

PENGARUH JENIS DAN KETEBALAN ADHESIVE PADA PROSES HYBRID SPOT WELDING -ADHESIVE BONDING PELAT BAJA KARBON RENDAH

Paryanto Dwi Setyawan*, Irfan Hakiki, Sugiman, Sujita, Achmad Zainuri
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mataram
Jl. Majapahit No.62, Mataram, Nusa Tenggara Barat. 83115

*Corresponding Author Email: paryanto.ds@unram.ac.id

ABSTRAK.

Welding is a general method of connecting metals, to get good welding results there are many methods and materials that can be used, but sometimes the welding results have shear strength that is less than optimal in its application, therefore modifications need to be made to the connection process to obtain shear strength values. the optimal one. Departing from this problem, this research applies the hybrid method to find the optimal shear strength value. This method uses two different joint variations to be combined, namely spot welding and adhesive bonding processes. Joint specimens will be tested using UTM (ultimate tensile machine) as well as microstructure tests. This research uses low carbon steel with a thickness of 0.8 mm and varies the connection process in the form of gluing and spot welding. Using various types of glue (araldite 5 minutes, araldite 90 minutes and devcon 90 minutes) and thickness variations (0.2 mm, 0.6 mm and 1 mm). From the results of this research, the optimal shear strength of the test specimens was obtained, namely in the adhesive bonding specimen the optimal shear strength was found in the adhesive thickness of 0.6 mm, 5 minute araldite type, which was 5.04 MPa, and for the Hybrid spot welding and adhesive bonding specimen, the shear strength was obtained, optimally at a thickness of 0.6 mm, 5 minute araldite type is 5.103 MPa.

Keyword: Thickness and type adhesive, Hybrid spot welding - adhesive bonding, Low carbon steel, Shear strength, Microstructure.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan dunia industri yang pesat mendorong lahirnya berbagai inovasi dengan ide-ide baru untuk menghasilkan berbagai produk yang lebih baik dan berkualitas. Dalam industri otomotif diperlukan terobosan dan inovasi terkini untuk mempertahankan dan meningkatkan hasil produksi, sehingga pemanfaatan dan penerapan teknologi mutlak diperlukan, begitu juga dengan teknologi pengelasan. Pengelasan merupakan metode penyambungan logam yang paling umum digunakan karena kelebihanannya, antara lain sambungan yang lebih kuat.

Dalam industri otomotif, las titik banyak digunakan untuk menyambung kendaraan yang materialnya berupa lembaran atau pelat. Sampai saat ini, las titik telah digunakan dalam industri seperti mobil, peralatan rumah tangga, kerajinan, rekayasa pesawat ruang angkasa *auto-body*, kabin truk dan peralatan rumah sakit. Pengelasan titik (*spot welding*) juga digunakan dalam industri konstruksi untuk menyambung rangka dalam produksi rel kereta api. Menurut Fadhila *et al.* (2019), *spot welding* adalah metode pengelasan resistansi listrik di mana dua atau lebih pelat logam ditekan di antara dua elektroda di bawah tekanan sebelum arus listrik dialirkan. Pengelasan titik pada dasarnya adalah proses penyambungan lembaran logam tipis. Pengelasan titik dapat digunakan untuk mengelas hampir semua logam, meskipun beberapa logam seperti timah, seng, dan timbal cukup sulit. Anis *et al.* (2009) menjelaskan kelebihan las titik dibandingkan dengan las lainnya adalah

prosesnya cepat sehingga cocok untuk produksi massal, suplai panas yang diberikan cukup tepat dan teratur, sifat mekanik dari hasil las kompetitif dengan logam induk dan tidak memerlukan kawat las.

Metode las titik ini banyak digunakan dalam pembuatan badan gerbong kereta api, kapal dan mobil. Kelebihan las titik adalah dapat membuat sambungan yang rapi, relatif ringan dan prosesnya lebih cepat dibandingkan dengan metode las lainnya. Selain itu, kualitas las yang dihasilkan tidak tergantung pada keterampilan operator, tetapi pada pengaturan peralatan dan metode pengelasan. (Sinarep, 2023).

Menurut White *et al.* (2010), dalam teknologi penggabungan *hybrid*, yang menggabungkan fitur terbaik dari dua atau lebih proses penyatuan, perekat struktural paling umum digunakan dalam proses penggabungan *hybrid*, tujuannya adalah untuk mengikat elemen bersama untuk menghasilkan modulus tinggi, kekuatan tinggi, dan ikatan permanen. Kemudian dapat mentransmisikan tegangan struktural tanpa kehilangan integritas struktural dalam batas desain. Keuntungan utama menggabungkan perekat dengan metode sambungan lainnya adalah peningkatan ketahanan leleh (statis dan dinamis), distribusi tegangan yang lebih merata, ketahanan pengelupasan dan benturan (titik sambungan menahan pertumbuhan retakan pada ikatan perekat), pengurangan berat struktural (pembagian berat beban), produksi sambungan berkelanjutan dan peningkatan keamanan.

Adhesive bonding adalah metode penyambungan dengan beberapa keunggulan saat menggabungkan bahan yang berbeda, dan jenis perekat dapat dipilih sehingga tidak diperlukan perlakuan panas dibandingkan dengan metode yang lebih umum seperti pengelasan. Ini telah diterapkan dalam industri pesawat terbang, di mana *adhesive bonding* telah lama digunakan sebagai metode penyambungan struktural. Kerugian dari *adhesive bonding* adalah ketahanan yang rendah terhadap suhu tinggi dan sulitnya memprediksi kekuatan sambungan. (White *et al.* 2010).

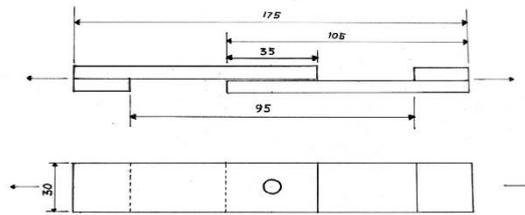
Menurut Zhao *et al.* (2018), untuk mengkombinasikan metode *resistance spot welding* (RSW) dan *adhesive bonding* (AB) adalah dengan proses pengelasan *hybrid*. Proses pengelasan *hybrid* meningkatkan kinerja sambungan yang statis dan dinamis (yaitu ketahanan benturan, kekakuan dan kelelahan) dan mengurangi jumlah titik las yang resistan. Proses pengelasan *hybrid* telah banyak digunakan pada struktur *body-in-white* seperti rel *longitudinal*, pilar vertikal, dan balok penguat. Oleh karena itu, sangat penting mempelajari pengaruh sambungan *hybrid spot welding - adhesive bonding* terhadap kekuatan geser dan struktur mikro pelat baja karbon rendah

2. METODOLOGI

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan pelat baja karbon rendah dengan ketebalan 0.8 mm. Spesimen pelat baja yang akan diuji menggunakan standar ISO 14273:2016. Kemudian pelat baja akan disambungkan dengan metode *hybrid spot welding - adhesive bonding*, dengan diameter elektroda 5 mm pada mesin las titik Merk Bron-Gouda B.V. Lastechneik. Selanjutnya spesimen hasil penelitian akan diuji kekuatan gesernya dan struktur mikro pada hasil sambungan. Rangkaian alat yang digunakan dalam pengujian ini adalah *ultimate tensile machine* (UTM), alat uji struktur mikro dan EDX (*energy dispersive x-ray*).

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental dengan variabel yang diuji adalah variasi ketebalan dan jenis dari *adhesive*. Variasi ketebalan *adhesive* yang digunakan adalah 0.2 mm, 0.6 mm dan 1.0 mm. Sedangkan variasi jenis *adhesive* yang

digunakan yaitu *araldite* 5 menit, *araldite* 90 menit dan *devcon* 90 menit. Nilai dari kekuatan geser dan hasil foto mikro adalah variabel yang akan diteliti.

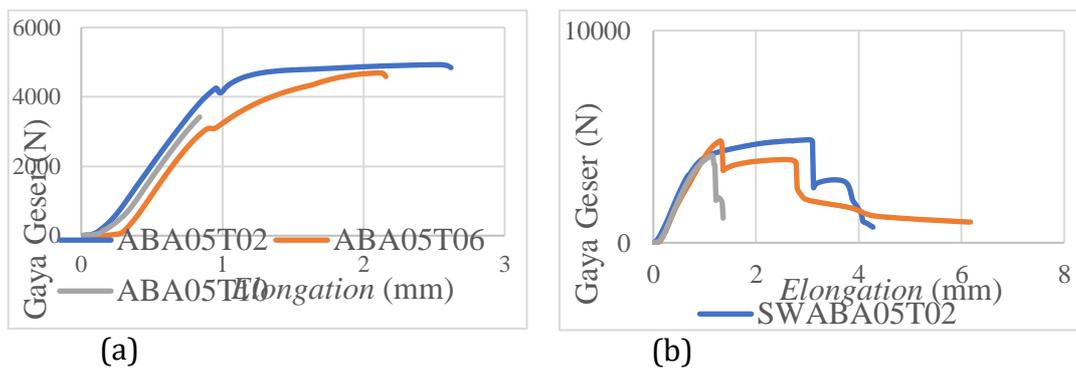


Gambar 1. Bentuk spesimen menggunakan standar ISO 14273:2016.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Geser

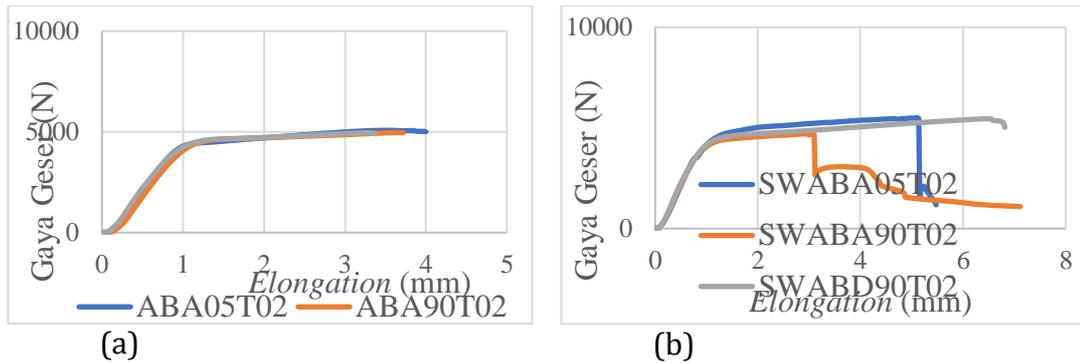
Bentuk grafik hasil pengujian geser untuk membandingkan antara spesimen *adhesive bonding* (AB) dan spesimen *hybrid* (SWAB) dapat dilihat pada gambar 2 dan 3.



Gambar 2. Hubungan antara gaya geser dengan elongasi spesimen A05.

Gambar 2 menunjukkan hubungan antara gaya geser (F) dengan elongasi baja (ΔL) berdasarkan variasi ketebalan *adhesive*. Berdasarkan gambar 2 diketahui bahwa bentuk grafik spesimen hasil SWAB lebih elastis dibandingkan dengan spesimen hasil AB. Hal ini dapat dilihat dari gambar 2 (a) nilai gaya geser dan elongasi yang didapat pada spesimen AB semakin meningkat hingga patah pada sambungannya. Berbeda halnya dengan gambar 2 (b) nilai gaya geser pada spesimen SWAB terjadi peningkatan kembali setelah terjadi penurunan. Hal ini juga dapat ditemukan pada gambar 3.

Gambar 3 menunjukkan hubungan antara gaya geser (F) dengan elongasi baja (ΔL) berdasarkan variasi jenis *adhesive*. Dari gambar 3 diketahui bahwa bentuk grafik spesimen SWAB lebih elastis dibandingkan dengan spesimen AB. Pada spesimen AB, kegagalan terjadi secara tiba-tiba, sedangkan pada sambungan spesimen SWAB, perekatnya retak terlebih dahulu, menyebabkan penurunan mendadak pada sambungan. Setelah itu, *nugget* las terus mentransmisikan beban selama jangka waktu tertentu melalui plastisasi progresif *nugget* las, yang diikuti dengan kegagalan pada antarmuka *nugget* las atau pada pengikat di sekitarnya (Marques, 2015). Data hasil pengujian kekuatan geser dapat dilihat pada tabel 1.

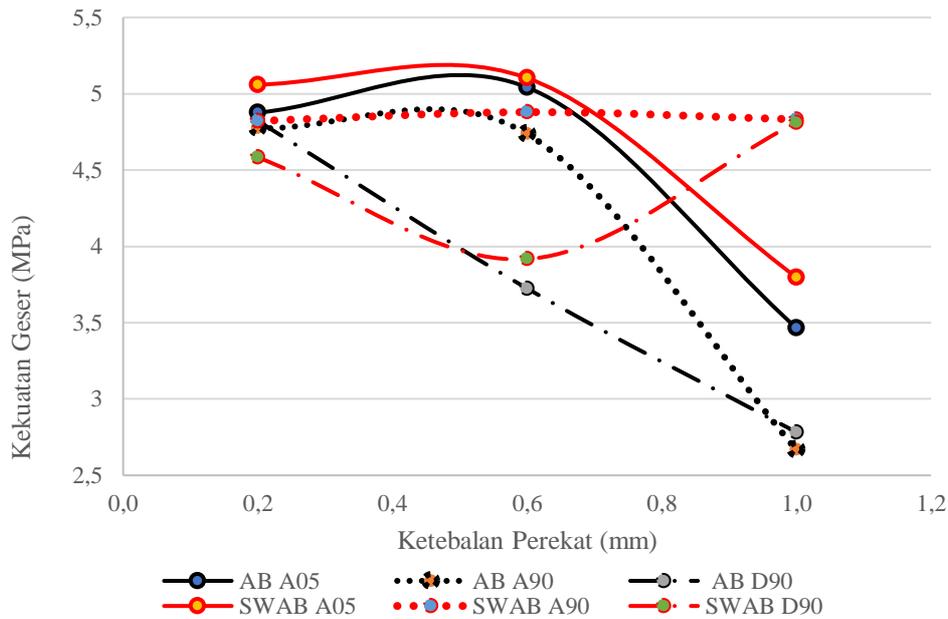


Gambar 3. Hubungan antara gaya geser dengan elongasi spesimen T02.

Tabel 1. Data hasil pengujian geser.

Kode	P max rata-rata (N)	ΔL rata-rata (mm)	σ rata-rata (MPa)
Proses Spot Welding			
SW	2948,14	4,25	500,64
Proses Adhesive Bonding			
AB A05 T02	5120,1025	3,5260	4,8763
AB A05 T06	5294,1838	3,2775	5,0421
AB A05 T10	3639,3988	1,4589	3,4661
AB A90 T02	5012,8341	4,0122	4,7741
AB A90 T06	4973,2185	2,4122	4,7364
AB A90 T10	2800,4323	0,7658	2,6671
AB D90 T02	5063,7732	3,5593	4,8226
AB D90 T06	3910,8155	1,1192	3,7246
AB D90 T10	2921,7091	0,8060	2,7826
Proses Spot Welding - Adhesive Bonding			
SWAB A05 T02	5312,8710	5,6099	5,0599
SWAB A05 T06	5358,2392	5,1038	5,1031
SWAB A05 T10	3987,8055	1,1727	3,7980
SWAB A90 T02	5063,073803	6,7944	4,8220
SWAB A90 T06	5123,806935	3,9573	4,8798
SWAB A90 T10	5073,856209	4,8509	4,8322
SWAB D90 T02	4812,245365	3,4642	4,5831
SWAB D90 T06	4113,333524	2,7185	3,9174
SWAB D90 T10	5052,702118	3,4998	4,8121

Pada tabel 1 data hasil pengujian geser menunjukkan bahwa nilai gaya geser semua proses SWAB jauh lebih besar dibandingkan dengan proses *spot welding* (Setyawan dkk, 2024). Hal ini disebabkan karena dalam sambungan *adhesive bonding*, area kontak antara material yang disambung lebih besar dan distribusi gaya lebih merata, sehingga menghasilkan kekuatan geser yang lebih besar daripada titik pengelasan pada *spot welding*. Selain itu, dengan adanya sambungan *adhesive bonding* juga dapat menyerap beban secara merata di sepanjang permukaan sambungan dan mengurangi titik-titik konsentrasi *stress* yang rentan terhadap kegagalan. Dari tabel 1 dapat dibuat gambar 4 hubungan antara kekuatan geser dengan ketebalan perekat.



Gambar 4. Hubungan antara kekuatan geser dengan ketebalan perekat.

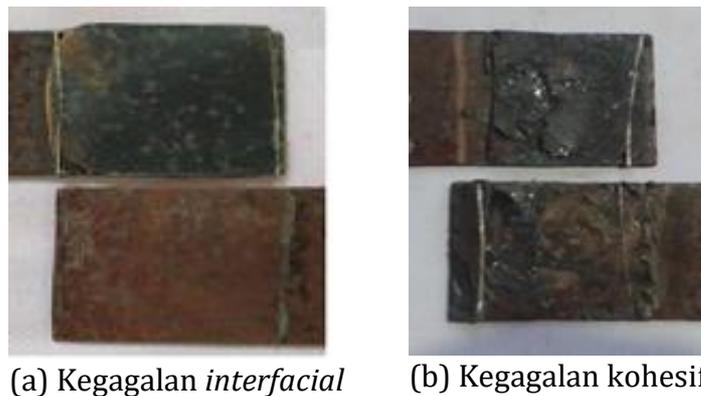
Pada gambar 4 dapat dilihat bahwa secara umum, spesimen SWAB pada garis merah memiliki nilai kekuatan geser yang lebih tinggi dibandingkan spesimen AB pada garis hitam. Pada proses perekatan terbentuknya ikatan adhesi, dimana ikatan adhesi adalah ikatan yang terjadi antara bahan perekat (*adhesive*) dan permukaan material yang disatukan dan terjadi ketika bahan perekat menempel pada permukaan dan membentuk ikatan yang kuat, baik secara mekanis maupun kimia, yang memungkinkan kedua material untuk tetap terhubung secara erat. Dengan variasi ketebalan perekat, dari perekat jenis *araldite* 5 menit nilai kekuatan geser optimum terjadi pada ketebalan 0,6 mm, sedangkan untuk perekat jenis *araldite* 90 menit nilai kekuatan geser optimum juga terjadi pada ketebalan 0,6 mm, dan untuk perekat jenis *devcon* 90 menit nilai kekuatan geser optimum juga terjadi pada ketebalan 1,0 mm. Pada proses ini, peningkatan nilai kekuatan geser terjadi antara ketebalan 0,2 mm dengan 0,6 mm, dan terjadi penurunan antara ketebalan 0,6 mm dengan 1,0 mm. Semakin besar ketebalan perekat yang digunakan maka nilai tegangan geser yang dihasilkan semakin rendah. Hal ini disebabkan karena semakin tebal lapisan perekat, semakin besar kemungkinan terjadi tegangan yang dapat menyebabkan patahnya perekat. Ketebalan yang berlebihan dapat mengakibatkan ketidakseimbangan distribusi beban, sehingga menyebabkan sambungan perekat lebih rentan terhadap patah. Menurut Broughton, *et.al* (2001), ketebalan perekat yang lebih besar dapat meningkatkan kekuatan ikatan karena menyediakan lebih banyak bahan untuk menanggung beban. Namun, terlalu tebalnya lapisan perekat juga dapat menyebabkan masalah seperti kurangnya penetrasi perekat ke dalam permukaan material atau ketidakseimbangan distribusi tekanan, yang pada akhirnya dapat melemahkan ikatan.

Pada gambar 4 juga didapatkan bahwa untuk variasi jenis perekat yang digunakan, untuk ketebalan perekat 0,2 mm nilai kekuatan geser optimum terdapat pada perekat *araldite* 5 menit. Untuk ketebalan perekat 0,6 mm nilai kekuatan geser optimum juga terdapat pada perekat *araldite* 5 menit. Sedangkan untuk ketebalan 1,0 mm nilai kekuatan geser optimum terdapat pada perekat *araldite* 90 menit. Secara

umum, pada proses ini terjadinya reaksi kimia yaitu ikatan kovalen. Pada perekat *araldite*, terdiri dari dua komponen utama yaitu resin epoksi dan pengeras (*hardener*). Saat kedua komponen ini dicampur bersama, akan terbentuk reaksi kimia untuk membentuk ikatan kovalen yang kuat, sehingga pada perekat *araldite* mampu memberikan kekuatan sambungan yang lebih baik. Sedangkan pada perekat *devcon*, pada umumnya juga akan membentuk ikatan kovalen saat mengeras. Namun dengan adanya unsur aluminium (Al) dan silikon (Si) sebagai *filler*, sehingga menghasilkan kekuatan geser yang lebih kecil. Namun, perlu penelitian lebih lanjut terkait pengaruh jenis perekat terhadap kekuatan geser.

Mode Patahan

Secara umum dalam proses sambungan baik *adhesive bonding* maupun *spot welding* memiliki kegagalan khususnya dalam mode patahan. Pada proses *adhesive bonding* terdapat patahan *kohesif*, *interfacial* dan kombinasi. Sedangkan patahan yang dialami proses *spot welding* dapat terjadi di beberapa bagian yaitu di area *nugget*, HAZ (*heat affected zone*), dan bagian *base metal*. Dalam penelitian yang dikerjakan didapatkan beberapa jenis kerusakan yang dialami seperti terdapat pada gambar 5 dan 6.



Gambar 5. Hasil patahan sambungan *adhesive bonding*.

Pada gambar 5 hasil patahan spesimen proses perekatan menunjukkan bahwa pada variasi ketebalan dan jenis perekat yang digunakan, patahan yang terjadi yaitu patahan secara *interfacial* dan kohesif. Patahan *interfacial* adalah terjadinya pelepasan ikatan antara *adhesive* dengan medianya. Secara umum, patahan *interfacial* disebabkan karena ketidaksesuaian antara perekat dengan media kontak, serta kebersihan dari permukaan area kontak. Sedangkan patahan kohesif adalah patahan yang terjadi ketika perekat gagal mempertahankan kekuatan ikatan di antara lapisan - lapisan perekatnya sendiri. Secara umum, patahan kohesif dapat disebabkan karena tegangan yang berlebihan. Pada beban yang berlebihan, tegangan di dalam perekat dapat melebihi batas kekuatan kohesifnya, menyebabkan retak atau pecah di dalam perekat.



(a) Kegagalan pada daerah nugget



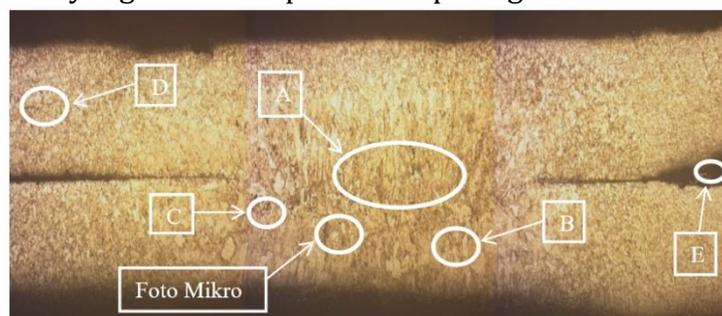
(b) Kegagalan pada daerah HAZ

Gambar 6. Hasil patahan sambungan *spot welding - adhesive bonding*.

Pada gambar 6 hasil patahan spesimen proses *spot welding - adhesive bonding* menunjukkan bahwa pada proses *adhesive bonding* kerusakan rata – rata terjadi secara *interfacial* baik itu pada variasi ketebalan maupun jenis perekat. Pada proses *spot welding* kerusakan terjadi di struktur *nugget*, hal ini disebabkan karena pada bagian *nugget* mempunyai kekuatan yang lebih rendah dibandingkan dengan bagian *base metal*, sehingga patahannya tidak terdapat sobekan/lubang. Sedangkan kerusakan pada daerah HAZ (*heat affected zone*) terjadinya sobekan/lubang pada daerah pengelasan. Hal ini disebabkan karena pada bagian *nugget* memiliki kekuatan yang lebih tinggi daripada bagian logam yang mengalami sobekan. Pada daerah ini terdapat tegangan sisa akibat proses pengelasan yaitu karena indentasi oleh elektroda dan siklus termal. Menurut penelitian oleh Anastassiou (1990) tegangan sisa pada daerah ini adalah tegangan tekan dan disini retakan pada saat penarikan terjadi.

Pengamatan Struktur Makro dan Mikro

Hasil foto makro dengan pembesaran 100 μm dapat dilihat pada gambar 7 serta cacat – cacat yang dialami dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 7. Pengamatan struktur makro spesimen SWAB A90 T06.

Dapat dilihat pada gambar 7 merupakan hasil pengamatan struktur makro dengan spesimen baja karbon rendah dengan ketebalan perekat 0,6 mm dan jenis perekat *araldite* 90 menit dimana dapat dijelaskan pada tanda panah sebagai berikut: (Haikal dkk, 2021)

- a. *Center*, adalah merupakan titik tengah pada spot welding dimana elektroda posisi atas dan bawah sejajar. Pada bagian ini tempat di mana kedua permukaan logam meleleh dan bergabung untuk membentuk sambungan.
- b. *Columnar*, mengacu pada jenis material yang memiliki struktur kristal atau mikrostruktur yang menghasilkan butiran atau struktur menyerupai kolom atau batang. Pada bagian ini umumnya melibatkan pemanasan cepat dan pendinginan cepat. Ketika logam cair dari titik las cepat mendingin, struktur kristal logam cenderung tumbuh dalam arah pendinginan. Jika pendinginan terlalu cepat, kristal memiliki lebih sedikit waktu untuk berkembang, sehingga struktur columnar terbentuk.
- c. *Finer grain*, merupakan material yang memiliki butiran atau struktur kristal yang lebih kecil. Pada bagian ini umumnya terbentuk karena kontrol suhu yang optimal. Suhu yang terlalu tinggi atau terlalu rendah dapat memengaruhi pembentukan butir.
- d. Logam induk (*base metal*), merupakan bagian logam dasar dimana pada daerah ini bagian yang tidak terkena dalam proses pengeleasan sehingga panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan - perubahan struktur dan sifat.
- e. *Adhesive*, merupakan campuran bahan yang digunakan dalam penelitian proses *hybrid spot welding - adhesive bonding*.

Pada proses pengelasan juga dapat terjadi cacat – cacat las yang dapat dilihat dari foto makro. Cacat yang terjadi pada proses penelitian ini dapat dilihat melalui struktur makro antara lain: (Kianersi, *et.al*, 2014)

- a. *Crack*, adalah retakan yang terjadi di daerah las dimana disebabkan karena terlalu banyak mendapatkan tekanan dari elektroda pada daerah pengelasan sehingga muncul tanda – tanda keretakan. Retakan pada daerah las titik mungkin menunjukkan kekuatan geser las yang rendah, karena kedua pelat tidak disambung dengan benar.



Gambar 8. Cacat *crack* spesimen SWAB A90 T02.

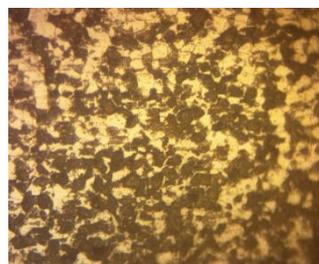


Gambar 9. Cacat *indented surfaces* spesimen SWAB A90 T10.

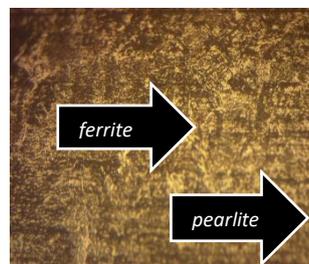
- b. *Indented surfaces*, adalah bentuk las yang tidak presisi sehingga menunjukkan lekukan dari hasil lasan. Ketika terlalu banyak tekanan yang diterapkan, resistensi terhadap arus listrik berkurang dan logam tidak mencapai suhu pengelasan yang tepat.
- c. *Void*, adalah cacat rongga yang terjadi karena kurangnya tekanan terhadap material benda kerja dan mengakibatkan *friction heat* yang dihasilkan tidak mampu melelehkan material dengan sempurna.



Gambar 10. Cacat *void* spesimen SWAB A05 T06.



(a) daerah *base metal* 400 μm



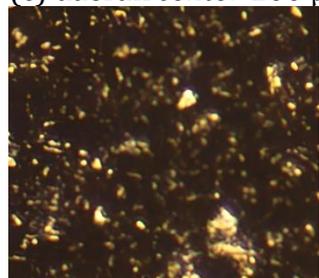
(b) daerah las foto mikro 400 μm



(c) daerah *center* 100 μm



(d) daerah *columnar* 100 μm



(e) daerah *finer grain* 100 μm

Gambar 11. Pengamatan struktur mikro spesimen SWAB A90 T06.

Pengujian struktur mikro dilakukan untuk struktur mikro dari material baja karbon rendah. Setelah dilakukan pengujian geser dan didapatkan arus listrik yang optimum untuk setiap spesimen, kemudian dilakukan pengujian foto mikro untuk mengetahui perubahan struktur mikro pada daerah las, HAZ dan logam induk. Spesimen dipotong sesuai kebutuhan kemudian dilakukan pengamatan struktur

mikro. Spesimen yang akan dilakukan pengujian mikro kemudian diampelas hingga halus selanjutnya digosok menggunakan kain beludru yang telah diberi autosol. Dari hasil pengamatan struktur mikro dapat dilihat perubahan struktur mikro yang terjadi akibat panas dari proses pengelasan. Dari gambar 4.10 didapatkan hasil struktur mikro pada daerah (a) yang tanpa mengalami pengelasan terlihat struktur *ferrite* lebih merata jika dibandingkan dengan daerah yang mengalami pengelasan. Akibatnya daerah *base metal* cenderung bersifat lebih lunak dibandingkan dengan daerah pengelasan. Sedangkan pada daerah (b) yang mengalami pengelasan dengan besar arus listrik 50 ampere dan dengan waktu pengelasan 10 detik memperlihatkan struktur yang terjadi didominasi oleh *ferrite* dan *pearlite*. Struktur *ferrite* yang berwarna terang dan struktur *pearlite* berwarna gelap. *Ferrite* mempunyai sifat yang lebih lunak bila dibandingkan dengan *pearlite*. Pada foto struktur mikro dapat dilihat terjadi perbedaan struktur mikro yang terbentuk pada daerah HAZ. Arus yang digunakan berdampak pada daerah HAZ yang semakin gelap karena struktur mikro yang terbentuk didominasi oleh struktur *pearlite*. Apabila arus yang digunakan semakin tinggi maka timbul fasa *bainite* dan *martensite* yang kekerasannya tinggi. Akibat kekerasan yang tinggi ini, maka kekuatan geser sambungan las menjadi berkurang. Selain itu, semakin tinggi arus listrik maka semakin luas/besar daerah HAZ. Hal ini dapat terjadi karena pada daerah las, panas yang diterima logam lebih besar dibandingkan dengan daerah HAZ dan daerah logam induk. Demikian juga pendinginan yang terjadi pada daerah las lebih cepat dibandingkan daerah HAZ dan logam induk, sehingga timbul rekristalisasi dan perubahan besaran butir sehingga menyebabkan menurunnya kekuatan geser.

Tabel 2. Komposisi hasil *nugget* spesimen SWAB A05 T02.

Unsur	Keterangan	Komposisi (%)
C	Karbon	0,25 ± 0,03
N	Nitrogen	0,15 ± 0,04
Mg	Magnesium	0,55 ± 0,04
Al	Aluminium	0,01 ± 0,02
Si	Silikon	0,16 ± 0,03
Mn	Mangan	0,11 ± 0,03
Ni	Nikel	0,26 ± 0,06
P	Fosfor	0,00 ± 0,06
S	Kromium	0,10 ± 0,02
Cr	Kromium	0,02 ± 0,02
Cu	Tembaga	0,06 ± 0,03
Fe	Besi	98,25 ± 1,01

Pengaruh ketebalan dan jenis perekat terhadap struktur mikro dari spesimen yaitu terdapat pada komposisi permukaan dari hasil pengelasan spesimen, sehingga diperlukan proses yang lebih teliti lagi melalui pengujian EDX (*Energy Dispersive X-ray*). Pengujian EDX dilakukan di Ruang Fisika Riset, Laboratorium Terpadu,

Universitas Islam Negeri Mataram. Hasil pengujian EDX komposisi spesimen SWAB dapat dilihat pada tabel 2.

Berdasarkan tabel 4.2 didapatkan terjadinya peningkatan unsur karbon pada daerah las spesimen SWAB A05 T02. Dimana hal ini disebabkan karena komposisi dari *adhesive* yang masuk dalam proses pengelasan sehingga unsur karbonnya juga meningkat dibandingkan dengan daerah *base metal*. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan penambahan *adhesive* mempengaruhi komposisi pada daerah las.

4. KESIMPULAN

Dalam penelitian pengaruh ketebalan dan jenis *adhesive* yang digunakan pada proses *spot welding* terhadap kekuatan geser dan struktur mikro pelat baja karbon rendah didapatkan hasil sebagai berikut:

- a. Secara umum, hasil sambungan spesimen *spot welding-adhesive bonding* (SWAB) memiliki nilai kekuatan geser yang lebih tinggi dibandingkan dengan proses *spot welding* (SW) maupun *adhesive bonding* (AB).
- b. Pengaruh ketebalan perekat pada sambungan *spot welding-adhesive bonding*, pada perekat *araldite* 5 menit kekuatan geser optimum terjadi pada ketebalan 0,6 mm sebesar 5,103 MPa. Pada perekat *araldite* 90 menit kekuatan geser optimum juga terjadi pada ketebalan 0,6 mm sebesar 4,89 MPa. Sedangkan pada perekat *devcon* 90 menit kekuatan geser optimum terjadi pada ketebalan 1,0 mm sebesar 4,81 MPa. Sehingga secara umum, kekuatan geser optimum terdapat pada ketebalan 0,6 mm.
- c. Pengaruh jenis *adhesive* pada sambungan *spot welding-adhesive bonding*, pada ketebalan perekat 0,2 mm kekuatan geser optimum terjadi pada perekat *araldite* 5 menit sebesar 5,06 MPa. Pada ketebalan perekat 0,6 mm kekuatan geser optimum terjadi pada perekat *araldite* 5 menit sebesar 5,103 MPa. Sedangkan pada ketebalan perekat 1,0 mm kekuatan geser optimum terjadi pada perekat *araldite* 90 menit sebesar 4,83 MPa. Sehingga secara umum, kekuatan geser optimum terdapat pada perekat *araldite* 5 menit.
- d. Pada pengamatan struktur makro, terbentuknya *columnar* dan *finer grain* pada daerah pengelasan. Adapun cacat - cacat yang terjadi antara lain *crack*, *idented surfaces* dan *void*.
- e. Pada pengamatan struktur mikro, struktur yang mendominasi adalah *pearlite* dan *ferrite*. Pada daerah HAZ struktur *pearlite* lebih mendominasi dibandingkan *ferrite*, sehingga sifatnya lebih ulet. Adapun melalui pengujian EDX, dengan penambahan *adhesive* berpengaruh pada komposisi di daerah *nugget*.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis pada kesempatan ini mengucapkan terimakasih kepada Allah SWT, yang telah memberikan petunjuk serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Yang kedua penulis mengucapkan terimakasih kepada bapak dan ibu dosen, serta staff akademik Jurusan Teknik Mesin Universitas Mataram atas segala ilmu, bimbingan serta fasilitas yang telah disediakan. Yang terakhir, penulis menyampaikan rasa terimakasih yang sebesar - besarnya kepada seluruh pihak yang telah membantu berupa materi, pikiran maupun do'a sehingga penelitian dan paper ini dapat terselesaikan.

6. DAFTAR NOTASI

A05	: Araldite 5 menit
A90	: Araldite 90 menit
AB	: Adhesive Bonding
AISI	: American Iron and Steel Institute
D90	: Devcon 90 menit
HAZ	: Heat Affected Zone
ISO	: International Organization of Standardization
RSW	: Resistance Spot Welding
SEM	: Scanning Electron Microscope
SS	: Stainless Steel
SWAB	: Hybrid (Spot Welding-Adhesive Bonding)
T02	: Ketebalan Perekat 0,2 mm
T06	: Ketebalan Perekat 0,6 mm
T10	: Ketebalan Perekat 1,0 mm
UTM	: Ultimate Testing Machine

7. DAFTAR PUSTAKA

1. Anastassiou. 1990. *Residual Stress and Microstructure Distribution International Spot Weld Steel Sheet : Relation with fatigue Behavior.*
2. Anis, M., Irsyadi, A., & Ferdian, D. 2009. Studi Lapisan Intermetalik Cu3Sn Pada Ujung Elektroda Dalam Pengelasan Titik Baja Galvanis. *MAKARA Journal of Technology Series, XIII(2)*, 91-95.
3. Broughton, Dr. Bill. et.al. 2001. *Geometric and Material Property Effects on the Strength of Rubber Toughened Adhesive Joints.* NPL Materials Centre National Physical Laboratory Queens Road, Teddington.
4. Fadhila, I. M., Andrianto, Y., Sifa, A., & Endrawan, T. 2019. Perancangan Mesin Rocker ARM Spot Welding. *POLBAN*, 47-52.
5. Haikal dkk. 2021. Pengaruh Parameter Pengelasan Resistance Spot Welding Terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Multi-Layer Logam Tak Sejenis Berbeda Ketebalan. *Jurnal Teknik Mesin*. Vol. 7 No.1. Universitas Sebelas Maret.
6. ISO 14273. 2016. Resistance welding destructive testing of welds specimen dimensions and procedure for tensile shear testing resistance spot and embossed projection welds. *ISO 14273*, 1-3.
7. Kianersi, Daniasl, Mostafei, A., Amadeh, A.A. 2014. Resistance Spot Welding Joints of AISI 316L Austenitic Stainless Steel Sheets: Phase Transformations, Mechanical Properties and Microstructure Characterizations. *Departemen of Materials Engineering, Science and Research Branch.* Islamic Azad University. Tehran, Iran.
8. Marques, G.P., Campilho, R.D.S.G., Silva, F.J.G., Moreira, R.D.F. 2015. *Adhesive Selection for Hybrid Spot-Welded/Bonded Single-Lap Joints: Experimentation and Numerical Analysis.* Departamento de Engenharia Mecanica, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Instituto Politecnico do Porto, Rua Dr. Antonio Bernardino de Almeida, 431, 4200-072 Porto, Portugal
9. Nugroho, E., Dharmas, U. S., & Karuniawan, S. 2018. Analisis Pengaruh Ketebalan Pelat Baja Karbon Rendah dan Lama Penekanan Pada Pengelasan Titik (Spot Welding) Terhadap Nilai Kekuatan Tarik. *Teknik Mesin Univ. Muhammadiyah Metro, VII*, 101-107.
10. Sarpan, A. D. 2021. Studi Simulasi Pada GNP Adhesive-Bonded, Resistance Spot Welded Dan Weld-Bonded Joints. *Universitas Kuala Lumpur*, 6-20.

11. Setyawan P.D., Suniartha I.M., Sugiman, Sinarep. 2024. Karakterisasi Kekuatan Geser dan Struktur Mikro Hasil Spot Welding Pelat Baja Karbon Rendah. *Jurnal Energy, Materials and product Design*. No. 2 Vol. 3.
12. Sinarep. 2003. Pengaruh Perbedaan Gaya Elektroda Terhadap Kekerasan dan Kekuatan Tarik dengan Metode Spot Welding Pada Pelat Baja SUS 301 dan SUS 304. *Rekayasa*. Vol. 4, Hal 56-63.
13. White, C., Tan, K., Wolf, A., & Carbary, L. 2010. Advances in structural silicone adhesives. *Advances in structural adhesive bonding*, 66-95.
14. Zhao, Y., Zhang, Y., & Lai, X. 2018. Pengaruh Epoxy Adhesive terhadap Pembentukan Nugget di Pengelasan.