



Paper

Analisis Hasil Pengujian Tak Merusak pada Sambungan *Superheater* Boiler

Muhammad Nafial Hadi¹, Haris Abizar², Arif Maulana³

¹Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Jl. Ciwaru Raya No. 25, Serang-Banten, 42117, Indonesia

³PT IHI Power Service Indonesia, Jl. Raya Bojonegara-Salira, Serang-Banten, 42454, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Sejarah Artikel:

Diterima Redaksi: 14 September 2024

Revisi Akhir: 30 Oktober 2024

Diterbitkan Online: 02 Desember 2024

KATA KUNCI

Superheater, uji tak merusak uji visual, uji *penetrant*, uji ultrasonik.

KORESPONDENSI

E-mail: nafialhadi1@gmail.com

ABSTRACT

Perkembangan aktivitas hidup manusia selalu berbanding lurus dengan seberapa besar konsumsi energinya tiap hari. Energi listrik merupakan salah satu sumber energi yang dimanfaatkan manusia dalam berbagai kebutuhannya. Sehingga ketersediaan energi listrik merupakan hal yang krusial di zaman modern ini. Boiler mengambil peran penting dalam proses pembangkitan energi listrik. Sehingga bila boiler rusak, maka berbagai aktivitas manusia dapat terhambat bila tidak ada substitusinya. Oleh karenanya, kualitas komponen boiler adalah aspek penting yang harus selalu diperhatikan dalam proses produksinya. Salah satu cara untuk menjaga kualitas pada proses fabrikasinya adalah dengan melakukan berbagai pengujian, dalam hal ini, pengujian pada sambungan las yang telah dibuat menjadi fokus utama penelitian ini. Pengujian yang digunakan adalah pengujian tak merusak dengan visual test, liquid *penetrant* test, dan ultrasonic test pada komponen boiler, yaitu *superheater* yang merupakan jenis pipa bertekanan tinggi pada boiler dengan standar sesuai ASME *Section V*. Pengujian dilakukan secara bertahap, yaitu pengujian visual, berikutnya dengan uji cairan penetran dan terakhir dengan uji ultrasonik. Adapun hasil dari pengujiannya adalah sambungan las pada tahap fabrikasi *superheater* diterima dan dapat dilanjut pada tahap selanjutnya yaitu dirakit dengan komponen boiler yang lain.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan industri manufaktur selalu berbanding lurus dengan banyaknya aktivitas yang dapat dilakukan manusia sehari-hari. Saat ini manusia lebih banyak menggunakan energi listrik untuk menunjang kehidupan sehari-hari mereka dibanding penggunaan energi lainnya. Suplai listrik yang besar inilah yang berusaha ditunjang oleh berbagai jenis pembangkit listrik, khususnya pada PLTU yang memanfaatkan uap air bertekanan tinggi untuk memutar generator dan mengubahnya menjadi energi listrik.

Boiler mengambil peran vital dalam rangkaian kerja PLTU karena tugasnya adalah memanaskan air dan membuatnya menjadi uap bertekanan tinggi, sehingga komponen didalamnya harus mampu menahan panas berlebih tanpa mengalami kebocoran dalam jangka waktu operasional yang panjang akibat korosi, aus, dan erosi akibat kondisi tekanan dan temperatur yang ekstrem. Oleh

karenanya setiap material yang dipakai pada boiler harus telah diuji kualitasnya agar dapat dimanfaatkan [1].

Komponen *pressure pipe* pada boiler merupakan komponen pipa yang didalamnya terkandung uap atau air demineralisasi bertekanan yang tujuan akhirnya adalah untuk memutar turbin dan generator. Adapun komponen pipa bertekanan pada boiler antara lain *economizer*, *superheater*, dan *reheater*. [2] *Economizer* adalah pipa yang digunakan untuk memanaskan air hingga mendekati titik jenuh sebelum air masuk ke *steam drum*. Caranya dengan memanfaatkan panas sisa pembakaran yang sudah diserap pada pipa boiler pada *furnace*, *superheater*, dan *reheater*. Karenanya posisi ekonomizer terletak diujung boiler sebelum gas panas dibuang keluar. Komponen ekonomizer diperlukan agar tidak terjadi thermal shock ketika air masuk ke *steam drum*. Sekaligus untuk meningkatkan efisiensi dengan memanfaatkan gas panas.

Superheater adalah komponen boiler yang berguna untuk mengubah uap air jenuh menjadi uap panas lanjut dengan memanfaatkan gas hasil pembakaran [3]. Uap yang

telah dipisahkan dari *steam drum* masih berupa uap jenuh atau uap basah. Jika dipakai untuk memutar turbin menyebabkan kerusakan. Karena itu uap basah ini perlu dipanaskan lagi di *superheater* agar menjadi uap yang lebih panas (*superheat*). Baru setelahnya dapat digunakan untuk memutar turbin. Adapun *reheater* adalah komponen boiler yang digunakan untuk menaikkan kembali temperatur uap yang telah dipakai memutar turbin, yang nantinya uap yang kembali panas itu dipakai untuk memutar turbin agar dapat meningkatkan efisiensi. [4].

Pengelasan yang digunakan yaitu GTAW (*gas tungsten arc welding*) karena pengelasan busur ini mampu melakukan penyambungan logam dengan tungsten sebagai bahan tambahannya. Penggunaan pengelasan jenis GTAW juga dapat menghasilkan sambungan las yang lebih rapih karena tidak menghasilkan terak. Gas pelindung utama yang paling umum digunakan dalam pengelasan GTAW adalah argon, karena sifatnya yang tidak bereaksi dengan logam yang sedang dilas dan memberikan perlindungan yang efektif untuk sambungan las [5].

Berbagai jenis cacat/diskontinuitas dapat ditimbulkan akibat berbagai faktor, diantaranya adalah tidak tepatnya nilai parameter las, tidak tepatnya jenis elektroda dan/atau jenis gas pelindung yang dipakai, keterampilan dari *welder* tersebut, hingga faktor lingkungan yang mungkin ditimbulkan. Pada permukaan sambungan las diantaranya terdapat jenis cacat retak/crack, porositas, *incomplete penetration*, *undercut*, *spatter*, *overlap*, dsb. Sedangkan dibawah permukaan, terdapat jenis diskontinuitas seperti retakan dalam, *porosity*, *slag inclusion*, *lack of fusion*, dsb. Toleransi dari keberadaan diskontinuitas hasil las diatur dalam standar internasional seperti ASME Section V 2019 mengenai *Nondestructive Examination*, AWS D1.1/D1.1M:2020 "*Structural Welding Code - Steel*", ISO 5817 Tahun 2014, dsb.

Tentunya sambungan las yang memiliki cacat/diskontinuitas bersifat merugikan karena menurunkan kualitas dari produk yang di las, dalam penelitian ini adalah boiler. Oleh karenanya pengujian hasil las adalah pekerjaan yang wajib dilakukan untuk memastikan bahwa produk yang telah dilas memiliki kualitas yang tinggi dan mampu dipakai dalam jangka waktu yang telah diperhitungkan. [2] [6]

Pengujian hasil las terbagi menjadi dua jenis, yaitu pengujian merusak/*Destructive Test* (DT) dan pengujian tak merusak/*Non-Destructive Test* (NDT). Contoh dari pengujian merusak adalah uji kekerasan, uji tarik, uji kelenturan dan uji impak. Sedangkan contoh dari contoh dari pengujian tak merusak adalah *penetrant test*, *visual test*, *radiography test*, *magnetic test*, *ultrasonic test*, dan *eddy current test*.

Adapun pengujian tak merusak yang dipakai adalah uji visual, uji cairan penetran dan uji ultrasonik. Karakteristik, kriteria dan toleransi hasil pengujian dari

visual test, *liquid penetrant test*, dan *ultrasonic test*, yang didapat telah diatur ASME Section V. dari standar itulah nantinya akan ditentukan apakah hasil pengelasan dapat diterima, ditolak, atau harus diperbaiki.

Uji cairan penetran digunakan untuk mengetahui diskontinuitas yang terjadi pada permukaan sambungan las dengan menggunakan prinsip kapilaritas. Uji cairan penetran memiliki kelebihan mudah digunakan oleh operator, mudah untuk menginterpretasikan hasil pengujian, rendahnya modal yang harus dikeluarkan untuk membeli bahan-bahan perlengkapan penetran seperti majun/lap kain, cairan penetran merah atau hijau, cairan *developer*, dan cairan pembersih. Adapun kekurangannya adalah tidak dapat mendeteksi cacat yang berada didalam sambungan/*sub-surface*, serta memerlukan waktu/ *dwell time* agar cairan penetran dapat masuk kedalam celah-celah pada permukaan sambungan las.

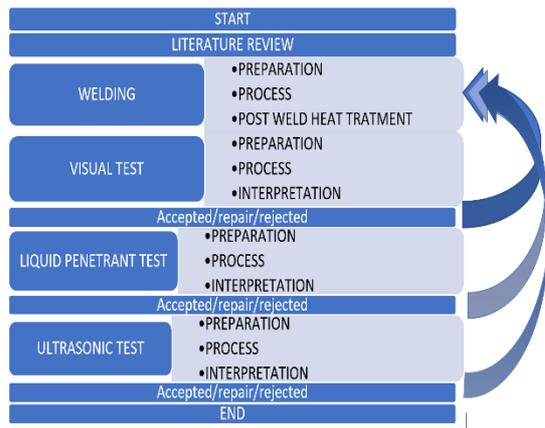
Uji ultrasonik adalah pengujian tak merusak yang memanfaatkan gelombang ultrasonik untuk mendeteksi adanya cacat pada permukaan dan didalamnya. Adapun kelebihanannya adalah proses pengujiannya cenderung cepat dan langsung terlihat dalam layar. Namun kekurangan pengujian ini memerlukan keahlian operator yang mampu untuk mengkalibrasi, mengoperasikan, dan menerjemahkan hasil dalam layar, serta memerlukan modal besar untuk membeli alat dan bahannya.

Penelitian yang dilakukan oleh Zahrul Bawazir, et al. [7] mengenai hasil uji cairan penetran pada pengelasan SMAW pada pipa AISI C-1020 adalah tidak adanya diskontinuitas pada permukaan sambungan lasnya. Sedangkan penelitian yang dilakukan Endramawan & Sifa [8] yang meneliti hasil uji ultrasonik pada pengelasan SMAW 3G mampu mendeteksi cacat las pada sambungan butt joint dengan menggunakan pengelasan SMAW pada posisi 3G.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil pengujian tak merusak pada sambungan las pada superheater ini. Dengan dilakukannya uji tak merusak ini peneliti akan mengetahui bagaimana kualitas dari sambungan las ini tanpa harus merusak sambungan las yang telah dibuat pada komponen yang nantinya akan dipasangkan didalam boiler ini sebagai salah satu komponen bertekanan tinggi.

2. METODE

Metode yang dipakai dalam penelitian ini adalah metode studi kasus. Adapun alur penelitiannya adalah studi pustaka, persiapan peralatan, perlengkapan dan bahan pengelasan, pelaksanaan pengelasan, persiapan perlengkapan uji cairan penetran, pelaksanaan uji cairan penetran, persiapan perlengkapan uji ultrasonik, pelaksanaan uji ultrasonik, dan interpretasi hasil pengujian.



Gambar 1 Diagram Alur Penelitian

a. Studi pustaka

Studi pustaka adalah tahap awal dimana penulis mempelajari referensi dan data yang akan dijadikan dasar untuk pelaksanaan penelitian. Cakupan referensinya diantaranya adalah aturan standar pada ASME dan AWS, artikel ilmiah, dan WPS yang berkaitan dengan pengelasan, dan pengujian tak merusak. Setelah didapat pemahaman dari berbagai referensi, maka ditetapkan rumusan masalah dan tujuan dari penelitian.

b. Persiapan peralatan, bahan, dan parameter dalam pengelasan

Selanjutnya adalah tahap persiapan peralatan, bahan, dan parameter yang akan dipakai dalam pengelasan sebagai berikut.

- 1) Mesin las GTAW
- 2) Welding helmet
- 3) Welding glooves
- 4) Apron
- 5) Safety shoes
- 6) Blander oxy-acetylene
- 7) Stube pipe
- 8) Header pipe
- 9) Elektroda ER90S-B9 dengan diameter 2,0 mm

Adapun parameter pengelasannya adalah

- 1) *Preheat temperature*: 205 – 300 °C
- 2) Jenis gas pelindung adalah argon dengan *flow rate* 15 – 20 Liter/Min.
- 3) *Range Amperes*: 75 – 200 A (dari *root pass* hingga *capping*)
- 4) Jenis arus dan polaritasnya adalah DCEN (*Direct Current Electrode Negative*)
- 5) Range Tegangan: 8 – 16 Volts
- 6) Travel speed: 40 -160 mm/min

Berikut parameter dalam melakukan PWHT

- 1) Temperature range adalah 745 – 775 °C
- 2) Waktu pemanasan menyesuaikan luas permukaan HAZ, yaitu 1 jam/inch bila luas permukaan HAZ dibawah 5 inch.

c. Proses pengelasan

Selanjutnya adalah proses pengelasan. Adapun langkah-langkah pengelasan sebagai berikut.

- 1) siapkan peralatan, perlengkapan, dan bahan yang dibutuhkan
- 2) atur parameter pengelasan seperti arus, tegangan, polaritas
- 3) bersihkan bahan hingga kering dari debu, karat, dan cairan
- 4) pemanasan awal (*preheating*) hingga suhu bahan ada pada 205 °C – 300 °C
- 5) Melakukan *tack weld* dengan jarak 3- mm dari sisi masing-masing bevel
- 6) *back-purging* dengan gas argon murni untuk mencegah diskontinuitas pada sisi belakang logam yang dilas.
- 7) pengelasan *Rootpass* dengan filler metal ER90S-B9 dengan diameter 2.0 mm, DCEP, arus 75-200 A dan 8-16 V, sesuai WPS (*Welding Prosedure Specification*) dan standart ASME IX (*American Society of Mechanical Engineers*)
- 8) Pengelasan *hotpass* dan *capping* dengan filler metal yang sama dengan *rootpass*. Begitu pula dengan parameter yang lain
- 9) *post weld heat treatment* (QW-407) dilakukan pada rentang 745 – 775 °C konstan pada waktu menyesuaikan luas permukaan yang dipanaskan. Bila luasnya dibawah 5inch maka waktunya adalah 1 jam tiap inch. bila lebih dari 5 inch, maka waktu pemanasannya 5 jam ditambah kelipatan 15 menit tiap penambahan inch nya.

d. Persiapan uji visual

adapun peralatan dan perlengkapan yang disiapkan dalam uji visual sebagai berikut.

- 1) Senter
- 2) Spidol/marker
- 3) cermin
- 4) Sarung tangan
- 5) Safety helmet
- 6) Alat ukur (*welding gauge*)

e. Langkah-langkah uji visual

- 1) siapkan peralatan dan perlengkapan yang diperlukan
- 2) periksa dimensi dari sambungan las yang dibuat, panjang, lebar, dan tingginya
- 3) perhatikan sambungan las secara detail dari adanya diskontinuitas seperti *undercut*, *porositas*, *excess weld*, *incomplete fusion*, *spatter* dan jenis diskontinuitas lainnya

- 4) tandai dengan spidol dan ukur dimensi dari diskontinuitas yang ada dengan *welding gauge* agar memudahkan welder untuk melakukan perbaikan
- 5) lakukan interpretasi hasil uji, dimana letak diskontinuitas yang masih diperbolehkan, dan mana yang harus diperbaiki
- 6) catat dalam laporan dan dokumentasikan diskontinuitas yang ditemukan pada permukaan sambungan las.

f. Persiapan uji cairan *penetrant*

berikut adalah persiapan peralatan dan perlengkapan yang dibutuhkan

1. Spidol/marker
2. senter
3. penggaris atau *welding gauge*
4. sikat baja
5. kuas
6. cermin
7. *safety helmet*

berikut adalah proses persiapan bahan untuk uji liquid *penetrant*

1. cairan *cleaner*
2. cairan *penetrant* berjenis *solvent removable*
3. cairan *developer*
4. majun atau lap kain
5. masker
6. sarung tangan

g. proses uji cairan *penetrant*

berikut ini langkah kerja melakukan uji dengan liquid *penetrant*

- 1) siapkan peralatan dan bahan yang diperlukan
- 2) *precleaning*, yaitu pembersihan spesimen uji dari debu dan karat menggunakan *cleaner* yang disemprotkan ke majun
- 3) oleskan cairan *penetrant* dengan kuas dengan merata
- 4) *dwell time penetrant* selama 5 - 10 menit agar cairan *penetrant* dapat masuk ke celah-celah diskontinuitas yang ada
- 5) bersihkan sambungan las dari *penetrant* dengan menggunakan *cleaner*, cara pembersihannya sama seperti proses *precleaning*. Lakukan terus hingga permukaan sambungan las bersih dari cairan penetran yang tersisa
- 6) semprotkan cairan *developer* ke sambungan las yang telah dibersihkan dari penetran
- 7) *dwell time developer* selama 15 menit agar cairan *developer* dapat mengeluarkan penetran yang berada dalam celah-celah permukaan.
- 8) Dokumentasi dan Interpretasi hasil uji dilakukan dengan bantuan senter, setiap indikasi *bleedout* ditandai dan diukur diameter atau lebarnya agar dapat diketahui nilai toleransinya

sesuai dengan standar ASME *section V* tahun 2017.

- 9) Bersihkan *developer* dan penetran yang masih tersisa disambungan las
- 10) Lakukan proses repair sambungan las bila ada indikasi yang diluar batas toleransi
- 11) Pembuatan report inspection

h. persiapan uji ultrasonik

berikut peralatan dan perlengkapan yang digunakan untuk proses uji ultrasonik

- 1) *Ultrasonic Machine*
- 2) *Transducer*
- 3) *Couplants*
- 4) *Display Unit/flaw detector*
- 5) *Reference Metal*
- 6) *Marker or Pen*
- 7) Majun/kain lap
- 8) *Safety helmet*
- 9) Masker
- 10) Sarung tangan

i. Proses uji ultrasonik

berikut adalah langkah-langkah melakukan pengujian tak merusak dengan *ultrasonic test*

- 1) Persiapan: Siapkan bahan yang akan diperiksa dan pastikan permukaannya bersih dari kotoran atau lapisan yang dapat mengganggu kontak akustik. Pastikan juga mesin ultrasonik dalam kondisi baik dan terkalibrasi dengan benar.
- 2) Penyusunan Transduser: Tempatkan transduser pada permukaan bahan yang akan diperiksa. Pastikan kontak akustik yang baik dengan menggunakan kopleng. Kopleng akan membantu transmisi gelombang ultrasonik dari transduser ke bahan yang diperiksa.
- 3) Pengiriman Gelombang Ultrasonik: Hidupkan mesin ultrasonik dan kirimkan gelombang ultrasonik melalui transduser ke dalam bahan yang diperiksa. Gelombang ini akan merambat melalui bahan dan akan dipantulkan oleh batas antarmuka dan cacat di dalamnya.
- 4) Penerimaan Gelombang Ultrasonik: Transduser juga berfungsi sebagai penerima gelombang ultrasonik yang dipantulkan kembali. Gelombang yang dipantulkan ini akan mengandung informasi tentang struktur bahan dan adanya cacat di dalamnya.
- 5) Analisis dan Interpretasi: Sinyal yang diterima oleh transduser dianalisis menggunakan penyaji gambar. Gambar atau grafik yang dihasilkan akan menunjukkan adanya cacat seperti retak, void, atau inhomogenitas dalam bahan. Cacat ini dapat diidentifikasi dan diinterpretasikan oleh seorang operator berpengalaman.

- 6) Tindak Lanjut: Jika cacat terdeteksi, langkah selanjutnya akan bergantung pada tujuan pengujian. Ini bisa termasuk penandaan cacat yang terdeteksi pada permukaan bahan untuk tindakan perbaikan lebih lanjut, pengujian lebih lanjut dengan metode lain atau pengambilan sampel bahan untuk analisis laboratorium.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Hasil uji visual

Pada umumnya, setelah pengelasan selesai dilakukan, welder pun akan melakukan inspeksi visual secara keseluruhan sebelum inspeksi dilakukan oleh *welding inspector* atau *NDT inspector*. Pengujian visual yang dilakukan adalah dengan mengecek konsistensi lebar dan ketinggian sambungan las, serta konsistensi ukuran manik-manik las. faktor yang dinilai adalah kerapihan, dan konsistensi hasil pengelasan yang telah dilakukan oleh welder.

Hasil yang didapat pada uji visual adalah permukaan jalur las yang telah welder buat termasuk dalam kategori layak/acceptance dan harus diuji pada tahap selanjutnya untuk diketahui apakah ada diskontinuitas atau tidak dibawah permukaannya. [10]

Pada contoh sambungan antara stub dan header dibawah, terlihat bahwa sambungan las sudah masuk dalam kategori layak secara visual. Hal itu terlihat dari konsistensi lebar, dan tinggi sambungan las itu.



Gambar 2 hasil pengelasan *stube to header*

b. Hasil uji cairan penetran

Pada pengujian dengan cairan penetran, kriteria hasil uji yang dapat diterima adalah tidak adanya *bleedout* dengan diameter $>5\text{mm}$ sesuai dengan aturan dari ASME Section V Article 6 Mengenai *Liquid Penetrant Examination*. [11]

bleedout adalah sebuah indikasi yang ditandai dengan keluarnya cairan penetran dari celah/lubang kecil di sambungan las setelah dilakukan proses *developing*.

Cairan penetran itu masuk pada lubang sambungan las dan tidak ikut terbawa keluar pada saat pembersihan penetran dilakukan, dan hanya dapat keluar setelah proses penyemprotan cairan *developer* dilakukan.



Gambar 3 uji penetran

Pada pengujian cairan penetran yang dilakukan, terdapat 2 indikasi diskontinuitas yang ukuran diameternya melebihi 5 mm, sehingga pada bagian itu diharuskan untuk direpair dan di las ulang. Namun secara keseluruhan hasil pengujian cairan penetran itu adalah diterima dan dapat dilakukan pengujian selanjutnya untuk mengetahui diskontinuitas yang ada dibawah permukaan sambungan las.

c. Hasil uji ultrasonik

Uji ultrasonik dilakukan untuk mengetahui keberadaan *defect* atau diskontinuitas yang berada dibawah permukaan las tanpa merusak hasil sambungan yang telah di las. Cacat atau diskontinuitas yang mungkin terdapat dibawah permukaan las diantaranya adalah *porosity*, *internal cracking*, *pin hole*, *slag* atau *tungsten inclusion*, dll. [12]

Pada pengujian *superheater* ini dengan menggunakan ultrasonic test, tidak ditemukan indikasi cacat menurut ASME Section V Article 4 sehingga sambungan las di *superheater* ini dinyatakan diterima/acceptance.



Gambar 4 proses uji ultrasonik

Setelah uji ultrasonik dilaksanakan, tahap selanjutnya adalah perakitan. Pada tahap itu, *superheater* yang telah diuji ini akan disambung dengan komponen bertekanan lain didalam boiler seperti *reheater*, *economizer*, dan lain-lain. Tentunya komponen yang lain pun harus melewati fase pengujian kualitas sambungan las agar didapat hasil yang baik dan dapat digunakan dalam waktu yang lama.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

- a. Permukaan Sambungan las yang telah diuji dengan *visual test* mendapat kriteria acceptance sesuai dengan standar ASME *section V Article 9* sehingga layak untuk diuji secara lebih lanjut
- b. Sambungan las yang telah diuji dengan liquid *penetrant test* secara umum mendapat kriteria acceptance sesuai dengan standar ASME *section V Article 6* walau ada beberapa titik yang harus di perbaiki. Setelah diperbaiki, sambungan las pada superheater dapat di uji secara lebih mendalam dengan *ultrasonic test*
- c. Permukaan dan didalam permukaan las yang telah diuji mendapat hasil uji *acceptance* dan dapat dilanjut proses fabrikasinya yaitu proses perakitan, dan pengecatan dengan komponen boiler lainnya seperti *reheater*, *economizer*, dan komponen lainnya.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam kelancaran penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Oksa, M., et al. (2011), "Optimization and characterization of high velocity oxy-fuel sprayed coatings: Techniques, materials, and applications." *Coatings*, 1(1), 17–52.
- [2] Walidi, M., et al. (2023), Kajian Thermal Spray Coating dengan Teknologi High Velocity Oxy-Fuel (HVOF) serta Perlakuan Pasca Prosesnya sebagai Pelindung Boiler Tubes Pembangkit Listrik Tenaga Uap. *Jurnal Penelitian Inovatif (JUPIN)*. 3 (1). 41-60.
- [3] Khoiril Rohmat, I., et al. (2023), "Analisis Hoding Time Post Weld Heat Treatment (PWHT) pada Pengelasan Material SA-213 Grade T91 dengan Sa-213 Grade T22 untuk Aplikasi Boiler." *Jurnal Rekayasa Mesin (JRM)*. 14 (1). 317-329.
- [4] M. Muhdor, H. Abdillah, and M. Sidik, "ANALISA PEMELIHARAAN MESIN BUBUT DENGAN FAULT TREE ANALYSIS (FTA) DAN FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS (FMEA) DI CV. MAJA TEKNIK, PANDEGLANG," *J. Vocat. Educ. Automot. Technol.*, vol. 5, no. 2, pp. 174–183, 2023.
- [5] Naufal, A., et al. (2016), Pengaruh Kuat Arus Listrik dan Sudut Kampuh V terhadap Kekuatan Tarik dan Tekuk Aluminium 5083 Pengelasan GTAW. *Jurnal Teknik Perkapalan*. 4 (1). 256 – 265
- [6] H. Abdillah, R. Irawan, and others, "ANALISA KEKERASAN MATERIAL HASIL ANNEALING PADA PIPA LONG ELBOW MATERIAL STAINLESS STEEL ASTM 304 L MENGGUNAKAN HARDNESS TESTER," *Accurate J. Mech. Eng. Sci.*, vol. 4, no. 02, pp. 1–5, 2023.
- [7] Zahrul Bawazir, M., Sariyusda, and Darmein. (2022), "Analisa Hasil Pengelasan SMAW pada Sistem Sambungan Pipa AISI c-1020 Steam H2O2 (Boiler) secara DT dan NDT pada PT. Pupuk Iskandar Muda." *Jurnal Mesin Sains Terapan* 6 (2). 104-109.
- [8] Endramawan, T., and Sifa, A. (2017), "Analisa Hasil Pengelasan SMAW 3G menggunakan NDT Metode Ultrasonic Test berdasarkan Standar ASME." *Seminar Nasional Teknologi dan Rekayasa (SENTRA)*. 1-9.
- [9] H. Abdillah, R. Irawan, and others, "ANALISA KEKERASAN MATERIAL HASIL ANNEALING PADA PIPA LONG ELBOW MATERIAL STAINLESS STEEL ASTM 304 L MENGGUNAKAN HARDNESS TESTER," *Accurate J. Mech. Eng. Sci.*, vol. 4, no. 02, pp. 1–5, 2023.
- [10] R. Veronika, H. Abdillah, I. K. Nainggolan, and others, "PENGARUH PARAMETER PENGELASAN TERHADAP HASIL UJI BENDING DENGAN STANDAR AWS PADA BAJA ASTM A36," *Mach. J. Tek. Mesin*, vol. 9, no. 2, pp. 5–14, 2023.
- [11] H. Febnesia, M. Nurtanto, I. Ikhsanudin, and H. Abdillah, "Pengaruh Model Pembelajaran Hybrid Learning Dengan Metode Tutor Sebaya Terhadap Hasil Pengelasan Pada Siswa SMKS Yabhinka," *Res. Dev. J. Educ.*, vol. 7, no. 2, pp. 532–543, 2021.