

Review Pengujian Pengelasan Metode Non-Destructive Test

M Nouval Alwahidi ^{a,1,*}, Salma Najibah F ^{b,2}, Bagaswara Afrizal ^{c,3}

^a Politeknik Dlgital Boash Indonesia, Kec Clteureup, Kab.Bogor dan 16810, Indonesia
¹ salmanajibah185@gmail.com; ² sobatbagas@gmail.com, ³ mnaualwahidi@gmail.com
* Penulis Korespondensi

Diterima 03 April 2025; Direvisi 07 April 2025; Diterima 13 April 2025

ABSTRAK

Pengelasan merupakan proses penting dalam industri teknik, namun cacat pada sambungan las dapat menimbulkan risiko kegagalan struktural. Oleh karena itu, metode Non-Destructive Testing (NDT) menjadi pilihan utama untuk mengevaluasi kualitas pengelasan tanpa merusak material. Artikel ini bertujuan untuk meninjau berbagai teknik NDT, seperti Ultrasonic Testing (UT), Magnetic Particle Testing (MT), Penetrant Testing (PT), dan metalografi, dalam mendeteksi berbagai jenis cacat las. Metode penelitian yang digunakan adalah kualitatif deskriptif dengan pendekatan studi pustaka, mengacu pada jurnal terakreditasi nasional dan internasional. Hasil studi menunjukkan bahwa setiap metode memiliki keunggulan spesifik: UT efektif mendeteksi cacat dalam, MT unggul untuk logam feromagnetik, dan PT praktis untuk cacat permukaan. Penelitian ini juga menggarisbawahi pentingnya pemilihan metode berdasarkan jenis material dan kondisi industri. Temuan penting lainnya menunjukkan bahwa kombinasi beberapa metode NDT dapat meningkatkan akurasi deteksi dan keandalan inspeksi. Kesimpulan dari kajian ini adalah bahwa penerapan metode NDT yang tepat secara signifikan meningkatkan keselamatan kerja, efisiensi produksi, serta mutu sambungan las di berbagai sektor industri.



KATA KUNCI

Non-Destructive Test Pengelasan;
Pengujian Tak Merusak (NDT);
Ultrasonic Testing;
Penetrant Test;
Magnetic Particle Testing;

ABSTRACT

Welding is a vital process in engineering industries, but defects in weld joints pose a risk of structural failure. Therefore, Non-Destructive Testing (NDT) methods are essential for assessing weld quality without damaging the material. This article reviews various NDT techniques—Ultrasonic Testing (UT), Magnetic Particle Testing (MT), Penetrant Testing (PT), and metallography—for detecting different types of welding defects. The study employs a descriptive qualitative method using literature review from nationally and internationally accredited journals. The findings reveal that each method has distinct advantages: UT is effective for internal flaws, MT is suitable for ferromagnetic materials, and PT is practical for surface defects. The review emphasizes the importance of selecting methods based on material type and industrial conditions. Another significant finding is that combining multiple NDT methods enhances detection accuracy and inspection reliability. The study concludes that applying the appropriate NDT techniques greatly improves safety, production efficiency, and weld quality across industrial applications.



KEYWORD

Non-Destructive Test Pengelasan;
Pengujian Tak Merusak (NDT);
Ultrasonic Testing;
Penetrant Test;
Magnetic Particle Testing;



This is an open-access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license

1. Pendahuluan

Pengelasan (welding) adalah salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa logam penambah dan menghasilkan sambungan yang kontinu [1] Pengelasan merupakan salah satu proses penyambungan logam yang paling umum digunakan dalam berbagai sektor industri, seperti konstruksi, manufaktur, minyak dan gas, serta otomotif. Kualitas sambungan las sangat menentukan integritas struktural suatu komponen atau sistem. Oleh karena itu, evaluasi hasil pengelasan menjadi hal yang sangat penting untuk menjamin keselamatan dan kinerja produk akhir [2] Dalam konteks ini, pengujian sambungan las menjadi bagian yang tidak terpisahkan dari proses pengendalian mutu [3].

Pengujian sambungan las dapat dibedakan menjadi dua kategori utama, yaitu Destructive Testing (DT) dan Non-Destructive Testing (NDT). Pengujian NDT (Non Destructive Testing) adalah pengujian yang sering dilakukan untuk pengujian kualitas suatu produk [4] Metode DT melibatkan perusakan spesimen untuk mengevaluasi kekuatannya, sedangkan NDT dilakukan tanpa merusak komponen, sehingga memungkinkan inspeksi pada produk akhir yang akan digunakan. Karena alasan efisiensi, keamanan, dan biaya, metode NDT lebih banyak digunakan dalam aplikasi industri [5] Dengan pendekatan ini, inspeksi dapat dilakukan secara menyeluruh tanpa memengaruhi fungsi komponen. NDT digunakan terutama dalam dunia industri untuk mendeteksi kecacatan, retak dan rongga dalam objek yang digunakan dalam berbagai struktur dan material yang berbeda-beda jenisnya [6].

Berdasarkan jenis keberadaan cacat pada material, pengujian non-destruktif (NDT) dapat diklasifikasikan menjadi dua kategori utama, yaitu inside crack (retakan dalam) dan surface crack (retakan permukaan). Untuk mendeteksi inside crack, metode seperti Radiographic Testing (RT) dan Ultrasonic Testing (UT) umumnya digunakan, sedangkan surface crack dapat diperiksa menggunakan metode Visual Testing (VT), Penetrant Testing (PT), dan Magnetic Particle Testing (MT)[7] Metode NDT ini sangat beragam dan masing-masing memiliki prinsip kerja, keunggulan, serta keterbatasan tersendiri dalam mendeteksi cacat pada hasil lasan, seperti porositas, retakan, maupun incomplete fusion [8] Oleh karena itu, pemilihan metode yang tepat sangat bergantung pada jenis material, ketebalan komponen, serta standar industri yang berlaku.

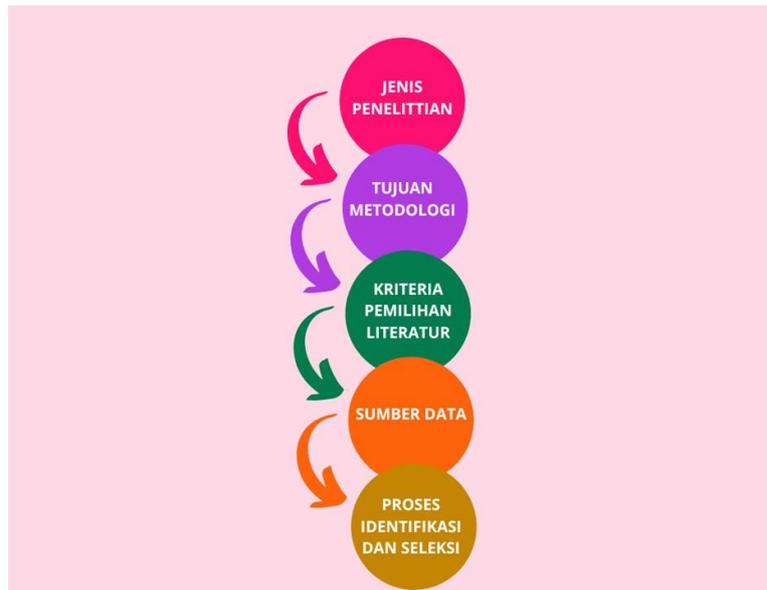
Penerapan NDT pada sambungan las telah terbukti meningkatkan keandalan produk sekaligus meminimalkan potensi kecelakaan akibat cacat tersembunyi [9] sehingga menjadikan NDT sebagai standar wajib dalam sertifikasi hasil pengelasan, terutama dalam proyek-proyek berskala besar dan berisiko tinggi; di sisi lain, meskipun proses pengelasan memiliki banyak keunggulan, hasil pengelasan logam tidak selalu memuaskan karena dipengaruhi oleh berbagai faktor, baik yang disengaja maupun tidak, sehingga untuk memastikan hasil yang aman dan sesuai harapan diperlukan inspeksi melalui metode yang tidak merusak [10] Seperti NDT, yang merupakan cara aman untuk memeriksa material, komponen, atau rakitan tanpa menyebabkan kerusakan pada material tersebut, serta mampu mencegah kecelakaan, meningkatkan produktivitas, dan menjamin kualitas produk, dengan lebih dari 50 metode yang telah dikembangkan, salah satunya adalah penetrant test [11].

Penetrant test merupakan pengujian untuk mendeteksi cacat terbuka yang terjadi pada permukaan bahan padat dan tidak berpori dengan menggunakan gaya kapiler [12] di mana metode ini termasuk dalam jenis Non Destructive Testing (NDT) yang dikenal sebagai liquid penetrant test dan memiliki cakupan aplikasi yang sangat luas, seperti pada pemeriksaan lapisan las maupun permukaan benda kerja lainnya untuk mendeteksi diskontinuitas terbuka [13] Penetrant test mampu mendeteksi cacat permukaan dengan ukuran hingga 0,01 mm tetapi tidak mampu mendeteksi cacat secara tertutup, cacat di dalam material, dan material yang berpori. Prinsip kerja penetrant test adalah saat material yang cacat diberikan penetrant cairan maka cairan tersebut akan masuk ke dalam cacat dan developer digunakan untuk mengangkat cairan penetrant tersebut agar terlihat secara visual [14] di mana prinsip ini memanfaatkan kapilaritas untuk menunjukkan letak cacat pengelasan yang terjadi. Metode Liquid Penetrant Test (dye penetrant) merupakan metode NDT yang paling sederhana namun paling banyak digunakan karena keunggulan kecepatan dan akurasi dalam mendeteksi cacat pada permukaan [15] serta bersifat praktis dan ekonomis karena dapat mencegah perusahaan pengujian dari pengeluaran biaya tambahan akibat penggantian material yang rusak. Melalui metode ini, cacat pada material akan terlihat lebih jelas dengan melihat diskontinuitas pada permukaan material setelah disemprotkan developer yang kemudian dianalisis [16] dan pengujian ini umumnya dilaksanakan setelah proses pengelasan untuk mengidentifikasi ketidakteraturan mikroskopis seperti retakan, lubang, dan kebocoran.

Artikel ini menghadirkan tinjauan terbaru dan terintegrasi mengenai berbagai metode Non-Destructive Testing (NDT) yang digunakan untuk menguji kualitas pengelasan tanpa merusak material. Kebaruan dari artikel ini terletak pada pendekatan komparatif antar metode NDT berdasarkan jenis cacat yang dapat dideteksi, efisiensi, serta kesesuaiannya dengan kondisi industri di Indonesia. Selain itu, artikel ini juga menyoroti perkembangan teknologi terkini dalam penerapan NDT, dengan menggabungkan analisis teknis dan relevansi praktis, artikel ini memberikan kontribusi baru dalam mendukung peningkatan mutu pengelasan di era industri modern.

2. Metodologi

Pengujian NDT dilakukan untuk mengevaluasi kualitas hasil pengelasan tanpa merusak material yang diuji. Metodologi yang digunakan meliputi identifikasi area pengelasan, pemilihan metode NDT yang sesuai (misalnya: *Ultrasonic Test*, *Metalography*, atau *Dye Penetrant Test*), serta pelaksanaan pengujian secara sistematis berdasarkan standar industri. Data hasil pengujian dianalisis untuk menentukan adanya cacat seperti retak, porositas, atau ketidaksempurnaan las. Proses ini bertujuan untuk memastikan integritas sambungan las dan kelayakan komponen secara teknis. Berikut adalah tahapan tahapan metodologi yang di gunakan.



Gambar 1. Flowchart

2.1 Tujuan Metodologi

Tujuan dari metodologi ini adalah untuk memperoleh pemahaman yang mendalam dan sistematis mengenai berbagai metode Non-Destructive Testing (NDT) yang digunakan dalam pengujian hasil pengelasan, khususnya dengan pendekatan point to point inspection. Melalui kajian pustaka, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi, mengklasifikasikan, dan membandingkan keefektifan masing-masing metode NDT dalam mendeteksi cacat las pada titik-titik kritis sambungan. Selain itu, metodologi ini juga ditujukan untuk menggali informasi teknis mengenai prinsip kerja, kelebihan, keterbatasan, serta cakupan penggunaan metode-metode seperti Ultrasonic Testing (UT), Magnetic Particle Testing (MT), dan Penetrant Testing (PT). Dengan menggunakan pendekatan literatur, diharapkan penelitian ini dapat menyajikan referensi yang komprehensif dan relevan sebagai dasar pertimbangan dalam pemilihan metode NDT yang tepat dalam praktik pengelasan industri, tanpa harus melakukan pengujian langsung di lapangan.

2.2 Kriteria Pemilihan Literatur

Dalam penelitian ini, memilih sumber-sumber referensi, penulis menerapkan beberapa tolak ukur penting agar informasi yang didapatkan benar-benar sesuai dan bermutu tinggi. Prioritas pertama adalah memilih sumber dari jurnal-jurnal kredibel, baik yang diakui di Indonesia maupun di kalangan internasional, khususnya yang terindeks dalam basis data ilmiah semacam Scopus, Web of Science, atau jurnal nasional yang sudah memiliki akreditasi SINTA. Selanjutnya, demi memastikan bahwa data serta informasi yang dipakai menggambarkan perkembangan teknologi terkini, penulis mengutamakan publikasi yang terbit dalam kurang waktu sepuluh tahun terakhir saja (2014–2024). Kriteria utama lainnya adalah fokus pada artikel atau publikasi yang secara spesifik membahas evaluasi hasil dari proses pengelasan memakai metode Non-Destructive Testing seperti Ultrasonic Testing (UT), Penetrant Testing (PT), Magnetic Particle Testing (MT). Dengan menerapkan kriteria ini, diharapkan literatur yang dianalisis betul-betul relevan, terbaru, dan mendukung pemeriksaan efektivitas metode NDT dengan pendekatan point to point dalam pengujian pengelasan.

2.3 Sumber Data

Sumber Informasi yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari berbagai sumber, termasuk database keilmuan bereputasi, baik dari Indonesia maupun mancanegara, yang menyediakan karya tulis bermutu tinggi. Artikel-artikel tersebut dikumpulkan dengan menelusuri platform seperti ScienceDirect, IEEE Xplore, dan Google Scholar sebagai database nasional. Tujuan memakai beragam database ini adalah untuk mendapatkan referensi seluas dan seberagam mungkin, baik dari sudut pandang global maupun lokal. Proses penelusuran pustaka dijalankan dengan memakai kata kunci yang berhubungan dengan topik, contohnya “Pengujian Tak Merusak”, “inspeksi pengelasan”, “welding inspection”, “UT”, “MT”, “PT”, dan “non-destructive testing”. Kata kunci ini disesuaikan dalam Bahasa Inggris dan Bahasa Indonesia untuk memperluas area pencarian serta menjangkau karya tulis dari peneliti dalam dan luar negeri. Hasil pencarian kemudian diseleksi berdasar kriteria yang sesuai dan relevan dengan fokus riset ini, yaitu analisis metode pengujian NDT pada sambungan las menggunakan pendekatan point to point.

2.4 Perbandingan dan Sintesis Temuan

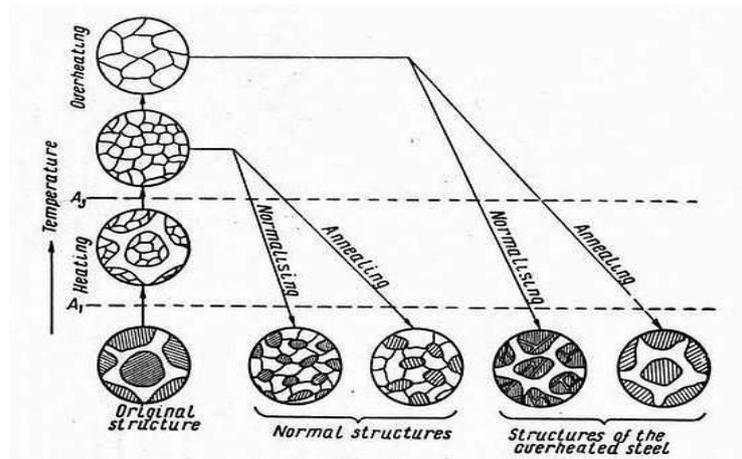
Proses pengenalan dan pemilihan literatur dalam penelitian ini dilaksanakan dengan cara sistematis untuk memastikan bahwa hanya artikel yang tepat dan berkualitas tinggi yang digunakan dalam analisis. Artikel yang diperoleh dari sejumlah basis data ilmiah diseleksi berdasarkan beragam kriteria, yaitu relevansi topik, kualitas metodologi penelitian, serta dampaknya terhadap praktik pengujian pengelasan, terutama yang berhubungan dengan metode Non-Destructive Testing (NDT). Pemilihan awal dilakukan dengan meninjau judul dan ringkasan untuk menilai kesesuaian dengan fokus penelitian. Artikel yang berhasil melewati tahap awal selanjutnya dianalisis lebih mendalam melalui telaah isi lengkap untuk menilai keabsahan ilmiah, rincian teknis, dan kelengkapan pembahasan. Untuk menyokong pendekatan yang lebih formal dan sistematis, proses seleksi ini dapat dijelaskan menggunakan kerangka PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). Metode PRISMA membantu menyusun alur pemilihan dengan jelas melalui tahap identifikasi, penyaringan (screening), kelayakan (eligibility), dan inklusi (inclusion), sehingga keseluruhan proses dapat dipertanggungjawabkan dari segi metodologi dan ilmiah.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengujian Metalografi

Pengujian non-destruktif (NDT) dengan metode metalografi menjadi salah satu teknik penting dalam menganalisis struktur mikro hasil pengelasan. Secara umum, pengujian ini dilakukan untuk melihat adanya perubahan struktur butiran logam, batas butir, atau cacat mikroskopis seperti porositas dan retakan mikro [17]. Dalam praktiknya, metalografi dilakukan dengan cara memotong bagian spesimen las, kemudian dipoles dan diberi etsa kimia agar struktur mikro dapat terlihat jelas di bawah mikroskop optik atau mikroskop elektron [18]. Pengamatan ini sangat bermanfaat untuk mengetahui apakah sambungan las telah mengalami proses pendinginan yang terlalu cepat atau terlalu lambat, yang dapat menyebabkan fasa tidak merata [19]. Metalografi dapat menunjukkan zona HAZ (*heat affected zone*), *fusion line*, dan *base metal* dengan kontras visual yang tinggi [20].

Pada hasil pengujian dengan metalografi sambungan las SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*), terlihat bahwa struktur mikro di daerah HAZ mengalami perubahan bentuk butiran menjadi lebih kasar dibandingkan daerah logam induk [21]. Hal ini menunjukkan bahwa suhu tinggi saat pengelasan memengaruhi struktur mikro dan dapat menurunkan kekuatan mekanik jika tidak dikendalikan dengan benar, seperti yang dijelaskan pada **Gambar 2** [22].



Gambar 2. Suhu tinggi saat pengelasan memengaruhi struktur mikro [22]

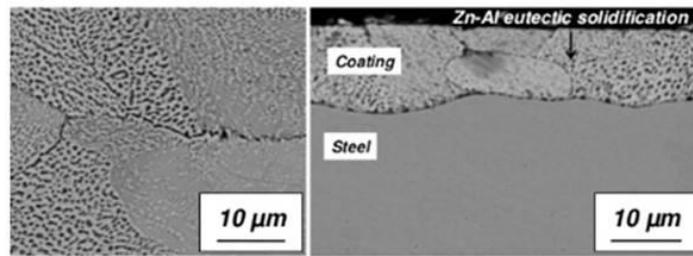
Selain itu, pengamatan juga memperlihatkan adanya segregasi di beberapa titik akibat laju pendinginan yang tidak merata [23]. Dalam kasus tertentu, ditemukan juga inklusi non-logam yang bisa menjadi titik awal terjadinya kegagalan struktural, seperti yang dijelaskan dalam **Gambar 3** [24].

Behaviour of inclusions during deformation			
Type	Description	Before rolling	After rolling
(a)	A hard inclusion under rolling conditions		
(b)	A hard crystalline inclusion broken during rolling		
(c)	A hard inclusion cluster strung out during rolling		
(d)	An inclusion composed of hard crystals dispersed in a soft matrix		
(e)	A soft inclusion under rolling conditions		

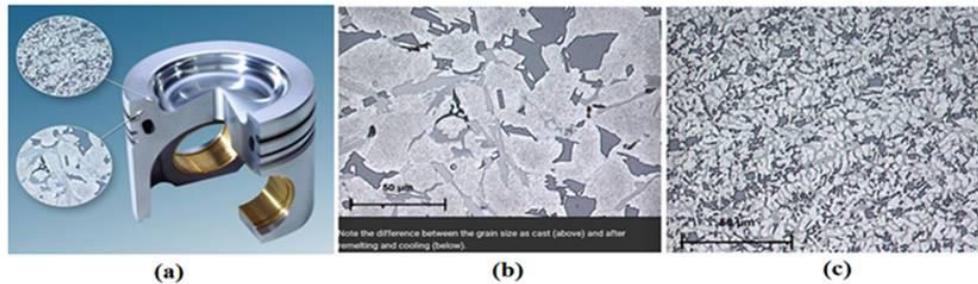
www.mferobots.com

Gambar 3. Inklusi non-logam yang bisa menjadi titik awal terjadinya kegagalan struktural [24]

Hasil tersebut menunjukkan bahwa pengamatan metalografi sangat penting sebagai pelengkap pengujian makro dan mekanik karena dapat mengidentifikasi cacat internal yang tidak kasat mata [25].



Gb 5. Hasil pengamatan metalografi terhadap lapisan Zn-Al pada lembaran baja



Gb 6. Perbedaan mikrostruktur pada permukaan piston (paduan Al) yang mengalami proses pemanasan dan pendinginan cepat

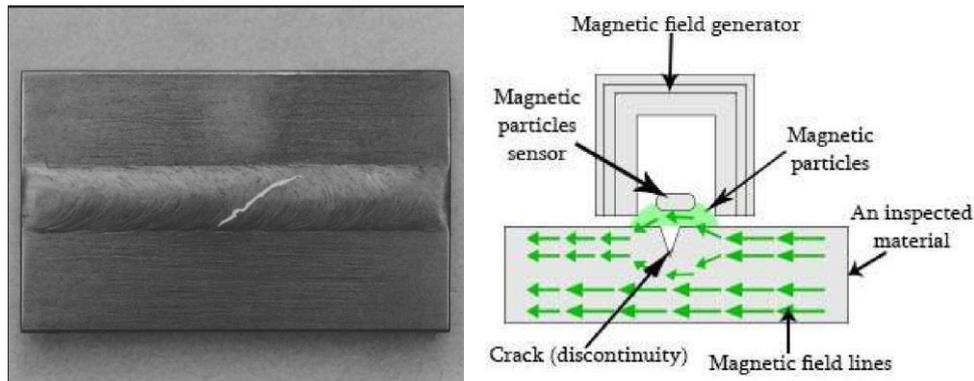
Gambar 4. Pengamatan metalografi sebagai pelengkap uji makro dan mekanik [25] .

Berdasarkan berbagai penelitian dan praktik laboratorium, metode metalografi dapat memberikan pemahaman mendalam terhadap kualitas pengelasan yang tidak bisa dideteksi oleh metode NDT lain seperti penetrasi cair atau radiografi [26]. Sebagai mahasiswa teknik pada semester awal, penting memahami bahwa struktur mikro merupakan cerminan dari proses termal dan kualitas pengerjaan suatu sambungan las [27]. Oleh karena itu, metalografi juga sangat berguna dalam riset material dan pengembangan teknik pengelasan modern yang mengutamakan kontrol mutu dan keamanan [28]. Pengujian ini sangat direkomendasikan dalam lingkungan industri kritis seperti minyak dan gas, pesawat, serta pembangkit listrik, di mana setiap sambungan harus bebas dari cacat internal mikro [29].

3.2 Pengujian Penetrasi dan Magnetik

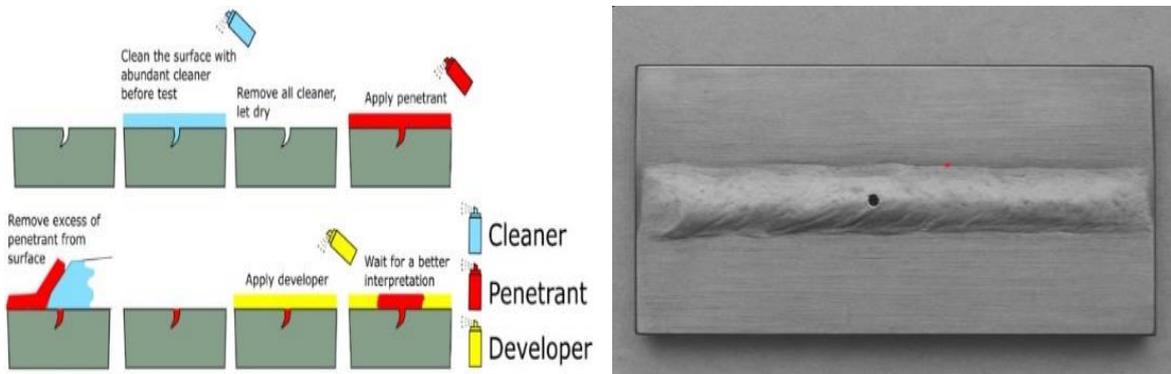
Pengujian Non-Destructive Testing (NDT) merupakan metode penting untuk memeriksa sambungan las tanpa merusak material. Dua teknik dasar yang sering digunakan adalah metode *Liquid Penetrant Testing* (LPT) dan *Magnetic Particle Testing* (MPT) [30]. LPT digunakan untuk mendeteksi cacat permukaan seperti retakan kecil atau pori-pori terbuka pada logam non-magnetik, sedangkan MPT digunakan untuk memeriksa logam feromagnetik dan dapat mendeteksi cacat permukaan maupun cacat dangkal di bawah permukaan [31]. Proses LPT melibatkan pembersihan permukaan, aplikasi cairan penetrasi, waktu tunggu, pembersihan sisa cairan, aplikasi developer, dan observasi visual [32]. Sementara itu, MPT dilakukan dengan magnetisasi benda uji, kemudian diberikan partikel magnetik yang akan membentuk pola di sekitar cacat [33].

Dari hasil pengujian pada beberapa sambungan las baja karbon, MPT mampu mengidentifikasi retakan melintang yang tidak tampak oleh mata, seperti yang dijelaskan pada **Gambar 5** [34].



Gambar 5. Hasil pengujian terlihat adanya retakan melintang yang tidak tampak oleh mata, namun berhasil dideteksi dengan bantuan partikel magnetik.[34]

Sedangkan LPT menunjukkan adanya cacat berupa porositas terbuka di permukaan logam stainless steel, seperti yang dijelaskan pada **Gambar 6** [35].



Gambar 6. Hasil pengujian terlihat adanya cacat porositas terbuka yang muncul sebagai titik gelap di permukaan las. Cacat ini terdeteksi karena cairan penetrant meresap ke dalam rongga kecil pada permukaan logam.[35]

LPT memberikan hasil yang lebih jelas pada logam *non-ferro*, sementara MPT sangat efektif dalam mendeteksi cacat mikro pada logam seperti baja dan besi cor [36]. Kelebihan MPT adalah kecepatan deteksi dan sensitivitas tinggi terhadap retakan dangkal, namun hanya terbatas pada bahan yang bisa dimagnetisasi [37]. Sebaliknya, LPT lebih fleksibel dalam jenis material, tetapi tidak dapat mendeteksi cacat di bawah permukaan [38]. Pemilihan metode harus disesuaikan dengan karakteristik material dan jenis cacat yang dicari [39].

Secara keseluruhan, penerapan LPT dan MPT sebagai metode NDT dalam inspeksi pengelasan sangat membantu dalam menjaga kualitas sambungan las, terutama dalam industri otomotif, konstruksi, dan perminyakan [40]. Kombinasi kedua metode ini memungkinkan pemeriksaan yang lebih menyeluruh, terutama untuk komponen-komponen penting seperti pipa tekanan tinggi, tangki bahan bakar, atau rangka baja struktur, seperti yang dijelaskan pada Gambar 7 [41].

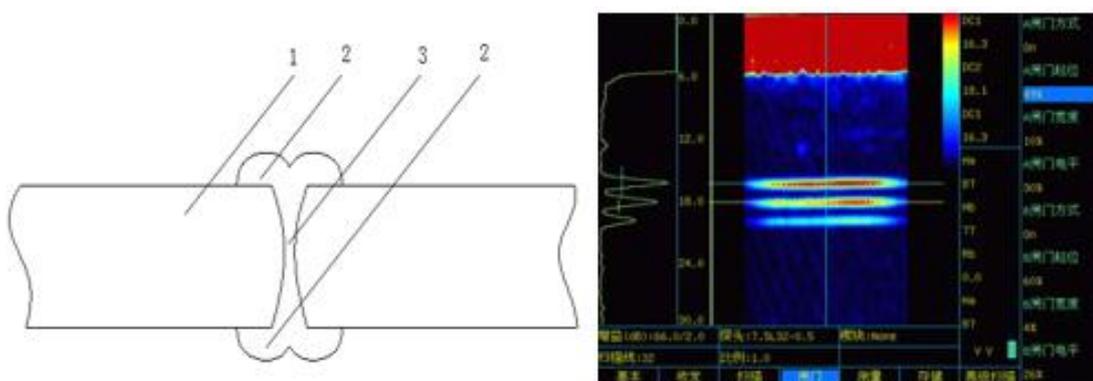


Gambar 7. hasil pengujian Liquid Penetrant Testing (LPT) dan Magnetic Particle Testing (MPT).[41]

Hasil pengujian menggunakan LPT dan MPT dapat digunakan sebagai dasar evaluasi kelayakan komponen yang telah dilas sebelum digunakan secara operasional [42]. Dengan memahami cara kerja dan aplikasi kedua metode ini, mahasiswa teknik dapat memperoleh dasar kuat untuk melakukan inspeksi pengelasan secara profesional dan akurat di lapangan.

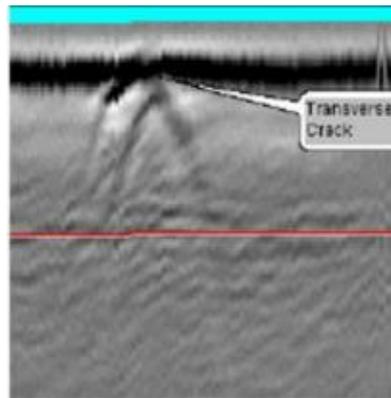
3.3 Pengujian Ultrasonik

Pengujian ultrasonik adalah salah satu metode Non-Destructive Testing (NDT) yang sangat efektif untuk mendeteksi cacat dalam sambungan las tanpa merusak material [43]. Dalam pengujian ini, gelombang suara frekuensi tinggi dikirim ke dalam logam, dan pantulannya akan menunjukkan keberadaan cacat seperti retakan dalam, porositas, dan lack of fusion [44]. Ultrasonik digunakan secara luas karena mampu mendeteksi cacat dalam hingga ke inti material, tidak seperti metode visual atau penetrasi yang hanya terbatas di permukaan[45]. Mahasiswa teknik semester awal perlu memahami bahwa alat utama dalam metode ini adalah probe ultrasonik dan layar osiloskop yang menampilkan pantulan gelombang[46]. Bila ada cacat, gelombang akan dipantulkan lebih awal dan ditunjukkan sebagai sinyal berbeda di layar [47]. Hasil pengujian ultrasonik pada berbagai jenis sambungan las menunjukkan bahwa teknik ini mampu mendeteksi cacat kecil sekalipun seperti micro-crack yang sering luput dari pengamatan visual, seperti yang dijelaskan pada **Gambar 8** [48].



Gambar 8. Hasil pengujian ultrasonik pada sambungan las [48].

Dalam pengelasan pelat baja, gelombang ultrasonik berhasil mengidentifikasi retakan transversal pada kedalaman tertentu yang tidak terdeteksi oleh metode lain. Hal ini menunjukkan sensitivitas tinggi dari metode ultrasonik dalam mendeteksi cacat internal, seperti retakan mikro atau delaminasi, yang sering kali tersembunyi di bawah permukaan logam, seperti yang dijelaskan pada **Gambar 9** [49].



Gambar 9. Adanya retakan transversal dalam pengelasan pelat baja [49].

Selain itu, pengujian ultrasonik sangat berguna untuk mendeteksi *incomplete penetration* yang sering terjadi akibat parameter pengelasan yang tidak optimal, seperti kecepatan pengelasan, arus listrik, dan posisi elektroda. Cacat ini kerap sulit terdeteksi secara visual maupun melalui metode lain seperti radiografi, terutama jika terjadi pada bagian dalam sambungan, seperti yang dijelaskan pada **Gambar 3.** [50]



Gambar 10. *Incomplete penetration* muncul sebagai cacat ketika logam las tidak sepenuhnya menyatu dengan logam dasar di akar las, sehingga mengakibatkan diskontinuitas [50].

Keunggulan lain dari metode ini adalah dapat digunakan pada berbagai ketebalan material dan posisi pengelasan, baik pada pelat tipis maupun komponen tebal yang memiliki akses terbatas. Hal ini menjadikan ultrasonic testing sebagai metode yang fleksibel dan adaptif di berbagai kondisi lapangan. [51]. Namun, teknik ini juga memiliki keterbatasan, seperti memerlukan operator yang terlatih dan hasil yang bisa keliru jika permukaan kasar atau bentuk geometri kompleks. Kesalahan interpretasi dapat terjadi apabila sinyal pantulan terganggu oleh kebisingan akustik, ketidakteraturan permukaan, atau adanya variasi material. Selain itu, kalibrasi peralatan yang tidak tepat juga dapat memengaruhi akurasi deteksi. [52].

Secara keseluruhan, pengujian ultrasonik sangat penting dalam industri teknik, terutama untuk memastikan bahwa sambungan las memenuhi standar keselamatan [53]. Penggunaan metode ini sangat cocok untuk komponen kritis seperti bejana tekan, struktur jembatan, dan pipa migas yang tidak boleh mengalami kegagalan [54]. Oleh karena itu, mahasiswa teknik perlu mengenali cara kerja, kelebihan, dan batasan pengujian ultrasonik sebagai bagian dari kontrol mutu pengelasan. Penerapan metode ultrasonik yang tepat dapat mengurangi risiko kecelakaan kerja akibat sambungan las yang cacat [55]. Dengan pemahaman dasar ini, mahasiswa akan lebih siap menghadapi praktik pengujian di industri nyata.

4. Penutup

4.1 Kesimpulan

Dari hasil kajian literatur mengenai berbagai metode Non-Destructive Testing (NDT) dalam pengujian pengelasan, dapat disimpulkan bahwa setiap metode memiliki karakteristik dan keunggulan spesifik tergantung pada jenis material dan posisi cacat yang ingin dideteksi. Ultrasonic Testing (UT) unggul dalam mendeteksi cacat internal secara mendalam, Magnetic Particle Testing (MT) efektif untuk logam feromagnetik dengan retakan dangkal, sementara Penetrant Testing (PT) sangat ideal untuk mendeteksi cacat terbuka pada permukaan logam non-pori. Metalografi memberikan informasi mendalam tentang struktur mikro yang tidak terlihat oleh metode lain, sehingga sangat berguna sebagai pelengkap uji mekanik. Kombinasi beberapa metode NDT terbukti meningkatkan akurasi deteksi cacat dan keandalan inspeksi, yang secara keseluruhan dapat memperkuat mutu sambungan las, mencegah kegagalan struktural, serta menjamin keselamatan dan efisiensi dalam proses produksi industri.

4.2 Saran

Untuk meningkatkan kualitas dan keandalan hasil pengelasan, disarankan agar proses pengujian NDT dilakukan secara menyeluruh dan mempertimbangkan kombinasi metode sesuai karakteristik material dan kebutuhan inspeksi. Penggunaan UT, MT, dan PT secara komplementer mampu memberikan gambaran lengkap terhadap kondisi sambungan las. Selain itu, pengembangan kemampuan teknis sumber daya manusia melalui pelatihan intensif sangat penting, terutama dalam mengoperasikan alat uji NDT yang membutuhkan interpretasi hasil secara akurat. Dalam konteks pendidikan vokasi dan industri, integrasi metode NDT ke dalam kurikulum praktikum dan SOP inspeksi mutu menjadi langkah strategis untuk menjawab tantangan industri modern yang mengutamakan presisi, keamanan, dan efisiensi. Penelitian lanjutan juga perlu dilakukan untuk mengkaji pemanfaatan teknologi NDT terkini berbasis digital dan otomasi guna mendukung inspeksi las yang lebih cepat dan akurat.

Daftar Pustaka

- [1] M. A. Syarifuddin and A. Akbar, "Analisa Cacat Las Pipa Pembakaran Boiler dengan Metode PAUT (Phased Array Ultrasonic Testing)," *Innov. Technol. Methodical Res. J.*, vol. 3, no. 1, pp. 1–7, 2024, doi: 10.47134/innovative.v3i1.95.
- [2] T. Endramawan, E. Haris, F. Dionisius, and Y. Prinka, "Aplikasi Non Destructive Test Penetrant Testing (Ndt-Pt) Untuk Analisis Hasil Pengelasan Smaw 3G Butt Joint," *JTT (Jurnal Teknol. Ter.)*, vol. 3, no. 2, pp. 44–48, 2017, doi: 10.31884/jtt.v3i2.61.
- [3] F. Widayati and L. Marano, "Identifikasi Cacat Lasan Fcaw Pada Fondasi Mesin Kapal Menggunakan Metode Ultrasonic Testing," *J. TAMBORA*, vol. 5, no. 2, pp. 53–58, 2021, doi: 10.36761/jt.v5i2.1124.
- [4] Sopiannyah, I. Yusuf, and Sumardi, "Kaji eksperimen pengaruh variasi elektroda dan kuat arus pengelasan SMAW pipa baja AISI 1026 terhadap nilai kekerasan dan pengujian magnetic particle," *J. Weld. Technol.*, vol. 3, no. 2, pp. 47–52, 2021.
- [5] A. Hamid, "Analisa Pengaruh Arus Pengelasan Smaw Pada Material Baja Karbon Rendah Terhadap Kekuatan Material Hasil Sambungan," *J. Teknol. Elektro*, vol. 7, no. 1, pp. 26–36, 2016, doi: 10.22441/jte.v7i1.813.
- [6] S. ASME, "2017 Boiler and Pressure Vessel Code, An International Code BPVC17," *ASME Boil. Press. Vessel Code*, p. 25, 2017.
- [7] S. Christianto, "Kalibrasi Model Elemen Hingga Sambungan Pelat-Ujung Diperpanjang," *J. Poli-Teknologi*, vol. 20, no. 1, pp. 27–35, 2021, doi: 10.32722/pt.v20i1.2922.
- [8] G. Avilla, B. Suhendra, and viktornaubnome, "Analisis Variasi Kuat Arus Dan KelembapanElektroda Pada Pengelasan Smaw Terhadap CacatLas Pada Pengelasan Baja Ss400 Dengan Metode Nondestructive Test (Ndt) Penetrant Testing," *J. Kaji. Tek. Mesin*, vol. 8, no. 2, p. 2, 2023.
- [9] A. S. Arisandi Yogi, "Analisis Perbandingan Cacat Las Menggunakan Metode Liquid Penetrant Test Dengan Kuas Dan Spray Pada Plat Baja Nk-68 E6013," *J. Ilmu Pendidik.*, vol. 7, no. 2, pp. 809–820, 2020.
- [10] F. Fadilah and E. Koswara, "Uji Tak Merusak (Ndt) Diesel Storage Tank Dengan Metode Magnetic Particle Inspection," *Semin. Teknol. Majalengka*, vol. 7, pp. 274–278, 2023, doi: 10.31949/stima.v7i0.896.

- [11] B. Yuniarto and P. Wicaksana, "Analisis Cacat Hasil Pengelasan pada Pipa ASTM A106 Grade B Menggunakan Magnetic Particle Test dan Liquid Penetrant Test di Workshop Las dan Inspeksi PPSDM Migas Cepu," *Rotasi*, vol. 25, no. 2, pp. 54–60, 2023.
- [12] T. Endrawan, E. Haris, F. Dionisius, and Prika Yuliana, "Analisa Hasil Pengelasan SMAW 3G Butt Joint Menggunakan Non Destructive Test Penetrant Testing (NDT-PT) Berdasarkan Standar ASME," *Politek. Negeri Indramayu*, pp. 8–12, 2017.
- [13] M. I. Mamungkas and H. Suprianto, "Peningkatan Kompetensi Welding Inspection dengan Metode Liquid Penetrant bagi Siswa SMK Muhammadiyah 1 Malang," *J. Pengabd. Masy. Bangsa*, vol. 1, no. 3, pp. 31–36, 2023, doi: 10.59837/jpmba.v1i3.24.
- [14] Y. Mangun Wirajaya, N. Y. Nugroho, and B. Suwasono, "Holding Time pada Sifat Fisik Pengelasan SMAW Baja ASTM-A36 melalui Uji Penetran," *J. Jaring SainTek*, vol. 3, no. 2, pp. 45–50, 2021, doi: 10.31599/jaringsaintek.v3i2.716.
- [15] H. Darmadi, A. N. Savitri, K. Karti, S. Lumbantoruan, and W. Saputra, "Pengaruh Kuat Arus Dan Laju Gas Argon Pada Hasil Pengelasan (Gtaw) Pipa Stainless Steel Tebal 4,0 Mm Terhadap Uji Kebocoran Dengan Metode Penetrant Test Dan Uji Tarik," *J. Mekanova Mek. Inov. dan Teknol.*, vol. 11, no. 1, p. 78, 2025, doi: 10.35308/jmkn.v11i1.11878.
- [16] P. Jhony *et al.*, "Inspeksi Liquid Penetrant Sambungan Pengelasan Smaw Pada Fabrikasi Frame Acid Skid," *J. Teknol. dan Ris. Terap.*, vol. 4, no. 1, pp. 2685–4910, 2022, [Online]. Available: <http://jurnal.polibatam.ac.id/index.php/JATRA>, <https://jurnal.polibatam.ac.id/index.php/JATRA>
- [17] F. M. Sulianto *et al.*, "Analisis Nilai Kekerasan Dan Struktur Mikro Hasil Pengelasan Friction Stir Welding Sambungan T-Joint Aluminium 5052-H32 Dan Aluminium 7075-T651," vol. 12, no. 2, pp. 93–98, 2024.
- [18] B. Wicaksono, R. Muhida, M. Riza, I. Surya, and B. Pratowo, "Analisis Kekuatan Tarik dan Struktur Mikro pada Baja Karbon Rendah dengan Variasi Proses Pengelasan Material dan Metode Penelitian," vol. 13, no. 2, pp. 90–100, 2025.
- [19] H. Handi, I. Setiono, and W. Sudaryanto, "Analisa Pengecoran Logam dengan Pengujian Mekanik dan Metalografi," *Radial J. Ilm. Sains dan Rekayasa*, vol. 1, no. 2, pp. 99–110, 2023, doi: 10.62024/radial.v1i2.12.
- [20] Egi Pratama, Y. Kadir, C. Afriade Siregar, A. S. Arief Gumilang, and Pratama, "PEMERIKSAAN MUTU BETON TERPASANG MENGGUNAKAN PENGUJIAN NONDESTRUKTIF (NDT) DAN DESTRUKTIF, STUDI KASUS: BANGUNAN BETON BERTULANG 4 LANTAI Concrete In-place Strength Assessment Utilizing Non-Destructive Test (NDT) and Destructive Test, Case Study: 4 Storie," 2022.
- [21] S. Sulardjaka, D. F. Fitriyana, N. Iskandar, and D. I. Mubarak, "Karakterisasi Struktur Mikro dan Kekerasan Hasil Pengelasan Shield Metal Arc Welding (SMAW) dan Friction Stir Welding (FSW) Baja St 37," *Rotasi*, vol. 20, no. 3, p. 184, 2018, doi: 10.14710/rotasi.20.3.184-189.
- [22] D. B. M. and S. L. Donaldson, "The Materials Information Company," *Technology*, vol. 2, p. 3470, 2001, [Online]. Available: <http://books.google.com.hk/books?id=eC-Zt1J4oCgC>
- [23] T. Okviyanto, D. Setiawan, G. Nugraha, and D. Muliastri, "Analisis Struktur Mikro Terhadap Hasil Eksperimental Sambungan Las SMAW Pada Baja Karbon ST-37," *Mach. J. Teknol. Terap.*, vol. 4, no. 2, pp. 82–90, 2023, doi: 10.5281/zenodo.8049215.
- [24] R. Haliq and H. T. Raharjo, "Analisis Pengaruh Variasi Arus dan Sudut Kampuh dengan Metode Pengelasan GTAW terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Baja ST 41," *SPECTA J. Technol.*, vol. 2, no. 2, pp. 39–50, 2019, doi: 10.35718/specta.v2i2.104.
- [25] J. Jn, U. H. Medan, and N. Panjaitan, "Analisa Struktur Mikro Dan Cacat Las Pada Proses Produksi," no. September 2018, 2012.
- [26] Moh Thoha Asy'ari, Mokh Hairul Bahri, and Nely Ana Mufarida, "Pengaruh Variasi Waktu Pendingin pada Sambungan Las Tipe Double V Groove Terhadap Kekuatan Tarik Material ASTM A36," *J. Mech. Des. Test.*, vol. 3, no. 1, pp. 20–32, 2021.

- [27] B. I. Olalere, J. O. Gidiagba, A. A. Fawole, B. A. Egbokhaebho, N. N. -Ehiobu, and J. I. Okparaeke, "Review of Advanced Welding and Testing for Safety in Offshore Oil and Gas," *Mater. Corros. Eng. Manag.*, vol. 4, no. 2, pp. 37–43, 2023, doi: 10.26480/macem.02.2023.37.43.
- [28] W. Soedarmadji, "Pengaruh Pengelasan Shielded Metal Arc Welding (SMAW) pada Mild Steel S45C di Daerah HAZ dengan Pengujian Metalografi," *Mech. Manuf. Technol.*, vol. 1, no. 1, pp. 12–17, 2020, [Online]. Available: <https://jurnal.yudharta.ac.id/v2/index.php/jmmt%0AVolume>
- [29] A. Irawan, "Analisa Korosi pada Pipa Gas," *Ft Unnes*, no. August, pp. 1–24, 2016.
- [30] C. Mathiszik, J. Koal, J. Zschetsche, U. Füssel, and H. C. Schmale, "Non-destructive characterization of resistance projection welded joints by ultrasonic and passive magnetic flux density testing," *Weld. World*, vol. 68, no. 10, pp. 2671–2682, 2024, doi: 10.1007/s40194-024-01808-3.
- [31] A. Wieczorska and A. Kosoń-Schab, "Using Metal Magnetic Memory to Evaluate the Effect of Welding Method and Weld Temperature on Magnetic Field Strength in Structural Steel," *Materials (Basel)*, vol. 16, no. 15, 2023, doi: 10.3390/ma16155256.
- [32] X. Gao, C. Lan, D. You, G. Li, and N. Zhang, "Weldment Nondestructive Testing Using Magneto-optical Imaging Induced by Alternating Magnetic Field," *J. Nondestruct. Eval.*, vol. 36, no. 3, pp. 1–11, 2017, doi: 10.1007/s10921-017-0434-4.
- [33] D. Chauveau, "Review of NDT and process monitoring techniques usable to produce high-quality parts by welding or additive manufacturing," *Weld. World*, vol. 62, no. 5, pp. 1097–1118, 2018, doi: 10.1007/s40194-018-0609-3.
- [34] A. Dubov and S. Kolokolnikov, "Quality assessment of welded joints by the metal magnetic memory method compared to conventional NDT methods and means for materials' properties," *Abstr. 17th World Conf. Non-Destructive Test.*, pp. 25–28, 2008, [Online]. Available: <http://ndt.net/article/wcndt2008/papers/447.pdf>
- [35] A. Bhatia, "Introduction to Welding and Non-Destructive Testing (NDT)," no. 877, 2022, [Online]. Available: www.cedengineering.com
- [36] J. W. V. Alvarado, L. F. C. Garcia, M. T. Neira, and J. W. V. Flores, "Probability of Defects Detection in Welded Joints Using the Magnetic Particle Method," *Arch. Metall. Mater.*, vol. 69, no. 2, pp. 607–612, 2024, doi: 10.24425/amm.2024.149789.
- [37] N. I. Sumardani, N. I. Setiawan, B. W. Nuryadin, and D. Sumardani, "Defect Analysis of Carbonsteel Pipe Welding Connections Using Non-Destructive Testing with the Penetrant Test Method," *Risenologi*, vol. 5, no. 1, pp. 38–47, 2020, doi: 10.47028/j.risenologi.2020.51.72.
- [38] N. Rosli *et al.*, "Jurnal Teknologi," vol. 1, no. 2, pp. 1–6, 2015.
- [39] I. F. Efriandi, "Analysis of Penetrant Test Results of S355J2 Steel Welding Connections for Qualification Welding," *J. Metall. Eng. Process. Technol.*, vol. 4, no. 1, p. 41, 2023, doi: 10.31315/jmept.v4i1.7869.
- [40] M. Roskosz, "Czech Society for Nondestructive Testing METAL MAGNETIC MEMORY TESTING OF WELDED," pp. 219–228, 2010.
- [41] J. R. Deepak, V. K. Bupesh Raja, D. Srikanth, H. Surendran, and M. M. Nickolas, "Non-destructive testing (NDT) techniques for low carbon steel welded joints: A review and experimental study," *Mater. Today Proc.*, vol. 44, no. January, pp. 3732–3737, 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2020.11.578.
- [42] A. Zolfaghari, A. Zolfaghari, and F. Kolahan, "Reliability and sensitivity of magnetic particle nondestructive testing in detecting the surface cracks of welded components," *Nondestruct. Test. Eval.*, vol. 33, no. 3, pp. 290–300, 2018, doi: 10.1080/10589759.2018.1428322.
- [43] C. Pei, H. Liu, J. Qiu, T. Liu, and Z. Chen, "Progress on the ultrasonic testing and laser thermography techniques for NDT of tokamak plasma-facing components," *Theor. Appl. Mech. Lett.*, vol. 9, no. 3, pp. 180–187, 2019, doi: 10.1016/j.taml.2019.03.011.
- [44] D. Santos *et al.*, "Non-Destructive Inspection of High Temperature Piping Combining Ultrasound and Eddy Current Testing," *Sensors*, vol. 23, no. 6, 2023, doi: 10.3390/s23063348.

- [45] J. F. Saillant, R. Marlier, F. Navacchia, and F. Baqué, "Ultrasonic transducer for non-destructive testing of structures immersed in liquid sodium at 200 °c," *Sensors (Switzerland)*, vol. 19, no. 19, pp. 1–13, 2019, doi: 10.3390/s19194156.
- [46] C. Chris Roshan, H. Vasanth Ram, and J. Solomon, "Non-destructive testing by liquid penetrant testing and ultrasonic testing-A review," *Int. J. Adv. Res. Ideas Innov. Technol.*, vol. 5, no. 2, pp. 694–697, 2019, [Online]. Available: www.IJARIT.com
- [47] G. Diot, A. Koudri-David, H. Walaszek, S. Guégan, and J. Flifla, "Non-destructive testing of porosity in laser welded aluminium alloy plates: Laser ultrasound and frequency-bandwidth analysis," *J. Nondestruct. Eval.*, vol. 32, no. 4, pp. 354–361, 2013, doi: 10.1007/s10921-013-0189-5.
- [48] T. Endramawan and A. Sifa, "Non Destructive Test Dye Penetrant and Ultrasonic on Welding SMAW Butt Joint with Acceptance Criteria ASME Standard," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 306, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1757-899X/306/1/012122.
- [49] Z. Bin Lin, F. Azarmi, Q. Al-Kaseasbeh, M. Azimi, and F. Yan, "Advanced Ultrasonic Testing Technologies with Applications to Evaluation of Steel Bridge Welding - An Overview," *Appl. Mech. Mater.*, vol. 727–728, no. March, pp. 785–789, 2015, doi: 10.4028/www.scientific.net/amm.727-728.785.
- [50] D. Stocco and R. Gr, "Comparison between in-line ultrasonic monitoring of the spot weld quality and conventional NDT methods applied in a real production environment," *Proc. 17th World ...*, pp. 25–28, 2008, [Online]. Available: <http://212.8.206.21/article/wcndt2008/papers/247.pdf>
- [51] K. P. Widiatmika, "No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における健康関連指標に関する共分散構造分析Title," *Etika Jurnalisme Pada Koran Kuning Sebuah Stud. Mengenai Koran Lampu Hijau*, vol. 16, no. 2, pp. 39–55, 2015.
- [52] A. Juengert *et al.*, "Advanced ultrasonic techniques for nondestructive testing of austenitic and dissimilar welds in nuclear facilities," *AIP Conf. Proc.*, vol. 1949, no. May 2012, 2018, doi: 10.1063/1.5031581.
- [53] D. Ulbrich, J. Kowalczyk, M. Jósko, and J. Selech, "The analysis of spot welding joints of steel sheets with closed profile by ultrasonic method," *Case Stud. Nondestruct. Test. Eval.*, vol. 4, pp. 8–14, 2015, doi: 10.1016/j.csndt.2015.09.002.
- [54] K. J. Langenberg *et al.*, "Application of modeling techniques for ultrasonic austenitic weld inspection," *NDT E Int.*, vol. 33, no. 7, pp. 465–480, 2000, doi: 10.1016/S0963-8695(00)00018-9.
- [55] S. Yamamoto *et al.*, "Defect detection in thick weld structure using welding in-process laser ultrasonic testing system," *Mater. Trans.*, vol. 55, no. 7, pp. 998–1002, 2014, doi: 10.2320/matertrans.I-M2014809.