

ANALISIS PENGUJIAN BAHAN MATERIAL BAJA MENGUNAKAN METODE LAS TERHADAP GERAKAN ELEKTRODA : *LITERATURE REVIEW*

Galih Wibisono^{1*}, Sahal Ahmad Albab², Bz. Septeyawan Abdullah³,
Akhdad Dwi Wijnarko⁴

^{1,2} Universitas Al Hikmah Jepara, Teknik mesin

³ Universitas PGRI Palembang, Pendidikan Vokasional Teknologi Otomotif

⁴ Mahasiswa Universitas Al Hikmah Jepara, Teknik mesin

*E-mail: galih.ngawi@gmail.com

ABSTRAK

Faktor penting yang mempengaruhi pengujian bahan adalah gerakan elektroda. Apabila terjadi kesalahan pada gerakan elektroda, maka mengakibatkan cacat las sehingga membuat pengujian bahan tidak maksimal. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mereview pengujian bahan menggunakan metode las terhadap gerakan elektroda. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *systematic literature review*. Hasil penelitian menunjukkan kualitas pengujian bahan dipengaruhi gerakan elektroda yang dapat dibuktikan uji kekerasan mencapai titik maksimum. Aspek lain yang mempengaruhi pengujian bahan terdiri dari perlakuan panas, *multiple repair*, permukaan logam, media *quenching*, kuat arus, jenis elektroda, posisi las, jenis kampuh. Diperlukan pengembangan penelitian selanjutnya agar dapat ditinjau kembali mengenai pengujian bahan untuk mencapai nilai kekerasan yang maksimal.

Kata kunci: Pengujian Bahan, Gerakan Elektroda, Pengelasan.

ABSTRACT

An important factor that influences material testing is the movement of the electrode. If there is an error in the electrode movement, it will result in welding defects, thus making material testing suboptimal. The purpose of this study is to review material testing using welding methods in relation to electrode movements. The method used in this study is a systematic literature review. The results of the study indicate that the quality of material testing is influenced by electrode movement, which can be proven by hardness tests reaching maximum points. Other factors influencing material testing include heat treatment, multiple repairs, metal surface, quenching media, current strength, electrode type, welding position, and joint type. Further research development is necessary to revisit material testing to achieve maximum hardness values.

Keyword : Material Testing, Electrode Movement, Welding.

PENDAHULUAN

Peran penting pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi (IPTEK) adalah untuk mempercepat kemajuan bangsa dan keberhasilan pembangunan sumber daya masyarakat. Kualitas kemajuan bangsa dan keberhasilan pembangunan dapat di lihat dari perluasan kesempatan kerja, kesejahteraan, dan pembangunan ekonomi. Proporsi tenaga kerja pada beberapa sektor industri logam sebesar 0,17%, industri mesin sebesar 0,16%, industri kendaraan ringan sebesar 0,16% (bps). Hal ini berpeluang untuk membuka kesempatan kerja di bidang sektor industri. Kesejahteraan masyarakat masih rendah dapat di lihat dari tingkat pengangguran terbuka sebesar 5,57%, sedangkan tingkat partisipasi angkatan kerja sebesar 72,04% (BPS, Tingkat Pengangguran terbuka, 2020). Laju pertumbuhan ekonomi meningkat 5,11% pada sektor industri. Hal ini menggambarkan kemajuan IPTEK mempengaruhi keberhasilan pada pembangunan masyarakat.

Beberapa industri yang sedang meningkat yaitu sektor logam dan sektor manufaktur. Industri logam memproduksi pengolahan bijih besi menjadi baja yang telah dibentuk melalui proses penempaan, pengerolan, dan pengecoran. Laju pertumbuhan ekonomi pada sektor logam yaitu sebesar 16,57% (BPS, Pertumbuhan Ekonomi, 2024). Industri manufaktur memproduksi bahan mentah menggunakan teknologi pemesinan seperti bubut, CNC, dan las dalam skala besar. Laju pertumbuhan ekonomi pada sektor manufaktur yaitu sebesar 2,68%. Pembuatan konstruksi dengan logam pada masa sekarang ini banyak melibatkan proses pengelasan khususnya bidang perancangan mesin. Pengelasan merupakan salah satu metode untuk membuat rancangan mesin yang memerlukan kekuatan tinggi bagi pengelasnya agar diperoleh sambungan dengan kualitas baik. Lingkup penggunaan teknik pengelasan dalam konstruksi sangat luas meliputi perkapalan, jembatan, rangka baja, rel, pipa saluran dan lain sebagainya.

Beraneka ragam jenis baja terdiri dari baja karbon rendah, baja karbon sedang, dan baja karbon tinggi. Baja karbon rendah adalah baja yang memiliki komposisi karbon kurang dari 0,30% dan mempunyai struktur yang mudah dibentuk seperti baja ST 37, baja ST 42, baja ASTM a36 dll. Baja karbon sedang adalah baja yang memiliki komposisi karbon antara 0,30%-0,60% dan mempunyai sifat mekanik yang sukar dibentuk. Baja karbon tinggi adalah baja yang memiliki komposisi karbon antara 0,60%-1,00% dan memiliki sifat mekanik yang keras namun rentan terhadap korosi. Baja-baja yang diproduksi oleh industri logam akan diproses kembali melalui teknologi pemesinan salah satunya adalah pengelasan.

Berdasarkan macam-macam pengelasan dapat diklasifikasikan menjadi tujuh kelompok yaitu Oxy Acetylene Welding (OAW), Shielded Metal Arc Welding (SMAW), Gas Tungsten Arc Welding (GMAW), Gas Tungsten Arc Welding (GTAW), Flux Core Arc Welding (FCAW), Submerge Arc Welding (SAW). Salah satu pengelasan yang sering digunakan secara umum adalah SMAW dimana busur nyala api menggunakan energi listrik menjadi energi panas untuk mencairkan logam. Las SMAW di lihat dari arusnya dibedakan menjadi tiga macam yaitu arus searah atau Direct Current (DC), arus bolak-balik atau Alternating Current (AC) dan las arus ganda yang merupakan mesin las yang dapat digunakan untuk pengelasan dengan arus searah (DC) dan pengelasan dengan arus bolak-balik (AC). Arus DC memiliki cara kerja terdiri dari dua yaitu polaritas lurus dan polaritas terbalik. Polaritas lurus (DC-) digunakan apabila kapasitas besar, untuk pemegang elektrodanya dihubungkan dengan kutub negatif dan logam induk dihubungkan dengan kutub positif. Polaritas terbalik (DC+) digunakan apabila kapasitas kecil, untuk pemegang elektrodanya dihubungkan dengan kutub positif dan logam induk dihubungkan dengan kutub negatif. Pada saat akan memilih DC polaritas negatif atau positif adalah elektroda yang digunakan. Beberapa jenis elektroda las dibuat hanya DC- atau DC+. Elektroda lain dapat menggunakan keduanya baik DC- maupun DC+.

Pergerakan elektroda las juga dapat mempengaruhi hasil pengelasan. Gerakan elektroda menjadi pilihan pribadi pengelas sendiri tanpa memperhatikan kekuatan lasnya. Akibatnya hasil pengelasan memiliki kekuatan yang mudah patah karena salah gerakan. Ada perbedaan mengenai gerakan elektroda yaitu gerakan spiral dan zig-zag. Gerakan spiral membuat elektroda berputar mengayun sepanjang lintasan pengelasan. Gerakan zig-zag membuat elektroda bergerak mengatun kanan-kiri sepanjang lintasan. Walaupun berbeda teknik gerakan, tetapi tujuannya sama yaitu mendapatkan deposit logam las dengan permukaan yang rata dan halus. Gerakan elektroda merupakan unsur penting untuk menentukan sifat kekerasan atau kekuatan tarik.

METODE PENELITIAN

Penulis mencari artikel di beberapa *website* seperti Google Scholar, Science Direct, dan Directory of Open Access Journals. Tujuh tahapan untuk melaksanakan kajian literature review yaitu terdiri dari; 1) Identifikasi pertanyaan penelitian; 2) Identifikasi jenis penelitian; 3) Identitas dokumen lengkap; 4) Menyortir hasil pencarian; 5) mengevaluasi secara kritis studi; 6) Sintesis kajian; 7) Diseminasi hasil review artikel. Sumber data yang digunakan sebagai referensi pada *literature review* jurnal ini adalah melakukan kajian dari beberapa artikel ilmiah yang relevan dengan analisis pengujian bahan terhadap gerakan pengelasan.

Artikel yang dikaji pada *systematic literature review* ini adalah penelitian analisis korelasi, analisis komparatif, dan analisis deskriptif. Analisis korelasi digunakan peneliti untuk mengetahui kedua hubungan antara variabel. Analisis komparatif digunakan peneliti untuk membandingkan antara variabel bebas dan variabel terikat. Analisis deskriptif digunakan untuk memberi gambaran berdasarkan fakta sesuai dengan kenyataan. Sehubungan dengan pendekatan *systematic literature review*, penulis melakukan sintesis terhadap beberapa artikel yang menyediakan data secara lengkap sehingga menemukan teori yang baru.

HASIL DAN PEMBAHASAN

HASIL

Hasil penelitian ini dikaji dalam dua bentuk yaitu inklusi dan eksklusi. Inklusi merupakan karakteristik untuk mengidentifikasi kajian ilmiah yang diikutsertakan dalam penelitian. Eksklusi merupakan karakteristik untuk mengidentifikasi kajian ilmiah yang tidak boleh diikutsertakan dalam suatu penelitian. Sebagaimana yang dimaksud inklusi, kajian ilmiah yang termasuk dalam kriteria inklusi adalah penelitian menjangkau analisis pengujian bahan terhadap gerakan elektroda dan jurnal 8 tahun terakhir. Sebagaimana yang dimaksud eksklusi, kajian ilmiah yang tidak termasuk dalam kriteria eksklusi adalah penelitian membahas diluar pengujian bahan terhadap gerakan elektroda dan jurnal 8 tahun terakhir.

Penulis mencari 50 artikel yang sesuai dengan kata kunci “analisis pengujian bahan” di *Google Scholar, Science Direct, dan Directory of Open Access Journals*. Sebanyak 25 artikel dikeluarkan karena tidak ada artikel teks lengkap yang tersedia. Sebanyak 5 artikel dikeluarkan karena tidak memenuhi kriteria inklusi dan duplikasi. Oleh karena itu, kelayakan artikel yang dapat diperoleh untuk penelitian selanjutnya yaitu sebanyak 20 artikel. Hasil analisa pengujian bahan dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 1. Artikel pengujian bahan

No	Nama penulis	Judul	Sumber data	Hasil
1	Adriano Da Silva De Yesus	Analisis uji tarik dan metalografi sifat mekanik besi tuang kelabu (fc-20) dengan proses heat treatment	Uji tarik	Besi cor FC-20 tanpa perlakuan mengalami penurunan kekuatan tarik lebih rendah daripada kekuatan regangan. Sedangkan pendinginan air garam mengalami kenaikan kekuatan tarik lebih tinggi daripada kekuatan regangan.
2	Idra Putra	Analisis kekuatan tarik dan impact hasil sambungan las gesek pada baja st 37	Uji tarik dan uji impact	Hasil uji tarik dalam waktu 80 detik yaitu 398,23 MPa. Hasil uji impact dalam waktu 90 detik yaitu 813,75 N/m.
3	I Ketut Rimpung	Pengaruh perlakuan panas terhadap kekerasan baja (st. 42) dengan temperatur pemanasan 800°C, metode brinell, di laboratorium uji bahan politeknik negeri bali	puntir, gesek, tarik, bengkok, dan beban tumbuk.	Adanya ketidaksesuaian antara teori dibandingkan dengan fakta hasil pengujian yaitu; baja yang dikeraskan melalui pemanasan 800°C dan didinginkan cepat menggunakan air tawar, ternyata menjadi lebih ulet/lunak dibandingkan dengan baja (St.42standar), sedangkan baja yang

				dilunakkan hasil pengujiannya sesuai dengan teori.
4	Gani Trisdyanto	Analisa pengaruh variasi multiple repair dan tanpa repair pada pengelasan fcaw baja karbon jis g3106 sm 490 yb terhadap sifat mekanik	uji tarik, uji lengkung dan uji kekerasan	Pengujian tarik repair pada memiliki kekuatan tarik yang lebih tinggi dibanding tanpa repair. Uji lengkung tidak memiliki pengaruh antara perlakuan repair dengan tanpa repair terhadap sifat mekanik. Uji kekerasan nilai rata – rata kekerasan tertinggi terdapat pada area weld metal repair 3x dengan nilai 83,1 (HRB), sedangkan nilai rata – rata kekerasan terendah terdapat pada area base metal tanpa repair dengan nilai 64,8 (HRB)
5	Nanang Sufiadi Ahmad	Pengaruh Tingkat Kekasaran Permukaan Terhadap Struktur Mikro Dan Kekuatan Mekanik Sambungan Baja Karbon Dan Tembaga Menggunakan CuZnCd	Uji mekanik	Kekuatan tarik maksimum mencapai 7741,8854 N/mm ² pada Ra 0,13 yang membuat permukaan semakin halus. Dapat disimpulkan kekasaran permukaan logam mempengaruhi kekuatan sambungan.
6	Ahda Arifah	Efek Post Weld Heat Treatment terhadap Sifat Mekanik AISI 316 Hasil Pengelasan GTAW	Uji kekerasan dan uji tarik	Hasil dari uji kekerasan mikro bagian lasan tertinggi 500,5 HV dan terendah 302,1 HV, sedangkan hasil uji kekuatan tarik tertinggi 520 N/mm ² dan terendah 411,3 N/mm ² . Parameter holding time pada proses PWHT berpengaruh terhadap kekerasan mikro dan kekuatan tarik material.
7	Warso	Pengaruh Variasi Colling pada Pengelasan GMAW Terhadap Uji Tarik dan Uji Kekerasan pada Baja ST 60	Uji tarik dan uji kekerasan	Hasil uji tarik spesimen pendingin air garam adalah 490.23 Mpa, sedangkan uji regangan tarik adalah 35.45 Mpa. Hasil uji kekerasan spesimen Oli 208.3 HVN, Air garam 231.0 HVN, Air dromus 215.5 HVN, dan Udara bebas 228.0 HVN . Dari nilai rata-rata kekerasan HVN nilai tertinggi yang teramati adalah spesimen Air garam sebesar 231.0 HVN.
8	Enos Tambing	Analisis Pengaruh Arus Listrik dan Elektroda Terhadap Kekuatan dan Kekerasan pada Proses Pengelasan SMAW Baja Karbon Rendah	Uji tarik dan uji kekerasan	Hasil menunjukkan bahwa panas yang dihasilkan arus listrik berdampak signifikan pada perubahan kekuatan dan kekerasannya.
9	Muhammad Halim Asiri	Analisis Kekerasan / Bending Tes Dan Struktur Mikro Terhadap Pengelasan SMAW Pada Material Hardox 400 Dengan ASTM A36	Uji tarik dan uji kekerasan	Hasil menunjukkan bahwa kekuatan bending, nilai kekerasan dan struktur mikro memiliki pengaruh signifikan terhadap pengelasan SMAW yang berdampak pada diisimlar kekerasan pada material hardox 400 dan ASTM A36
10	Ian Niko Iswara Sihombing	Pengaruh posisi pengelasan dan bentuk kampuh terhadap kekuatan tarik dan	Uji tarik dan regangan	Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa ditinjau dari posisi pengelasan, sambungan las menggunakan posisi 3G

		mikrografi sambungan las metal inert gas (mig) pada aluminium 6061 sebagai bahan material kapal		menghasilkan kualitas sambungan yang lebih baik dari posisi 2G.
11	Leo Pranata Ketaren	Analisa Pengaruh Variasi Kampuh Las dan Arus Listrik Terhadap Kekuatan Tarik Dan Struktur Mikro Sambungan Las GMAW (Gas Metal ARC Welding) Pada Aluminium 6061	Uji tarik	Penelitian ini menunjukkan bahwa sambungan las aluminium 6061 menggunakan pengelasan GMAW (Gas Metal ARC Welding) kampuh V menghasilkan kualitas sambungan yang lebih baik dari pengelasan GMAW (Gas Metal ARC Welding) kampuh X.
12	Chandra Wijaya Panggabeh	Pengaruh Variasi Arus Dan Polaritas Terhadap Kekuatan Tarik, Tekuk dan Kekerasan Hasil Las SMAW (Shielded Metal Arc Welding) Pada Baja SS 400	Uji tarik, tekuk dan kekerasan	Arus DCEP nilai kekuatan tarik, tekuk dan kekerasan lebih besar dibandingkan dengan nilai DCEN pada tiap arus las.
13	Yeni Ratih Pratiwi	Pengaruh jenis elektroda dan jumlah pass terhadap uji kekerasan hasil pengelasan dan struktur mikro pada proses pengelasan shielded metal arch welding	Uji kekerasan	Jenis elektroda yang digunakan untuk pengelasan sangat berpengaruh terhadap kekerasan dari baja yang dilas. Jumlah layer dan jumlah pass yang digunakan dalam pengelasan sangat berpengaruh terhadap kekerasan dari baja hasil las. Jenis elektroda dan jumlah pass sangat mempengaruhi nilai kekerasan dan struktur mikro.
14	Hanif Khotibul Umam	Pengaruh gerakan pola las zigzag, melingkar, u terhadap uji liquid penetrant pada pengelasan 3g GMAW	<i>non destructive test</i>	Pengaruh pola las zig zag menunjukkan dua hasil penelitian. Pertama menghasilkan jenis cacat las adalah <i>underfill</i> dan <i>undercut</i> . Kedua menghasilkan jenis cacat las adalah <i>incomplete</i> dan <i>pin hole</i> . Pengaruh pola las melingkar menunjukkan dua hasil penelitian. Pertama menghasilkan jenis cacat las terdiri dari <i>incomplete fusion</i> , <i>underfill</i> , dan <i>pin hole</i> . Kedua menghasilkan jenis cacat las terdiri dari <i>underfill</i> dan <i>incomplete fusion</i> .
15	Iman Saefuloh	Analisa pengaruh pola gerak elektroda dan kuat arus terhadap kekuatan tarik, kekerasan, dan struktur mikro baja SS400	Uji kekerasan dan uji tarik	Hasil pengujian Tarik pada pengelasan pola zig zag 90 A memiliki nilai tertinggi yaitu 487.5 N/mm ² . Pengaruh pola gerak las dan kuat arus terhadap nilai kekerasan baja SS400 memiliki nilai tertinggi yaitu 209.3333 HVN, hal itu menunjukkan bahwa pola gerakan elektroda memberikan pengaruh yang nyata terhadap hasil pengelasan.
16	Benny Lesmana	Pengaruh gerakan elektroda pada pengelasan smaw terhadap kekuatan	Uji tarik	Hasil penelitian menunjukkan patahan yang mengarah pada kegetasan pada baja karbon rendah. Hal ini mengacu pada ferit, perlit,

		tarik dan struktur mikro pada baja karbon rendah		dan lekukan di mana foto mengungkapkan struktur mikro dari area rekahan. Posisi pengelasan berpengaruh signifikan terhadap hasil kuat tarik pada posisi 1G sebesar 450,6 M.Pa dengan pergerakan elektroda zigzag, nilai kuat tarik tertinggi pada titik 3G sebesar 447,1 M.Pa dengan elektroda spiral.
17	Bahdin Ahad Badia	Analisa variasi gerakan elektroda pada hasil las material baja karbon rendah ST37 terhadap kekuatan bending dan kekerasan	<i>Bending test</i>	Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengujian bending sambungan las gerakan elektroda lurus sebesar 443,469 N/mm ² lebih tinggi daripada gerakan elektroda zigzag sebesar 326,979 N/mm ² .
18	Wihelmus Konsuci	Analisis Pengaruh Variasi Arus dan Ayunan Pengelasan SMAW pada Baja AISI 1040 terhadap Laju Korosi dan Kekerasan	Uji korosi dan uji kekerasan	Hasil dari penelitian ini mendapatkan nilai rata-rata laju korosi terendah sebesar 6,09 mpy terdapat pada gerakan spiral. Sedangkan uji kekerasan terendah sebesar 185,40 kg/mm ² terdapat pada gerakan zig zag dengan arus 90A dan nilai tertinggi sebesar 284,99 kg/mm ² terdapat pada gerakan spiral dengan arus 90A.
19	Yuspian Gunawan	Analisa kekuatan mekanis sambungan las menggunakan pola ayunan melingkar dan zigzag pada baja carbon sedang	Uji tarik dan uji regangan	Hasil pola ayunan zigzag dengan nilai tertinggi yaitu 471.8716 MPa dan regangan sebesar 25.8388 %, sedangkan pengelasan gerak elektroda melingkar dengan nilai terendah yaitu 399.2234 MPa, dan regangan sebesar 16.9443 %.
20	Muhammad Halim Asiri,	Studi kekuatan sambungan las terhadap material baja TRS 500 menggunakan variasi gerakan elektroda	Uji tarik dan kekerasan	Dari pengujian hasil pengelasan terdiri dari variasi gerakan elektroda yaitu lurus, zig-zag, dan melingkar. Gerakan elektroda lurus mendapatkan kekuatan tarik tertinggi yaitu 728.17 MPa dan regangan sebesar 13.17%. Gerakan elektroda zig-zag mendapatkan kekuatan tarik terendah yaitu 672.83 MPa dan regangan sebesar 13.21%. Gerakan elektroda melingkar mendapatkan nilai kekerasan terendah yaitu 69.10 N/mm ² daripada gerakan elektroda lurus tertinggi 70.40 N/mm ² .

PEMBAHASAN

Dari beberapa artikel ilmiah yang ditelaah secara analitis, penulis akan melakukan sintesis untuk menemukan pengetahuan yang baru agar dapat dikembangkan analisis pengujian bahan. Sintesis membuka peluang untuk mendapatkan informasi atau mengkritik penelitian dari sudut pandang lain. Terdapat 20 artikel yang telah dipilih oleh penulis sesuai dengan pembahasan tentang pengujian bahan terhadap gerakan elektroda.

Artikel pertama membahas tentang baja (FC-20) terhadap kekuatan tarik dan struktur makro dengan proses perlakuan panas. Informasi yang didapatkan adalah media *quenching* seperti air garam, air es, dan oli memenuhi uji tarik pada baja FC-20 yang disebabkan atom karbon tidak sempat berdifusi keluar dan terjebak dalam struktur kristal dan membentuk struktur tetagonal di ruang kosong yang membuat kekerasannya meningkat (Yesus & Soebiyakto, 2018). Berbeda dengan artikel kedua membahas tentang sambungan las gesek terhadap uji tarik dan *impact*. Informasi yang didapatkan adalah sambungan las gesek memenuhi uji tarik dengan kekuatan mencapai maksimal (Putra & K, 2019).

Artikel ketiga membahas tentang analisis kekerasan baja St.42 dibandingkan dengan baja jenis yang sama setelah mendapat perlakuan panas untuk dikeraskan maupun baja yang dilunakkan. Informasi yang didapatkan adalah pengaruh perlakuan panas tidak memenuhi uji kekerasan yang hasilnya lebih rendah dibandingkan dengan kekerasan baja standar (Rimpung, 2016). Berbeda dengan artikel keempat membahas tentang pengelasan FCAW menggunakan elektroda K-71T dengan memvariasikan perlakuan tanpa *repair* dan *repair* 1x, 2x, 3x. Informasi yang didapatkan adalah pengaruh variasi *multiple repair* memenuhi uji tarik yang hasilnya sifat keuletan material menjadi getas (Trisdianto & Choifin, 2019).

Artikel kelima membahas tentang pengaruh sifat permukaan logam dasar terhadap struktur mikro dan kekuatan mekanik sambungan antara baja karbon dan tembaga. Informasi yang didapatkan adalah tingkat kekasaran permukaan memenuhi uji tarik yang hasilnya meningkat ketika permukaan semakin halus (Ahmad & Winardi, 2019). Berbeda dengan artikel keenam membahas tentang pengaruh parameter *holding time* terhadap kekerasan mikro dan kekuatan tarik. Informasi yang didapatkan adalah parameter *holding time* memenuhi uji kekerasan mikro dan kekuatan tarik material (Arifah & Ruswanto, 2020).

Artikel ketujuh membahas tentang pengaruh temperatur media pendingin oli, air garam, air dromus, dan udara bebas pada pengelasan GMAW terhadap uji tarik baja ST 60. Informasi yang didapatkan adalah media air garam memenuhi uji tarik dan kekerasan (Warso, Wibowo, & Pratiwi, 2021). Berbeda dengan artikel kedelapan yang membahas tentang evaluasi kekuatan hasil pengelasan serta kekerasan permukaan zona spesimen. Informasi yang didapatkan adalah kuat arus listrik dan jenis elektroda memenuhi uji tarik dan uji kekerasan pada baja karbon rendah (Tambing, Pagasis, Ranteallo, Mangallo, Siregar, & Agustinus, 2024).

Artikel kesembilan membahas tentang kekuatan bending, nilai kekerasan dan struktur mikro pada penyambungan dengan berbedah material atau dissimilar metal antara hardox 400 dan ASTM A36. Informasi yang didapatkan adalah metode pengelasan SMAW pada material hardox 400 dan ASTM memenuhi uji tarik, uji bending, dan struktur mikro dibandingkan dengan material specimen normal (Asiri, Muhammad Halim, 2021). Berbeda dengan artikel kesepuluh yang membahas tentang perbandingan kekuatan tarik, dan perubahan struktur mikro pada material aluminium 6061 setelah dilakukan pengelasan menggunakan pengelasan MIG dengan variasi posisi yang digunakan yaitu 2G dan 3G. Informasi yang didapat adalah posisi pengelasan, sambungan las menggunakan posisi 3G menghasilkan kualitas sambungan yang lebih baik dari posisi 2G (Sihombing, Budiarto, & Zakki, 2019).

Artikel kesebelas membahas tentang perbandingan antara kekuatan tarik dan perubahan struktur mikro terhadap variasi kampuh yang berbeda dan variasi arus listrik yang digunakan 180 A, 200 A, dan 220 A. Informasi yang didapatkan adalah sambungan las aluminium 6061 menggunakan pengelasan GMAW kampuh V menghasilkan kualitas sambungan yang lebih baik dari pengelasan GMAW kampuh X (Ketaren, Budiarto, & Wibawa, 2019). Berbeda dengan artikel keduabelas yang membahas tentang kekuatan tarik, tekuk dan kekerasan terhadap sambungan las baja SS400 dengan variasi arus dan polaritas pengelasan SMAW. Informasi yang didapat adalah arus DCEP nilai kekuatan tarik, tekuk dan kekerasan lebih besar dibandingkan dengan nilai DCEN pada tiap arus las (Panggaben, Budiarto, & Santosa, 2021).

Artikel ketigabelas membahas tentang pengaruh elektroda dan jumlah pass terhadap uji kekerasan hasil pengelasan pada proses pengelasan SMAW. Informasi yang didapatkan adalah jenis elektroda dan jumlah pass memenuhi uji kekerasan baja (Pratiwi & Wibowo, 2019). Berbeda dengan artikel keempatbelas yang membahas tentang pengujian tidak merusak atau non destructive test (NDT), yaitu *penetrant test*. Informasi yang didapatkan adalah pola gerakan zig-zag memenuhi uji penetrant test (Umam, Suwignyo, & Bahtiar, 2023).

Artikel kelimabelas membahas tentang pengaruh pola gerakan elektroda dan kuat arus terhadap sifat mekanik dari baja SS400. Informasi yang didapatkan adalah pola gerakan zig-zag memenuhi uji tarik dibandingkan dengan pola gerakan melingkar (Saefuloh, Setiawan, Istiqlaliyah, Wijoyo, & Ulum, 2019). Sebanding dengan artikel keenambelas yang membahas tentang kuat tarik baja karbon rendah terhadap pergerakan elektroda las SMAW. Informasi yang didapatkan adalah pola gerakan zig-zag dan melingkar memenuhi uji tarik berpengaruh signifikan (Lesmana, Fauzi, & Cahyadi, 2023).

Artikel ketujuhbelas membahas tentang kekuatan bending dan kekerasan pada sambungan hasil pengelasan dengan berbagai variasi gerakan elektroda lurus, gerakan elektroda melingkar, dan gerakan elektroda zigzag (Badia, Asiri, & Husen, 2021). Informasi yang didapatkan adalah variasi gerakan elektroda memenuhi uji tarik dan uji kekerasan. Sebanding dengan artikel kedelapanbelas membahas tentang variasi arus pengelasan dan ayunan elektroda terhadap uji laju korosi dan uji kekerasan pada baja AISI 1040. Informasi yang didapatkan adalah arus pengelasan dan gerakan elektroda mempengaruhi laju korosi, serta memenuhi uji kekerasan pada material dan serta adanya siklus termal (Konsuci, Rosidah, Suheni, & Pranatal, 2024).

Artikel kesembilanbelas membahas tentang kekuatan tarik, modulus elastisitas dan kekuatan bending sambungan las dengan gerakan melingkar dan zigzag. Informasi yang didapatkan adalah kekuatan tarik tertinggi terdapat pada gerakan zig-zag, sedangkan kekuatan tarik terendah terdapat pada gerakan melingkar. Modulus elastisitas tertinggi terdapat pada gerakan melingkar, sedangkan modulus elastisitas terendah terdapat pada gerakan zig-zag. Uji bending tertinggi terdapat pada gerakan zig-zag, sedangkan uji bending terendah terdapat pada gerakan melingkar (Gunawan, et al., 2019). Sebanding dengan artikel kedua puluh membahas tentang kekuatan sambungan las jenis single V-butt joint dengan menggunakan gerakan elektroda lurus, gerakan elektroda melingkar, dan gerakan elektroda zigzag. Informasi yang didapatkan adalah kekuatan tarik tertinggi terdapat pada gerakan elektroda lurus, sedangkan kekuatan tarik terendah terdapat pada gerakan elektroda zig-zag. Uji kekerasan tertinggi terdapat pada gerakan elektroda lurus, sedangkan uji kekerasan terendah terdapat pada gerakan elektroda melingkar (Asiri, Husen, Badia, & Syafrun, 2020).

Merujuk pada pembahasan artikel diatas, penulis berpendapat kualitas pengujian bahan dapat dipengaruhi oleh gerakan elektroda. Variasi gerakan elektroda yang terdiri dari lurus, zig-zag, dan melingkar memiliki pengaruh yang berbeda terhadap pengujian bahan. Salah satu gerakan elektroda yang telah memenuhi pengujian bahan adalah gerakan elektroda zig-zag karena memiliki kekuatan tarik maksimum diantara gerakan elektroda lainnya.

Melihat dari sudut pandang lain, kualitas pengujian bahan ternyata juga berpengaruh terhadap variabel lain meskipun memiliki perbedaan hasil. Variabel lain yang dimaksud terdiri dari perlakuan panas, *multiple repair*, permukaan logam, media *quenching*, kuat arus, jenis elektroda, posisi las, jenis kampuh. Hal ini menambah pengetahuan baru terkait dengan pengujian bahan terhadap variabel tersebut yang terbukti ada korelasi positif dimana pola gerakan elektroda, maka kekuatan tarik mencapai maksimum. Ditemukan pula metode pengujian bahan *non destruktif*, yaitu *penetran test* untuk mengetahui kekuatan pola gerakan elektroda.

KESIMPULAN

Pengujian bahan sering digunakan untuk mengukur kekuatan spesimen logam. Pengujian bahan terdiri dari destruktif test dan non destruktif test. *Destruktif test* merupakan pengujian dengan cara merusak. *Non destruktif test* merupakan pengujian dengan cara tidak merusak. Katagori destruktif test terdiri dari uji tarik, uji kekerasan, dan uji bending. Katagori *non destruktif test* terdiri dari uji *liquid*, *penetran test*, dan visual test. Berbagai macam variabel yang mendukung pengujian bahan selain gerakan elektroda, yaitu terdiri dari perlakuan panas, *multiple repair*, permukaan logam, media *quenching*, kuat arus, jenis elektroda, posisi las, jenis kampuh.

Ada beberapa artikel yang perlu dikritik seperti uji bending, uji kekerasan, dan uji impact mencapai titik terendah. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor yaitu cacat pengelasan, salah gerakan, rongga pengelasan. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan penelitian selanjutnya yang memperhatikan kelemahan-kelemahan tersebut. Diharapkan agar dapat mengkaji kembali secara ilmiah tentang pengujian bahan untuk mendapatkan nilai kekerasan yang maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, N. S., & Winardi, Y. (2019). Pengaruh Tingkat Kekasaran Permukaan Terhadap Struktur Mikro dan Kekuatan Mekanik Sambungan Baja Karbon dan Tembaga Menggunakan CuZnCd. *Multitek Indonesia: Jurnal Ilmiah* , 13 (1), 1-8.
- Arifah, A., & Ruswanto, S. (2020). Efek Post Weld Heat Treatment terhadap Sifat Mekanik AISI 316 Hasil Pengelasan GTAW. *Jurnal Mekanik Terapan* , 1 (2), 81-87.
- Asiri, M. H. (2021). Analisis Kekerasan / Bending Tes Dan Struktur Mikro Terhadap Pengelasan SMAW Pada Material Hardox 400 Dengan ASTM A36. *PATRIA ARTHA Technological Journal* , 5 (1), 98-106.
- Asiri, M. H., Husen, M., Badia, B. A., & Syafrun, M. (2020). Studi kekuatan sambungan las terhadap material baja TRS 500 menggunakan variasi gerakan elektroda. *Jurnal Polimesin* , 18 (2), 82-90.
- Badia, B. A., Asiri, M. H., & Husen, M. (2021). Analisa variasi gerakan elektroda pada hasil las material baja karbon rendah ST37 terhadap kekuatan bending dan kekerasan. *Jurnal Polimesin* , 19 (1), 53-60.
- BPS. (2024). *Pertumbuhan Ekonomi*. Retrieved Juni 20, 2024, from <https://www.bps.go.id/id:https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/MTA0IzI=/pertumbuhan-ekonomi--triwulan-i-2024.html>
- BPS. (2020, April 20). Tingkat Pengangguran terbuka. *Kompas* , p. 2.
- Gunawan, Y., Kadir, A., Balaka, R., Sisworo, R. R., Hasanuddin, L., Salimin, et al. (2019). Analisa Kekuatan Mekanis Sambungan Las Menggunakan Pola Ayunan Melingkar dan Zigzag pada Baja Carbon Sedang. *Seminar Nasional Teknologi Terapan Inovasi dan Rekayasa*, (pp. 1-6). Sulawesi Tenggara.
- Ketaren, L. P., Budiarmo, U., & Wibawa, A. (2019). Analisa Pengaruh Variasi Kampuh Las dan Arus Listrik Terhadap Kekuatan Tarik Dan Struktur Mikro Sambungan Las GMAW (Gas Metal ARC Welding) Pada Aluminium 6061). *Jurnal Teknik Perkapalan* , 7 (4), 345-354.
- Konsuci, W., Rosidah, A. A., Suheni, & Pranatal, E. (2024). Analisis Pengaruh Variasi Arus dan Ayunan Pengelasan SMAW pada Baja AISI 1040 terhadap Laju Korosi dan Kekerasan. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri Berkelanjutan IV* (pp. 1-8). Surabaya: SENASTITAN IV.
- Lesmana, B., Fauzi, Y. R., & Cahyadi, R. (2023). Pengaruh Gerakan Elektroda Pada Pengelasan SMAW Terhadap Kekuatan Tarik dan Struktur Mikro Pada Baja Karbon Rendah. *Jinggo: Jurnal Inovasi Teknologi Manufaktur, Energi, dan Otomotif* , 1 (2), 54-60.
- Panggaben, C. W., Budiarto, U., & Santosa, A. W. (2021). Pengaruh Variasi Arus Dan Polaritas Terhadap Kekuatan Tarik, Tekuk dan Kekerasan Hasil Las SMAW (Shielded Metal Arc Welding) Pada Baja SS 400. *Jurnal Teknik perkapalan* , 9 (4), 350-359.
- Pratiwi, Y. R., & Wibowo, S. S. (2019). Pengaruh Jenis Elektroda Dan Jumlah Pass Terhadap Uji Kekerasan Hasil Pengelasan Dan Struktur Mikro Pada Proses Pengelasan Shielded Metal Arch Welding. *BRILIANT: Jurnal Riset dan Konseptual* , 4 (2), 159-166.
- Putra, I., & K, A. (2019). Analisis Kekuatan Tarik dan Impact Hasil Sambungan Las Gesek pada Baja ST 37. *Journal Multidisciplinary Research and Development* , 914-920.
- Rimpung, I. K. (2016). Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Kekerasan Baja (St. 42) Dengan Temperatur Pemanasan 800°C, Metode Brinell, Di Laboratorium Uji Bahan Politeknik Negeri Bali. *Jurnal Logic* , 16 (2), 87-91.
- Saefuloh, I., Setiawan, I., Istiqlaliyah, H., Wijoyo, & Ulum, A. B. (2019). Analisa pengaruh pola gerak elektroda dan kuat arus terhadap kekuatan tarik, kekerasan, dan struktur mikro baja SS400. *Teknika: Jurnal Sains dan Teknologi* , 15 (2), 143-148.
- Sihombing, I. N., Budiarmo, U., & Zakki, A. F. (2019). Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Kekerasan Baja (St. 42) Dengan Temperatur Pemanasan 800°C, Metode Brinell, Di Laboratorium Uji Bahan Politeknik Negeri Bali. *Jurnal Teknik Perkapalan* , 7 (4), 303-312.
- Tambing, E., Pagasis, T., Ranteallo, O. T., Mangallo, D., Siregar, S. P., & Agustinus. (2024). Analisis Pengaruh Arus Listrik dan Elektroda Terhadap Kekuatan dan Kekerasan pada Proses Pengelasan SMAW Baja Karbon Rendah. *G-Tech : Jurnal Teknologi Terapan* , 8 (2), 878-886.
- Trisdyanto, G., & Choifin, M. (2019). Analisa Pengaruh Variasi Multiple Repair Dan Tanpa Repair Pada Pengelasan Fcaw Baja Karbon Jis G3106 Sm 490 Yb Terhadap Sifat Mekanik. *Jurnal Teknologi*

Terapan , 2 (2), 153-162.

- Umam, H. K., Suwignyo, J., & Bahtiar, F. Z. (2023). Pengaruh Gerakan Pola Las Zigzag, Melingkar, U Terhadap Uji Liquid Penetran Pada Pengelasan 3G GMAW. *1st Education Sains Technology Engineering Mathematic Seminar* (pp. 268-278). Semarang: EDUSTEMS.
- Warso, Wibowo, T. N., & Pratiwi, Y. D. (2021). Pengaruh Variasi Colling pada Pengelasan GMAW Terhadap Uji Tarik dan Uji Kekerasan pada Baja ST 60. *Journal of Mechanical Engineering and Science* , 2 (1), 22-26.
- Yesus, A. D., & Soebiyakto, G. (2018). Analisis Uji Tarik dan Metalografi Sifat Mekanik Besi Tuang Kelabu (FC-20) dengan Proses Heat Treatment. *PROTON* , 10 (1), 25-29.