

SIFAT MEKANIS DAN STRUKTUR MIKRO PADA SAMBUNGAN LAS GESEK BAJA SCM415H UNTUK APLIKASI POROS RODA BELAKANG MOBIL

Lydia Anggraini

Dosen
Universitas Presiden
Program Studi Teknik Mesin
Email:
lydia.anggra@president.ac.id

Bobby Salim Saputra

Mahasiswa Program Sarjana
Universitas Presiden
Program Studi Teknik Mesin
Email:
bobbysalim22@gmail.com

This research aims to evaluate the mechanical properties and microstructure of steel alloy SCM415H processed by friction welding for rear axle shaft application. Friction welding is a process to connect materials without using fillers and has a good quality of joint strength. Two different pressures of friction welding for 2.5 and 6 MPa were applied in this research. In addition, the initial condition of non-welded in SCM415H material was also investigated. In order to evaluate the mechanical properties, several mechanical tests i.e. Vickers hardness, tensile, torque and ultrasonic test were carried out. The result of this research is better welding connection is obtained on the final pressure of 6 MPa. The Vickers hardness is 390 HV was obtained on the welding connection area. Furthermore, the result proved that the higher pressure will affect the higher strength in the welding connection interface. The result of this research is confirmed the welding connection was not easily broken. Therefore, this research has an important role to determine the pressure applied to the friction welding.

Keywords : SCM415H Steel, Friction Welding, Microstructure, Mechanical Properties, Tensile, Torsion.

1. PENDAHULUAN

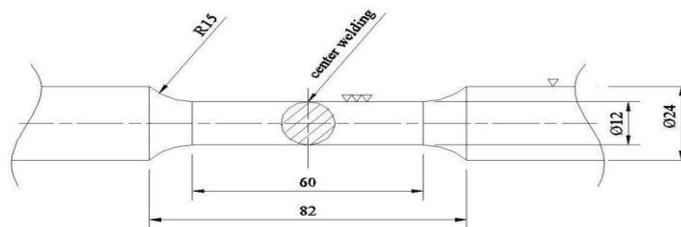
Pertumbuhan teknologi sangat berkembang pesat dalam kehidupan keseharian kini, baik itu dalam kehidupan bermasyarakat maupun industri. Laju pertumbuhan industri di Indonesia khususnya di bidang manufaktur adalah tercatat meningkat pada tahun 2018. Kenaikan indeks pada bulan Agustus 2018 mencapai angka 51,9% dan bulan Juli 2018 hanya sebesar 50,5% berdasarkan Nikkei Indonesia Manufacturing Purchasing Managers' Index (PMI) [1]. Pada pertumbuhan industri ini juga berdampak terhadap kemajuan teknologi. Teknologi yang dimaksud antara lain canggihnya alat di bidang informasi, komunikasi, satelit, bioteknologi, pertanian, alat kesehatan, rekayasa genetik, termasuk di bidang manufaktur. Hal ini terjadi karena teknologi merupakan salah satu aspek yang cukup penting dan turut mempengaruhi setiap aktivitas, tindakan, serta perilaku manusia secara sosiologis [2]. Perkembangan teknologi tersebut memicu persaingan dunia industri dilihat dari segi *SQCD* (*safety, quality, cost, delivery*) pada pemrosesan suatu produk [3-5]. Salah satu teknologi yang dimaksud adalah pengelasan yang merupakan suatu penunjang penting dalam proses tersebut. Pengelasan adalah penyambungan permanen dua buah bahan atau lebih, biasanya yang digunakan adalah peleburan logam diantara tepi dan tengah bagian sambungan bahan [6]. Prinsip pengelasan dilakukan dengan cara mencairkan kedua sisi pada ujung bahan dan memberikan bahan tambah pada bagian yang mencair, sehingga pada saat bahan sudah dingin menjadi sambungan permanen yang kuat [6]. Proses diklasifikasikan beberapa macam, antara lain: pengelasan gas (*oxyacetylene*), las listrik (contohnya: *GMAW, SMAW, FCAW, SAW, TIG, MIG, dll*), *Electric Resistance Welding*, dan *Laser Welding* [6-8]. Proses-proses pengelasan ini sudah sangat umum diterapkan, baik itu bahan, metode serta teknologinya sudah sangat berkembang di Indonesia.

Saat ini, teknologi penyambungan logam dengan sistem pengelasan semakin banyak digunakan, baik dalam konstruksi bangunan maupun konstruksi mesin. Namun, yang tergolong cukup baru dan masih belum terlalu banyak diterapkan di Indonesia adalah las gesek (*friction welding*), baik itu dalam aplikasi maupun

penelitian yang mengarah kepada teknologi ini hanya beberapa yang telah membahas secara parsial [6-8]. Las gesek menggunakan alat las *non-consumable* yang berputar untuk menghasilkan panas sehingga mampu menyambung dua buah bahan tanpa mencairkan logam [7]. Keuntungan yang didapat dari las gesek adalah proses penyambungannya dilakukan dalam keadaan padat, sehingga distorsi mikro yang berasal dari gesekan surface berubah menjadi rendah dan terjadi deformasi atau perubahan bentuk paska pengelasan dapat diminimalisir [8]. Selain itu las gesek juga dapat diaplikasikan pada bahan yang cukup sulit dilas bila menggunakan teknologi konvensional, serta asap yang dihasilkan juga sedikit disebabkan tidak ada bahan yang terbakar ataupun mencair [8]. Aplikasi dari las gesek sendiri telah dibuktikan di berbagai negara lain, antara lain pada industri pembuatan alat yang cukup besar seperti pembuatan kapal, kereta api, pesawat terbang, bahkan pada dunia otomotif juga telah banyak diaplikasikan [8, 9]. Pada latar belakang ini, melihat manfaat serta kebutuhan menggali lebih dalam mengenai teknologi sambungan las gesek secara menyeluruh belum pernah dilakukan sebelumnya oleh penulis manapun di Indonesia. Makalah ini membahas tentang sifat mekanis dan struktur mikro pada sambungan las gesek dengan menggunakan baja SCM415H untuk aplikasi komponen poros roda belakang kendaraan bermotor. Salah satu kendala pada proses pengelasan adalah terjadinya retak (*crack*) yang mana sangat membahayakan pengendara kendaraan bermotor, sehingga produk yang berkualitas dengan harga yang bersaing menjadi tantangan tersendiri serta tuntutan dalam produksi.

2. METODE DAN BAHAN

Bahan yang digunakan adalah baja paduan SCM415H dengan komposisi kimia diuraikan pada Tabel 1 [10]. Baja dipotong dengan panjang 25 mm, setelah dipotong kemudian permukaan dibubut supaya rata membentuk sisi tegak lurus dan sekaligus menghilangkan karat, minyak, kerak pada area permukaan yang akan di las. Kondisi las gesek yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan putaran poros 1000 RPM dengan posisi pengelasan sesuai dengan konstruksi mesin las gesek yaitu *horizontal* dan variasi tekanan akhir 2.5 MPa dan 6 MPa. Spesimen untuk uji tarik disiapkan sesuai standar JIS Z 2201, seperti yang terdapat pada Gambar 1.



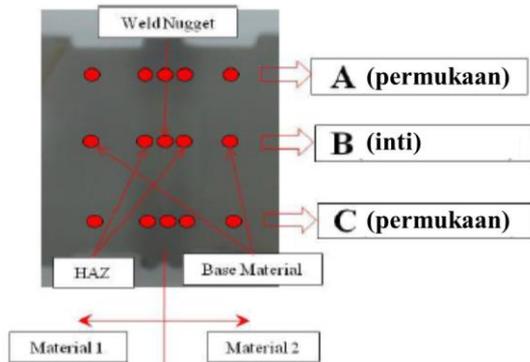
Gambar 1: Spesimen pengujian kekuatan tarik hasil las gesek (JIS Z 2201).

Tabel 1: Komposisi kimia baja paduan SCM415H [10].

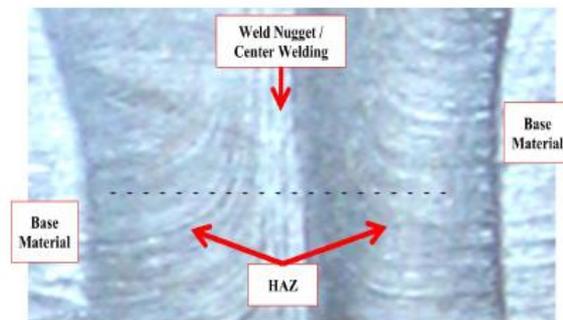
STEEL GRADE	CHEMICAL COMPOSITION (WT %)						HEAT TREATMENT (°C)			
	C	Si	Mn	P, S	Cr	Mo	N	A	Q	T
SCM415	0.13 ~ 0.18	0.14 ~ 0.35	0.60 ~ 0.85	0.030 MAX	0.90 ~ 1.20	0.15 ~ 0.30	850 ~ 900 Air Cooling	850 Furnac Cooling	850 ~ 900 Oil Cooling	150 ~ 200 Air Cooling

Pengujian foto struktur mikro dilakukan pada permukaan hasil pengelasan sebelum dilakukan pengujian sifat mekanis. Pemolesan dengan menggunakan ampelas *grade* 80 sampai 1500 dilakukan. Setelah spesimen diampelas dengan ukuran 1500 dilanjutkan dengan pemolesan dengan cairan *Autosol* agar spesimen lebih halus lagi. Spesimen yang telah disiapkan, dilanjutkan untuk pengujian foto struktur mikro menggunakan mikroskop optik. Spesimen dibersihkan menggunakan kain, kemudian dicelupkan bagian permukaan specimen pada cairan etsa dan dibilas dengan cairan kimia -OH (alkohol). Gambar 2 menunjukkan area titik foto struktur mikro diambil pada spesimen hasil las gesek.

Pada pengujian kekerasan specimen dipotong dari bentuk awal silinder pejal seperti diperlihatkan pada Gambar 1, yang bertujuan supaya terlihat jelas inti (*core*) dari area las gesek, kemudian permukaan specimen yang akan diuji dihaluskan menggunakan kertas amplas sampai *grade* 800. Indentor berbentuk piramida intan dipasang pada mesin uji kekerasan, menggunakan garis warna pada logam hasil las ditandai. Beban yang diterapkan pada *indentor* adalah sebesar 0.3 kgf. Perhitungan nilai kekerasan mengacu pada persamaan dalam penelitian yang dilakukan oleh Buican et al. [11]. Gambar 2 menunjukkan posisi *indentor* yang dilakukan pada pengujian kekerasan *Vickers* terhadap spesimen hasil las gesek.



Gambar 2: Area titik pada foto struktur mikro hasil las gesek.



Gambar 3: Posisi *indenter* pada pengujian kekerasan *Vickers*.

Pada pengujian sifat mekanik antara lain uji tarik, uji puntir dan ultrasonik menggunakan spesimen yang telah mengalami proses pengelasan. Spesimen untuk uji tarik disiapkan sesuai standar JIS Z 2201 [12-14], ukuran seperti yang terdapat pada Gambar 1. Selain itu, spesimen juga diuji dengan mesin *ultrasonic probe* dengan meletakkan pada dudukan khusus. Permukaan ujung spesimen dibersihkan dengan kain bersih, pastikan tidak ada kotoran atau geram yang tersisa menempel. Pada permukaan ultrasonic probe juga dibersihkan dengan *silicon oil* secara merata. Untuk memeriksa porositas atau kerapatan hasil pengelasan gesek, dilakukan dengan meletakkan spesimen secara tegak lurus dengan *ultrasonic probe*.

Pada pengujian puntir statis, benda yang akan diuji dibuat menjadi suatu bentuk komponen. Hal ini bertujuan supaya hasil uji sesuai dengan yang diinginkan, selain itu puntir yang diterima oleh komponen tersebut dapat terpasang pada suatu rangkaian mesin secara benar. Langkah pengujiannya antara lain: membuat spesimen uji menjadi bentuk *finish part*; spesimen dipasang pada mesin puntir servo type hidraulik PD-8 dengan kapasitas 8000 Nm dengan posisi *horizontal*, sebagai pembangkit beban uji puntir; X-Y recorder digunakan untuk merekam diagram momen puntir selama pengujian; *jig* sebagai dudukan atau pemegang spesimen. Pengujian dilakukan dengan kecepatan beban puntir konstan sebesar 300 N/min, hingga spesimen patah. Hasil pengujian puntir dihitung dengan rumus yang terdapat dalam penelitian Abdulla et al, Tyagita et al dan Tung et al. [15-17].

3. HASIL DAN DISKUSI

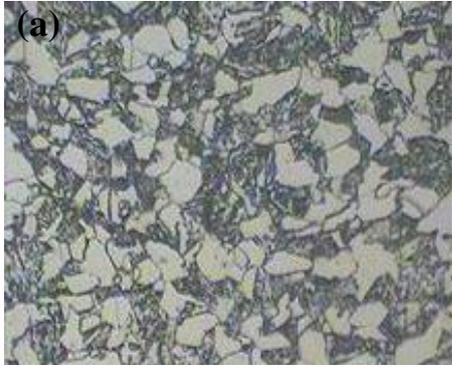
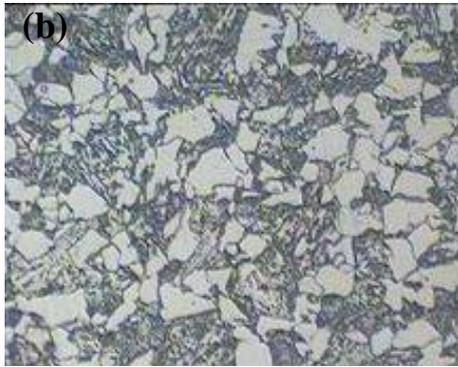
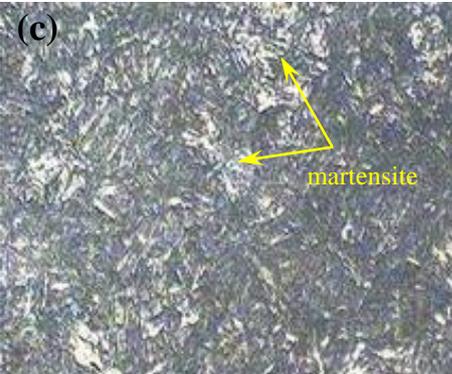
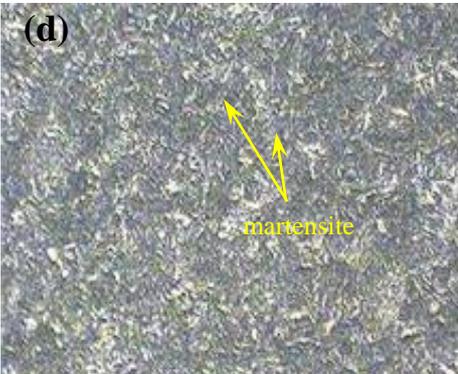
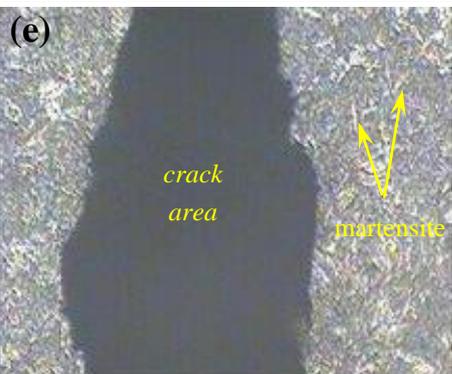
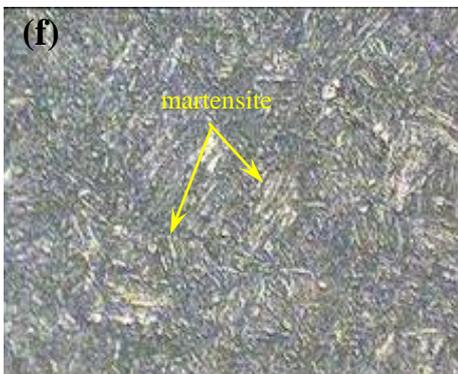
Tabel 2 (a) dan (b). menunjukkan foto struktur mikro spesimen hasil pengelasan gesek yang diambil pada area permukaan, inti dan *base* (dasar) dengan mengikuti letak atau posisi sesuai pada Gambar 2. Area permukaan adalah daerah yang terdapat pada sisi spesimen yang tidak terkena pengelasan. Pada area inti ataupun dasar adalah daerah yang tidak terkena hasil pengelasan, namun letaknya ada di tengah diameter batang uji. Fenomena ini terjadi disebabkan karena hasil foto struktur mikro yang diamati pada area tersebut secara berulang kali menunjukkan struktur yang sama, maka dalam penelitian ini menyebut bagian permukaan/inti/dasar dalam satu kolom yang sama, sebagaimana dirangkum dalam Tabel 2. Pada area HAZ (*Heat Affected Zone*) dan *weld nugget* adalah daerah yang terkena panas hasil pengelasan. Perbedaannya adalah pada area HAZ terdapat pada pinggir atau cenderung mendekati sisi luar hasil lasan. Pada daerah sambungan las hasil variasi putaran gesek, *weld nugget* lebih terlihat pada sisi tengah atau *interface*. Daerah *interface* adalah daerah sambungan yang mendapatkan tekanan gesek pada saat proses pengelasan.

Bahan dasar spesimen yang digunakan adalah baja paduan SCM415H, dimana ditunjukkan oleh butiran besar yang terdiri dari *pearlite* dan jaringan *ferrite*. Struktur mikro butiran yang berwarna hitam disebut *pearlite* dan yang berwarna putih disebut *ferrite*. Pada struktur mikro di area HAZ (c) dan (d), memiliki ukuran butir yang menjadi lebih kecil dari ukuran awal, hal ini terjadi dikarenakan ada tekanan yang diberikan saat pemanasan melalui pengelasan gesek, serta akibat pengaruh dari proses pendinginan dan terbentuknya deformasi sebagaimana ditunjukkan dengan butiran kecil *pearlite* pada Tabel 2. Pada hasil struktur mikro di daerah *weld nugget* ditunjukkan dengan butiran *martensite* yang disebabkan oleh pengaruh pendinginan cepat di daerah permukaan sambungan.

Struktur mikro pada spesimen hasil pengelasan gesek yang diperoleh pada area permukaan serta dasar dan inti dengan tekanan 2.5 dan 6 MPa adalah sama persis. Ini dikarenakan, tidak terjadi perubahan tekanan

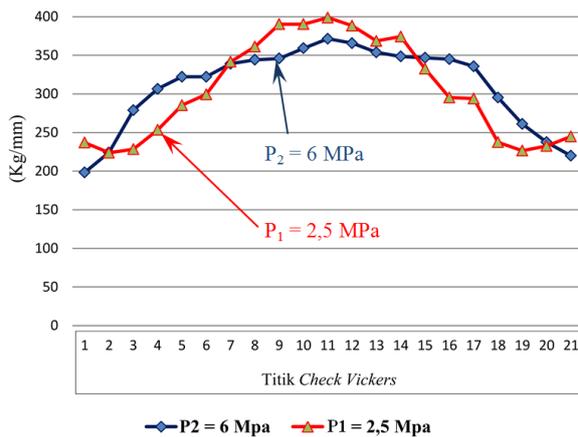
maupun perlakuan yang diterima pada area tersebut. Demikian pula pada struktur mikro yang terdapat pada area *HAZ* dengan tekanan 2.5 dan 6 MPa, meskipun terdapat perbedaan dari struktur mikro pada bagian permukaan/dasar/inti, namun tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan diantara kedua tekanan gesek yang diterapkan tersebut. Hal ini disebabkan meski terdapat perbedaan tekanan yang cukup besar namun dari hasil struktur mikro tidak berbeda. Kemudian pada struktur mikro di bagian *weld nugget* (e) dan (f), tepatnya pada daerah inti material ditunjukkan dengan butiran *martensite* untuk kedua tekanan gesek yang dihasilkan yakni 2.5 dan 6 MPa. Pengaruh dari pendinginan cepat adalah terjadi di daerah permukaan sambungan. Namun pada struktur mikro hasil pengelasan gesek dengan tekanan 2.5 MPa justru terdapat rongga keretakan pada area *weld nugget*, tepatnya pada sisi *face material* atau permukaan terluar dari sambungan, meskipun disisi luar rongga terdapat butiran halus *martensite*. Ini berarti pada tekanan gesek 2.5 MPa memiliki sambungan di area permukaan luar material yang tidak sempurna, serta disebabkan oleh minimnya tekanan akhir. Hasil pengujian struktur mikro secara lengkap telah dirangkum dan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2: Struktur mikro baja paduan SCM415H hasil las gesek dengan mikroskop optik *Olympus* tipe *PME3* dengan pembesaran 50x. (a) dan (b) menunjukkan spesimen hasil pengelasan gesek yang diambil pada area permukaan, inti dan *base* (dasar), (c) dan (d) pada area *HAZ*, (e) dan (f) pada bagian *weld nugget*.

	2.5 MPa	6 MPa
Permukaan dan Inti / Base (Dasar)		
HAZ		
Weld nugget		

Grafik nilai hasil pengujian kekerasan *Vickers* ditunjukkan pada Gambar 4. Nilai kekerasan maksimum terjadi pada sambungan las gesek dengan variasi tekanan $P_1 = 2.5 \text{ MPa}$, yakni mencapai 399 HV.

Peningkatan nilai kekerasan yang terdapat pada grafik dengan arah horizontal adalah terjadi pada bagian yang mengalami pengelasan, disebabkan oleh efek pemanasan dan pendinginan, sehingga menyebabkan nilai kekerasan akan sama pada daerah dasar material dan mulai terjadi peningkatan pada daerah HAZ. Nilai kekerasan akan meningkat pada arah horizontal sampai mencapai nilai maksimum pada titik sambungan. Fenomena ini berhubungan dengan hasil pengujian struktur mikro (Tabel 2.) yang ditunjukkan pada weld nugget dengan hasil retak yang cukup besar diantara butiran martensite pada hasil pengelasan gesek dengan tekanan sebesar 2.5 MPa. Sementara itu, foto struktur mikro butiran pada biji logam yang diperoleh dari hasil pengelasan lebih kecil dikarenakan akibat proses pendinginan dan deformasi yang terjadi pada permukaan sambungan, kondisi tersebut yang menyebabkan meningkatnya nilai kekerasan. Kemudian pada hasil pengujian kekerasan *Vickers* dari las gesek bertekanan 6 MPa justru menunjukkan hasil yang lebih rendah jika dibandingkan dengan tekanan las yang lebih kecil.

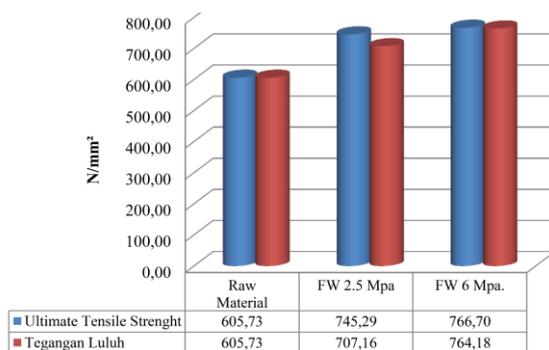


Gambar 4: Grafik hasil pengujian kekerasan *Vickers*.

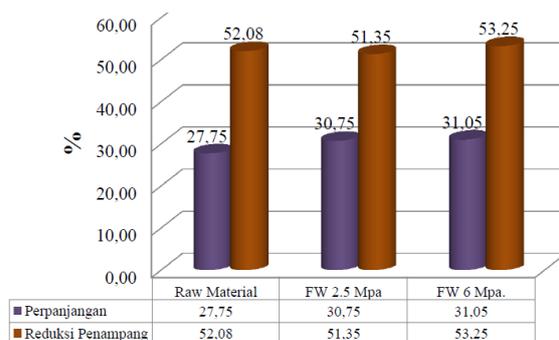


Gambar 5: Batang spesimen hasil pengujian kekuatan tarik dengan berbagai variasi lokasi patahan.

Gambar 5. adalah batang spesimen uji tarik setelah mengalami pengujian dan patah. Patahan yang terjadi bervariasi tergantung dari tekanan las yang dihasilkan. Patahan atau putus dapat terjadi persis pada area atau luar area sambungan las. Kemudian, pada Gambar 6. menunjukkan hubungan antara diagram tarik maksimum dengan kekuatan tekanan (P_1 & P_2) hasil dari proses las gesek yang mana pada grafik dituliskan *FW* (*friction welding*). Pada tekanan P_2 sebesar 6 MPa menghasilkan tegangan tarik maksimum 766,70 N/mm^2 , semakin besar tekanan akhir yang diberikan maka tegangan tarik maksimum juga semakin meningkat. Begitu juga dengan tegangan luluhnya yaitu 764,18 N/mm^2 yang mana mendekati tegangan tarik maksimum. Hal ini terjadi karena material baja SCM415H termasuk dalam *low alloy steel* dengan tegangan luluh hampir sama dengan tegangan tariknya. Pada gambar 5. perpanjangan dan reduksi penampang rata-rata yang dihasilkan adalah sama dan tidak ada perbedaan yang sangat besar. Fenomena ini dibuktikan pada uji tarik dimana lokasi putus terjadi di area *raw material* dan tidak terjadi di area sambungan. Area tersebut disebut dengan *heat-affected zone (HAZ)* dimana terjadi pematatan butir pada area *weld nugget* dan terjadi perubahan struktur dari *ferrite* dan *pearlite* menjadi *martensite*. Efek tersebut menjadikan area HAZ sampai *weld nugget* terjadi peningkatan kekerasan dan sekaligus secara otomatis kekuatan juga meningkat.



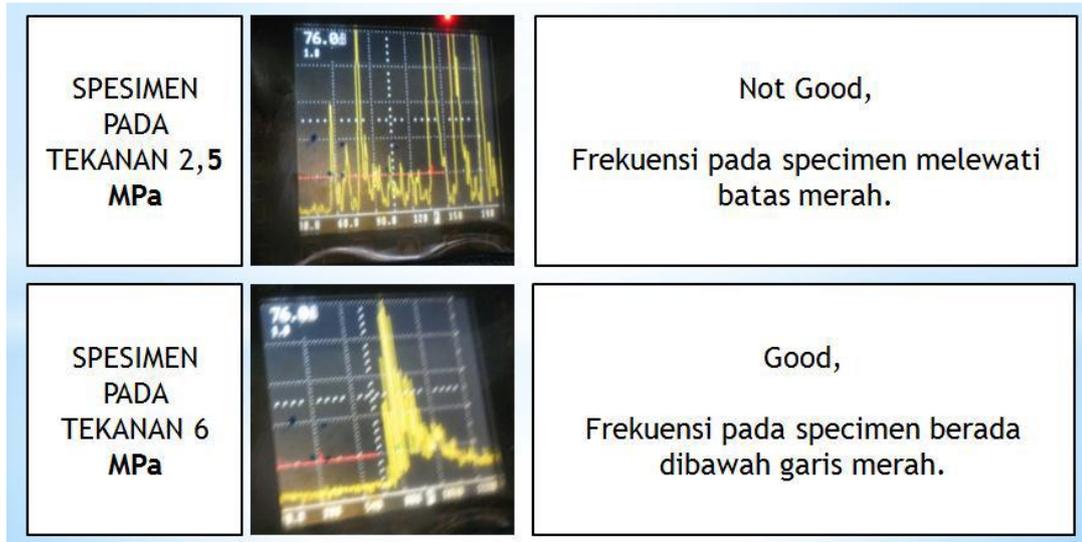
Gambar 6: Grafik perbandingan hasil uji tarik.



Gambar 7: Grafik perbandingan perpanjangan ser-

ta reduksi pada penampang hasil uji tarik.

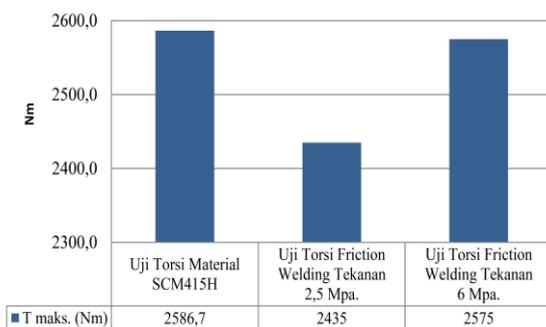
Dari hasil uji ultrasonik pada sambungan las dengan variasi tekanan 6 MPa tidak terdapat cacat porositas, namun pada variasi tekanan 2.5 MPa menunjukkan adanya cacat retak, seperti terlihat pada hasil foto struktur mikro sebelumnya dimana terjadi pada area permukaan material. Pada Gambar 8. garis frekuensi berwarna merah menunjukkan hasil uji ultrasonik untuk kedua specimen yang mengalami pengelasan gesek dengan tekanan 2.5 dan 6 MPa. Jika frekuensi pada spesimen berada dibawah garis merah maka dapat dikatakan sambungan cukup baik (*good*). Namun sebaliknya, jika frekuensi pada spesimen melewati batas garis merah maka dinyatakan kualitas sambungannya tidak cukup baik (*not good*).



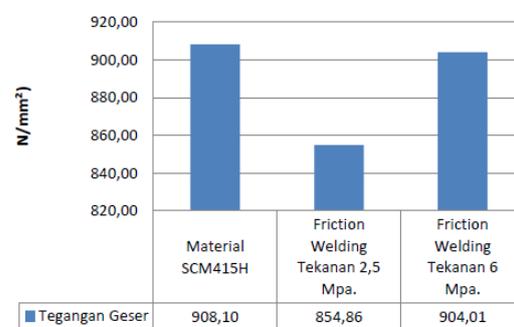
Gambar 8: Hasil pengujian ultrasonic, evaluasi kualitas sambungan las untuk spesimen yang mengalami pengelasan gesek dengan tekanan 2.5 dan 6 MPa.

Pada Gambar 9 dan 10. menjelaskan tentang grafik hubungan nilai kekuatan puntir statis dan perhitungan tegangan geser. Pada kedua grafik tersebut, nilai tekanan akhir yakni sambungan las dengan tekanan 6 MPa menunjukkan nilai yang hampir sama dengan spesimen bahan mentah atau tanpa sambungan las. Pada variasi tekanan 2.5 MPa menghasilkan tegangan geser yang lebih rendah sebesar 854,86 N/mm². Hasil tekanan 2.5 MPa yang didapat lebih rendah yaitu 854,86 N/mm², tetapi jika melihat dari posisi patahannya tidak terjadi persis di tengah area sambungan, namun cenderung pada bagian luar (*face*). Sehingga, berdasarkan hasil ini membuktikan bahwa pada area sambungan mengalami kenaikan kekuatan. Faktor lain yang menyebabkan kekuatan menjadi lebih tinggi sebesar 904,01 N/mm² pada hasil las gesek dengan tekanan 6 MPa adalah sudut puntir maksimal dihasilkan.

Proses perlakuan panas atau *heat treatment* tetap perlu dilakukan selanjutnya, untuk mengurangi tegangan sisa yang terjadi pada proses permesinan lanjut. Variasi parameter yang lain adalah seperti putaran dan waktu gesek juga perlu dilakukan untuk mengkonfirmasi ulang hasil percobaan.



Gambar 9: Grafik nilai kekuatan hasil uji puntir statis.



Gambar 10: Grafik nilai kekuatan hasil perhitungan tegangan geser.

4. KESIMPULAN

Dari hasil percobaan pengelasan gesek, yakni melalui dua variasi tekanan dan telah dilakukan pengujian struktur mikro, pengujian kekerasan, pengujian tarik, pengujian ultrasonic serta pengujian puntir dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Penyambungan las yang terbaik dilakukan pada tekanan akhir P_2 sebesar 6 MPa.
2. Terjadi peningkatan nilai kekerasan pada daerah sambungan yang mencapai 390 HV sedangkan kekerasan awal dari bahan baja SCM415H hanya sekitar 200 HV.
3. Penyambungan las dinyatakan tidak baik pada variasi tekanan P_1 sebesar 2.5 MPa.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Editorial, *Bisnis Indonesia*, <https://ekonomi.bisnis.com/read/20180903/257/834356/manufaktur-indonesia-pada-agustus-2018-melejit-tertinggi-dalam-2-tahun-terakhir>. Diakses: September 2018.
- [2] NGAFIFI, M., "Kemajuan Teknologi dan Pola Hidup Manusia dalam Perspektif Sosial Budaya", *Jurnal Pembangunan Pendidikan: Fondasi dan Aplikasi*, v. 2, n. 1, pp. 33-47, 2014.
- [3] PATTANAWASANPORN, P., et al., "Logistics and Supply Chain Management Approach to SMEs in Noodle Factory Industry–Lean and Six Sigma Tool". In: *International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, pp. 3105-3118, Bali, 2014.
- [4] RIYADI, M., "Kajian Efisiensi Proses Produksi Kapal dengan Pendekatan Konsep Manufacturing Cycle Effectiveness (MCE) Studi Kasus PT. PAL", *Wave: Jurnal Ilmiah Teknologi Maritim*, v. 9, n. 2, pp. 57-64, 2018.
- [5] ROCHMAN P., NOVALDI N., MOCHAMMAD A.M., "Analisis Penerapan Budaya Kaizen pada Perusahaan Joint Venture Asal Jepang di Indonesia (Studi pada PT. X)." *Jurnal Administrasi Bisnis*, v. 57, n. 1, pp. 188-197, 2018.
- [6] ARIFIN, M. S., *Pengaruh Arus pada Proses Pengelasan SMAW Logam Berbeda Baja ASTM A36 dengan Baja SS304 terhadap Sifat Mekanis*, Ph.D diss., Institut Teknologi Nasional Malang, Indonesia, 2019.
- [7] SANTOSO, T. P., *Pengaruh Perubahan Kecepatan pada Pengelasan MIG terhadap Distorsi dan Sifat Mekanik pada Aluminium 5083*, Ph.D diss., University of Muhammadiyah Malang, Indonesia, 2018.
- [8] SAKURA, R. R., SALAHUDDIN J., GAGUK J., et al., "Pengaruh Variasi Waktu Gesek Friction Welding pada Baja AISI 1045 dengan Sudut Chamfer 15° terhadap Sifat Mekaniknya", *Jurnal Elemen*, v. 4, n. 2, pp. 113-116, 2018.
- [9] EVANS, W. T., *The Application of Friction Stir Welding Processes to New Materials and New Material Combinations*, Ph.D diss., Vanderbilt University, Nashville, Tennessee, 2018.
- [10] MORIKAWA, H., MASAHICO, N., TOSHIO F., "Surface Durability and Tooth Flank Properties of Vacuum-Carbonitrided Gears Finished by Grinding, Shot-Peening and Polishing", In: *The Proceedings of the JSME International Conference on Motion and Power Transmissions*, pp. 5-10, Japan, 2017.
- [11] BUICAN, G.R., OANCEA, G., LANCEA, C., et al., "Some considerations regarding micro hardness of parts manufactured from 316-L Steel using SLM technology", *Applied Mechanics and Materials*, v. 760, pp. 515-520, 2015.
- [12] HAMADA, S., JIWANG Z., KEJIN Z., et al., "Ductile-to-brittle transition in tensile failure due to shear-affected zone with a stress-concentration source: a comparative study on punched-plate tensile-failure characteristics of precipitation-hardened and dual-phase steels", *International Journal of Fracture*, v. 212, n. 2, pp. 237-248, 2018.
- [13] ABBAS, H., AHMAD Y.A., "The Effects of Shielded Metal Arc Welding (SMAW) Welding On The Mechanical Characteristics With Heating Treatment in S45C Steel", *Journal of Physics: Conference Series*, v. 962, n. 1, pp. 012063, 2018.
- [14] ANGGRAINI, L., "Failure analysis of S50C carbon steel applied for fine boring transmission system", In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, v. 432, n. 1, pp. 012015, Nov, 2018.
- [15] ABDULLA, F.A.M., YUDY S.I., DJAROT B.D., "Tensile Strength and Macro-microstructures of A6061 CDFW Weld Joint Influenced by Pressure and Holding Time in the Upset Stage", *Rekayasa Mesin*, v. 9, n. 2, pp. 149-154, 2018.
- [16] TYAGITA, D.A., YUDY S.I., WAHYONO S., "Kekuatan Puntir dan Porositas Hasil Sambungan Las Gesek AlMg-Si dengan Variasi Chamfer dan Gaya Tekan Akhir", *Rekayasa Mesin*, v. 5, n. 1, pp. 69-74,

2014.

- [17] TUNG, D.J., MAHAFFEY D.W., SENKOV O.N., et al., "Transient behaviour of torque and process efficiency during inertia friction welding." *Science and Technology of Welding and Joining*, v. 24, n. 2, pp. 136-147, 2019.