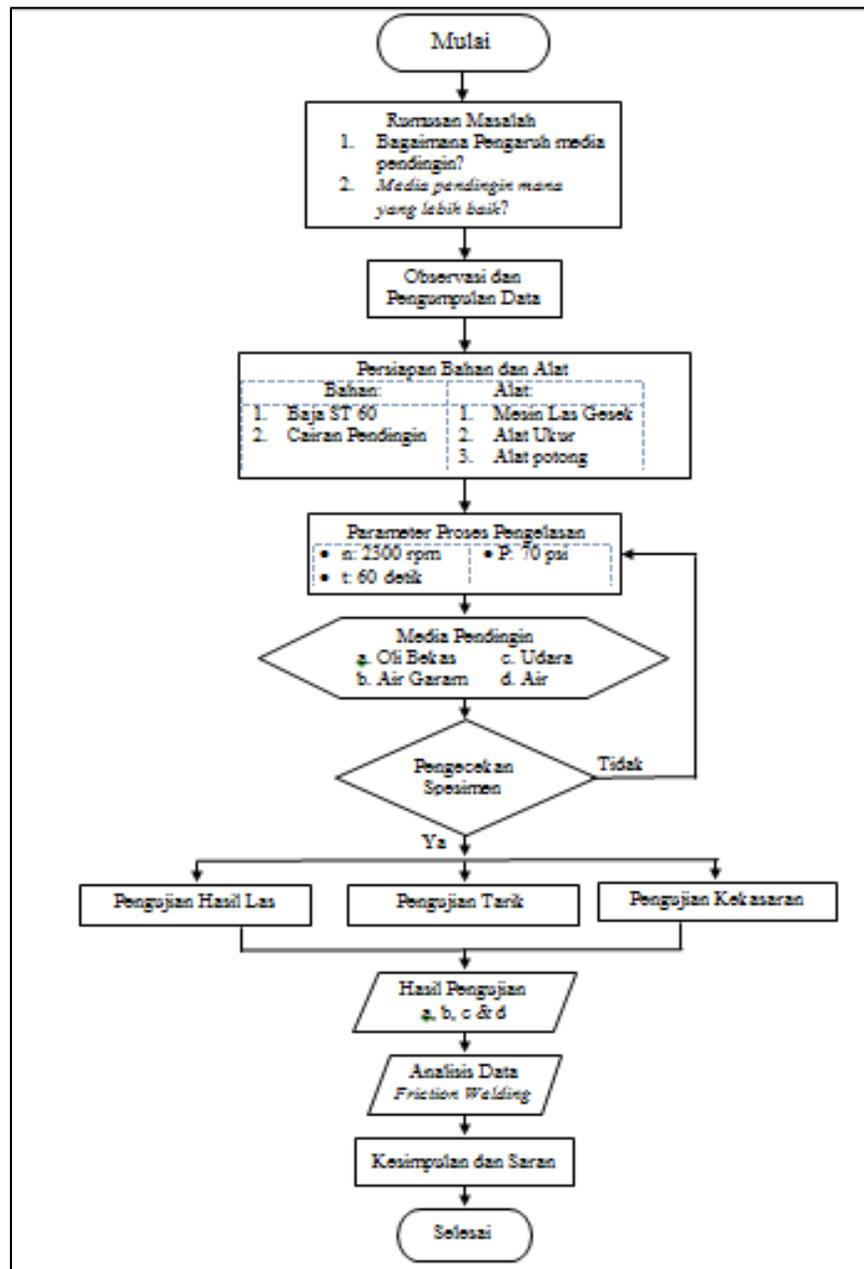
Teknik penyatuan pada pengelasan telah banyak digunakan, misalnya dalam konstruksi bangunan rangka baja, mesin, dan alat kesehatan. Teknologi pengelasan semakin banyak digunakan karena dengan penerapannya suatu konstruksi akan menjadi lebih ringan dan sederhana, sehingga produksi menjadi lebih murah dan lebih produktif. Pesatnya perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi menuntut efisiensi sumber daya manusia. Banyak penelitian yang dilakukan dalam rangka meningkatkan efisiensi yang bertujuan untuk mendapatkan hasil dengan kualitas yang lebih baik di dalam pada aplikasi ilmu teknik pengelasan [7]. Penelitian tentang *friction welding* juga dilakukan oleh [8] dan [9].

Penelitian menggunakan material St-60 dengan parameter pengaruh gaya tekan, kecepatan putar, dan waktu kontak. Variabel output dari penelitian ini adalah kualitas sambungan las yang meliputi kekuatan tarik dan kekerasan [8]. Sementara itu Nuh, melakukan penelitian pengaruh pendingin dengan menggunakan air garam, air tawar dan air asam dengan menggunakan material St.60 [9].

Berbeda dengan penelitian sebelumnya, penelitian *friction welding* ini menggunakan material ST-60 dengan menggunakan variable input berupa kecepatan putaran, tekanan dan waktu, yang kemudian diproses *quenching* dengan menggunakan variasi berbagai fluida. Proses proses pendinginan menggunakan oli air garam, udara dan air dimana setelah proses pengelasan *friction* yang langsung didinginkan. Metode penelitian ini untuk menggunakan metode eksperimental dengan menggunakan media pendingin yang berbeda. Penelitian ini menggunakan empat macam media pendingin diharapkan akan memberikan data atau informasi sehingga kekuatan tarik dan kekerasan dari baja carbon menjadi lebih kuat. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi berbagai media pendingin pada kekerasan dan kekuatan tarik setelah proses *friction welding*.

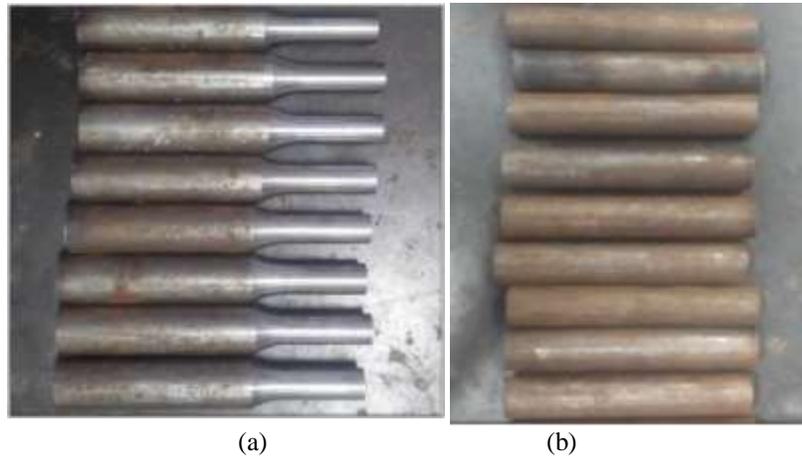
## METODE PENELITIAN

Proses penelitian *friction welding* mengacu pada langkah-langkah yang ditunjukkan dalam diagram alir gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Bahan uji yang digunakan ialah baja St.60 dengan diameter 12 mm dan panjang 120 mm untuk uji tarik serta baja St.60 dengan diameter 20 mm dan panjang 120 mm untuk uji kekerasan. Berdasarkan kadar karbon, St.60 termasuk ke dalam baja karbon medium dimana kadar karbonnya antara 0.3-0.5 persen [4] [10] [11]. Kedua bahan uji ditunjukkan pada gambar 2.



**Gambar 2.** Bahan Uji Las gesek: (a) Pengujian Uji Tarik (b) Pengujian Kekerasan

### **Mesin *Friction Welding***

Friction welding (FRW) merupakan proses pengelasan solid-state yang menghasilkan panas melalui gesekan mekanis antara benda kerja yang bergerak relatif satu sama lain, dengan penambahan gaya lateral yang disebut "gangguan" untuk memindahkan dan menggabungkan material secara plastis. Karena tidak terjadi pelelehan, pengelasan gesekan bukanlah proses pengelasan fusi, tetapi teknik pengelasan solid-state lebih seperti las tempa. Salah satu metode FRW adalah pengelasan gesekan putar (RFW) adalah salah satu metode pengelasan gesekan. Satu elemen yang dilas diputar ke yang lain dan ditekan. Pemanasan material disebabkan oleh pekerjaan gesekan dan menciptakan las yang tidak dapat dipisahkan. Mesin *friction welding* yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan mesin yang memiliki dua spindel. Kedua spindel tersebut digunakan untuk mencekam spesimen dengan arah gerakan yang berbeda (berlawanan arah) [12]. Salah satu spindel bergerak memutar dengan bantuan motor listrik, sementara spindel lainnya memberikan tekanan dengan bantuan pendorong sistem hidrolik. Dalam hal ini kecepatan putar yang digunakan adalah 2300 rpm. Mesin *friction welding* yang digunakan mengacu pada gambar 3.



**Gambar 3.** Mesin *Friction Welding*

Parameter pengujian *friction welding* menggunakan tiga variable tetap yaitu kecepatan putar, tekanan dan waktu. Sedangkan variable tetap pada proses *quenching* dan *normalizing* dengan menggunakan empat fluida pendingin yang berbeda. Proses *quenching* menggunakan fluida pendingin oli, air garam dan air. Sedangkan proses *normalizing* menggunakan media fluida udara. Pada proses *quenching* baja dipanaskan baja hingga ke fasa austenite sehingga diperoleh struktur mikro-austenite, dan didinginkan. Sedangkan pada proses *normalizing* baja dipanaskan baja hingga ke fasa austenite

sehingga diperoleh struktur mikro-austenite, dan didinginkan di udara terbuka hingga temperatur kamar. Parameter pengujian kekerasan yang digunakan pada pengujian *friction welding* dan quenching mengacu pada tabel 1 sedangkan untuk parameter pengujian tarik mengacu pada tabel 2.

**Tabel 1.** Parameter uji kekerasan pada proses *friction welding* dan quenching

No	Fluida pendingin	Panjang (mm)	Diameter (mm)	Kecapatan putar (rpm)	Tekanan (psi)	Waktu (detik)
1	Oli	120	20	2300	70	60
2	Air garam	120	20	2300	70	60
4	Udara	120	20	2300	70	60
4	Air	120	20	2300	70	60

**Tabel 2.** Parameter untuk uji tarik

No	Fluida pendingin	Panjang (mm)	Diameter (mm)	Kecapatan putar (rpm)	Tekanan (psi)	Waktu (detik)
1	Oli	120	12	2300	70	60
2	Air garam	120	12	2300	70	60
4	Udara	120	12	2300	70	60
4	Air	120	12	2300	70	60

### Proses Pengelasan

Sebelum proses dimulai, harus dipastikan mengenai kondisi mesin dan lingkungan kerja harus sudah memenuhi standar keselamatan yang ditetapkan [13]. Selanjutnya logam dasar harus dibersihkan dari kotoran-kotoran seperti oli, debu, lemak, karat, air, dan sebagainya. Kemudian, dilakukan penyetingan parameter *friction welding* yang sesuai berdasarkan parameter yang telah ditentukan. Bahan yang telah dipotong dan dibentuk sesuai dengan spesifikasi yang diminta dalam ASTM E8M. [14]. Pengaturan putaran yang ada di *headstock* pada mesin dengan kecepatan *spindle speed selector* melalui pengaturan handle di posisi putaran 2300 rpm. Tekanan diberikan secara perlahan sehingga terjadi gesekan pada kedua bahan yang akan disambung sampai menimbulkan *flash* karena adanya gesekan [15]. Atur posisi tekanan *upset* pada tuas hidrolik sebesar 70 psi. Tahap akhir dari proses *friction welding* adalah melakukan proses pengelasan sesuai dengan waktu yang ditetapkan. Pengukuran waktu dikontrol secara manual menggunakan *stop watch*. Proses *friction welding* tersaji pada gambar 4.



**Gambar 4.** Proses *Friction Welding* & Pelepasan Benda Kerja.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini adalah proses untuk mendapatkan data dari material baja St.60 yang telah dilakukan pengujian. Dari penelitian ini nantinya dapat dimanfaatkan sebagai acuan atau perbandingan fluida pendingin yang akan digunakan yaitu oli, air garam, udara, air mineral. Pada penelitian kali ini menggunakan material baja St.60 menggunakan metode *friction welding* (FRW) dengan variabel kecepatan putar 2300 rpm, tekanan 70 psi, waktu 60 detik. Pada pengujian hasil penyambungan dengan metode *friction welding* ini meliputi pengujian NDT, kekerasan dan pengujian tarik.

### Analisis Hasil Pengelasan

Setelah melakukan proses pengelasan *friction welding* selesai dengan parameter pada tabel 1 kemudian dilakukan proses *quenching* dan *normalizing*. Pada proses *quenching* dilakukan empat variasi pendingin yaitu menggunakan oli, air garam, dan air. Sedangkan pada proses *normalizing* digunakan udara sebagai media fluida yang digunakan. Hasil sambungan *friction welding* untuk sample uji kekerasan dan uji tarik tersaji pada gambar 5.



**Gambar 5.** Hasil pengelasan *friction welding* : (a) Spesimen uji tarik, (b) Spesimen uji kekerasan

Proses selanjutnya adalah proses *machining* (dibubut) dan proses uji NDT, pengujian tarik dan pengujian kekerasan. Uji NDT dilakukan untuk mengetahui cacat selama proses *friction welding*. Proses uji NDT dilakukan dengan menggunakan metode *Liquid Penetrant Inspection (LPI)*. Sample hasil uji NDT tersaji pada gambar 6.



**Gambar 6.** Hasil pengujian NDT: (a) Spesimen uji tarik, (b) Spesimen uji kekerasan

Berdasarkan hasil pengamatan uji NDT dengan menggunakan *Liquid Penetrant Inspection*, terlihat tidak terjadi kecacatan pada permukaan sambungan *friction welding*. Hasil ini mengindikasikan bahwa parameter yang digunakan pada proses *friction welding* sudah cukup untuk menyatukan material St.60.

### Pengujian Kekerasan

Proses machining dilakukan untuk persiapan uji kekerasan. Proses ini diperlukan untuk meratakan permukaan dari proses *friction welding*. Proses pengujian kekerasan dilakukan di tiga titik yaitu pada area pengelasan *friction heat effected zone (HAZ)* pada sisi kanan dan kiri. Jarak pengecekan ditetapkan masing-masing 5 mm dari lokasi *friction welding*. Skema uji kekerasan menggunakan pengujian *brinell*. Sample uji kekerasan dan lokasi pengujian tersaji pada gambar 7.

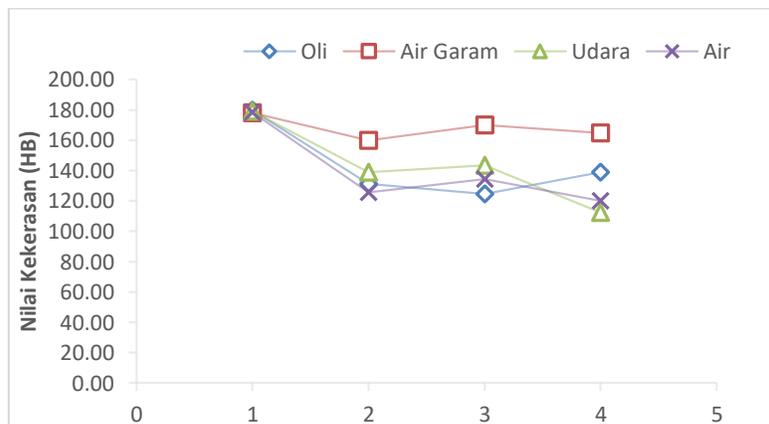


**Gambar 7.** Skema pengujian *brinell*: (a) Spesimen setelah pembubutan (a) Area uji Kekerasan

Hasil pengujian kekerasan menjelaskan bahwa, kekerasan tertinggi didapatkan ketika menggunakan air garam, sedangkan hasil pengujian kekerasan terendah didapatkan pada saat menggunakan pendingin oli. Ketika menggunakan air garam, kekerasan pada area las mencapai 170 HB, sedangkan pada saat menggunakan pendingin oli mencapai 124.67 HB. Tabel uji kekerasan hasil *friction welding* teraji pada tabel 3.

**Tabel 3.** Uji kekerasan *friction welding* pada baja St.60

No	Fluida pendingin	Kecepatan putar (rpm)	Tekanan (psi)	Waktu gesek (detik)	Waktu Quching (detik)	Kekerasan (HB)			
						Logam Induk	HAZ Kiri	Las	HAZ Kanan
1	Oli	2300	70	60	27	180,00	131,33	124,67	139,00
2	Air garam	2300	70	60	27	178,00	160,00	170,00	165,00
4	Udara	2300	70	60	27	179.33	139,00	143,67	112,33
4	Air	2300	70	60	27	178.33	125,67	134,33	120,00



**Gambar 8.** Hasil uji kekerasan (1) area induk, (2) HAZ sisi kiri, (3) area las, (4) HAZ sisi kanan

Pada gambar 8 dapat disimpulkan bahwa, cairan pendingin mempengaruhi kekerasan hasil las. Hal ini bisa dilihat pada tabel 3 bahwa nilai pada HAZ lebih besar dari pada nilai uji kekerasan pada las. Hal ini dipengaruhi oleh adanya faktor kandungan variasi pendingin yang berbeda (oli, air garam, udara dan air) pada material dengan temperatur yang sama.

**Pengujian Uji Tarik**

Sebelum proses uji tarik, semua sample harus diberihkan dari flash. Proses pembersihan flash dilakukan melalui proses machining dengan menggunakan mesin bubut. Bahan yang telah dipotong dan dibentuk sesuai dengan spesifikasi yang diminta dalam ASTM E8M. Hasil uji tarik menggunakan pendingin oli, air garam, udara dan air tersaji pada tabel 4. Setelah dilakukan uji tarik, semua benda uji memanjang, dan pada akhirnya benda uji yang tidak patah pada semua sambungan las diklasifikasikan sebagai patah getas, sedangkan benda uji yang mengalami patah pada semua sambungan las diklasifikasikan sebagai patah tidak getas.

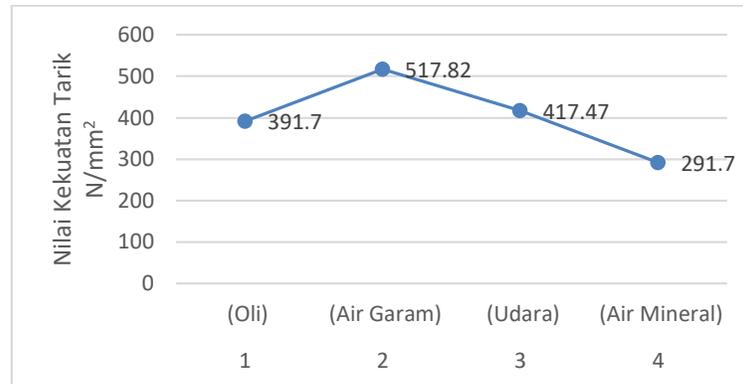
Gambar 9 menunjukkan hasil kekuatan tarik dari pengujian proses *friction welding* yang digunakan. Dilihat dari gambar terlihat adanya patahan pada hasil pengujian tarik tidak semua terjadi pada sambungan pengelasan. Hal ini mengindikasikan adanya peningkatan kekuatan material pada area sambungan karena adanya perubahan suhu selama *friction welding*. Pada kasus patah getas di area lasan yang terjadi karena adanya *thermoplastic* antar muka akibat adanya aliran panas, maka sambungan saat dilakukan pengujian tarik mengalami patah getas. Pengujian tarik untuk pengelasan gesek pada material baja St.60 memiliki hasil tegangan maksimum, seperti terlihat pada tabel 4 dan gambar 11. Tegangan maksimum didapatkan pada sample uji dengan fluida air asin yaitu dengan nilai 517,82 MPa. Sedangkan dengan nilai tegangan minimum didapatkan ketika menggunakan air mineral yaitu sebesar 297,7 MPa. Hal ini terjadi sebagai akibat dari berbagai faktor kandungan cairan pendingin.

**Tabel 4.** Hasil pengujian tarik pengelasan gesek baja St.60

No	Fluida pendingin	Kepcepatan putar (rpm)	Tekanan (psi)	Waktu gesek (detik)	Waktu Quching (detik)	Diameter (mm)	Kuat Tarik (N/mm <sup>2</sup> )	Kuat Tarik (N/mm <sup>2</sup> )	Regangan (%)
1	Oli	2300	70	60	27	12,54	341,08	267,97	5,86
2	Air garam	2300	70	60	27	12,52	517,82	399,47	16,84
4	Udara	2300	70	60	27	12,48	417,94	302,47	11,78
4	Air	2300	70	60	27	12,47	291,47	229,78	3,86



**Gambar 9.** Spesimen uji tarik



Gambar 10. Grafik hasil pengujian tarik

Dari data uji tarik terlihat bahwa proses *friction welding* yang dikombinasikan dengan proses quenching menggunakan media air garam menghasilkan tensile strength yang lebih tinggi jika dibandingkan pada pengujian yang sebelumnya dilakukan oleh [16]. Dengan menambahkan waktu 15 detik dan menurunkan tekanan dari 133 Mpa ke 0.5 Mpa (70 psi) pada proses *friction welding* didapatkan kenaikan kekuatan tarik sekitar 1.4 %.

## KESIMPULAN

Hasil penelitian menggunakan metode *friction welding* (FRW) pada material steel St.60 dengan berbagai macam pendingin (oli, air garam, udara, dan udara), waktu gesekan 60 detik pada kecepatan putaran 2300 rpm dan tekanan 70 psi menghasilkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Berdasarkan pengujian tensile strength didapatkan hasil bahwa media pendingin yang digunakan mempengaruhi *tensile strength*. Nilai tegangan tertinggi dari semua spesimen yang di uji, terjadi pada spesimen dengan menggunakan fluida pendingi air garam yaitu senilai 517,82 N/mm<sup>2</sup>. Sedangkan untuk nilai tensile strength terendah terjadi pada spesimen dengan menggunakan fluida pendingin air yaitu nilai 297,7 N/mm<sup>2</sup>
- Media pendingin juga mempengaruhi kekerasan pada heat treatment hasil *friction welding*. Hasil pengujian kekerasan *Brinell* didapatkan nilai kekerasan tertinggi terjadi pada spesimen dengan menggunakan fluida pendingi air garam dengan nilai kekerasan 170 HB. Sedangkan nilai terendah disambungkan pengelasan terjadi pada spesimen dengan menggunakan fluida pendingi oli dengan nilai 124,67 HB.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada civitas akademika Universitas Buana Perjuangan yang telah berupaya menyediakan area penelitian ini dan telah terselesainya penelitian ini dengan baik.

## REFERENSI

- [1] A. Abdurahman, S. Sukarman, A. Djafar Shieddieque, S. Safril, D. Setiawan, and N. Rahdiana, "EVALUASI KEKUATAN UJI TARIK PADA PROSES PENGELASAN BUSUR LISTRIK BEDA MATERIAL SPHC DAN S30-C," vol. 1, no. 2, pp. 29–37, 2021.
- [2] S. Tathgir, D. W. Rathod, and A. Batish, "Mechanical Engineering for Society and Industry Emphasis of Weld Time, Shielding Gas and Oxygen Content in Activated Fluxes on the Weldment Microstructure," vol. 1, no. 2, pp. 86–95, 2021.
- [3] M. R. Gita Firmansyah, S. Solichin, and R. Poppy Puspitasari, "Analisis Kecepatan Putar, Durasi Gesek dan Tekanan Terhadap Kekuatan Tarik Hasil Pengelasan Gesek (*Friction Welding*)," *J. Tek. Mesin dan Pembelajaran*, vol. 1, no. 2, p. 1, 2019.
- [4] S. Sukarman, A. Abdulah, D. A. Rajab, and C. Anwar, "Optimization of Tensile-Shear Strength in the Dissimilar Joint of Zn-Coated Steel and Low Carbon Steel," *Automot. Exp.*, vol. 3, no. 3, pp. 115–125, 2020.

- 
- [5] S. Sukarman and A. Abdulah, "Optimasi parameter resistance spot welding pada pengabungan baja electro-galvanized menggunakan metode Taguchi," *Din. Tek. Mesin*, vol. 11, no. 1, pp. 39–48, 2021.
- [6] R. Datta, D. Mukerjee, S. Jha, K. Narasimhan, and R. Veeraraghavan, "Weldability characteristics of shielded metal arc welded high strength quenched and tempered plates," *J. Mater. Eng. Perform.*, vol. 11, no. 1, pp. 5–10, 2002.
- [7] M. Rizkhi, "Pengaruh kecepatan putar terhadap kualitas sambungan las *friction welding* magnesium AZ-31," *J. Teknol. dan Inov. Ind.*, vol. 1, no. 1, 2020.
- [8] P. Haryanto, R. Ismail, Jamari, and S. Nugroho, "Pengaruh gaya tekan, kecepatan putar, dan waktu kontak pada pengelasan gesek baja st60 terhadap kualitas sambungan las," *Jur. Tek. mesin Politek. Negeri Semarang*, vol. 2, pp. 88–93, 2011.
- [9] H. Nur, "Pengaruh Penggunaan Media Pendingin Air Garam , Air Tawar , dan Air Asam pada Perlakuan Panas terhadap Kekerasan Baja St.60," pp. 1–11, 2017.
- [10] K. Khoirudin *et al.*, "Mechanical Engineering for Society and Industry A Report on Metal Forming Technology Transfer from Expert to Industry for Improving Production Efficiency," pp. 93–100, 2021.
- [11] A. Abdulah and S. Sukarman, "OPTIMASI SINGLE RESPONSE PROSES RESISTANCE SPOT WELDING," *Multitek Indones. J. Ilm.*, vol. 6223, no. 2, pp. 69–79, 2020.
- [12] F. M. Company and F. M. Company, "Non-destructive evaluation of spot-weld quality," pp. 101–136, 2010.
- [13] D. Dimiyati, A. D. Ashiedieque, and F. M. Dewadi, "Evaluasi Kekuatan Resistance Spot Welding Pada Proses Tailor Welded Blankss Menggunakan Mill-Steel Beda Ketebalan," vol. 02, no. 01, pp. 96–107, 2021.
- [14] ASTM, *Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*. 2013.
- [15] M. P. Mubiayi, E. T. Akinlabi, and M. E. Makhatha, *Current Trends in Friction Stir Welding (FSW) and Friction Stir Spot Welding (FSSW)*, vol. 6. 2019.
- [16] D. Darmulia, "Pengaruh Variasi Putaran Motor Terhadap Kekuatan Sambungan Las Friction Welding Pada Baja St.60," *ILTEK J. Teknol.*, vol. 11, no. 01, pp. 1567–1572, 2016.
- [17] G. Vernoval, S. Jokosisworo, and berlian arswendo Adietya, "Analisa Kekuatan Puntir, Kekuatan Tarik dan Kekerasan Baja St.60 sebagai Bahan Poros Baling-baling Kapal (Propeller Shaft) setelah Proses Tempering," *Tek. Perkapalan*, vol. 7, no. 2, pp. 152–160, 2019.