

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Tangki solar merupakan komponen kritis dalam berbagai aplikasi industri, seperti penyimpanan bahan bakar untuk pembangkit listrik, transportasi, dan fasilitas industri. Plat *shell*, sebagai bagian utama struktur tangki, harus memenuhi standar kekuatan, ketahanan terhadap korosi, dan kemampuan untuk menahan tekanan internal dari cairan yang disimpan. Dalam konteks ini, baja SS400 dipilih sebagai material untuk plat *shell* tangki solar karena sifat-sifatnya yang mendukung kebutuhan tersebut. Baja SS400 adalah baja karbon rendah dengan kandungan karbon maksimum 0,25%, yang dikenal memiliki kekuatan tarik yang baik (400–510 MPa), kemampuan pengelasan yang sangat baik, dan biaya produksi yang relatif ekonomis dibandingkan baja paduan lainnya. Ketebalan 6 mm dipilih karena Dalam pasal 5.6.3.2 dan 3.6.1.1 API 650 Jika *allowance* korosi tidak diperlukan, ketebalan minimum adalah 3/16 inci (4,76 mm) dan minimum ketebalan untuk diameter tangki < 15 meter adalah 5 mm. Untuk tangki penyimpanan solar, yang tergolong cairan korosif dan digunakan dalam waktu panjang, *allowance* korosi hampir selalu diperlukan. Oleh karena itu, ketebalan minimum pelat *shell* 6 mm.

Pemilihan baja SS400 untuk plat *shell* tangki solar juga didasarkan pada penggunaannya yang luas di industri Indonesia, khususnya dalam manufaktur tangki penyimpanan bahan bakar. Material ini kompatibel dengan proses pengelasan *Shielded Metal Arc Welding (SMAW)*, yang merupakan metode pengelasan manual yang banyak digunakan karena fleksibilitas dan kesederhanaannya. Namun, pengelasan *SMAW* pada baja SS400 rentan terhadap cacat las, seperti retak, porositas, atau inklusi, terutama jika parameter pengelasan, seperti kuat arus, tidak diatur dengan tepat. Cacat las ini dapat membahayakan integritas struktural tangki solar, yang berpotensi menyebabkan kebocoran atau kegagalan sistem, terutama mengingat sifat bahan bakar solar yang mudah terbakar dan berisiko tinggi Dalam proses fabrikasi tangki solar berbahan baja karbon rendah SS400 dengan ketebalan pelat 6 mm, pemilihan jenis kampuh yang tepat sangat krusial untuk menjamin kekuatan struktural, ketahanan terhadap tekanan internal, serta mencegah kebocoran yang dapat membahayakan lingkungan dan operasional. Penggunaan

metode pengelasan *SMAW* (*Shielded Metal Arc Welding*) pada pelat *shell* tangki memerlukan desain kampuh yang mampu memberikan penetrasi maksimal tanpa menyebabkan cacat las seperti *incomplete fusion* atau *lack of penetration*.

Pada aplikasi ini, kampuh X dengan sudut total 60 derajat dipilih karena jenis sambungan ini sesuai digunakan untuk penyambungan pelat dengan ketebalan 6–15 mm. Menurut Sonawan (2004), kampuh X terdiri dari dua sisi kampuh V yang saling berhadapan, dengan sudut kampuh 60°–80°, jarak akar sekitar 2 mm, dan tinggi akar 1–2 mm. Desain geometris kampuh X memberikan akses optimal bagi elektroda ke akar kampuh dari kedua sisi, sehingga menghasilkan penetrasi penuh (*full penetration*) dan mengurangi risiko terjadinya cacat pada area akar. Selain itu, penggunaan kampuh X dinilai efisien karena menyeimbangkan volume logam pengisi cukup besar untuk menjamin kekuatan sambungan, namun tidak berlebihan sehingga tidak meningkatkan risiko distorsi akibat panas berlebih. Dalam praktiknya, kampuh X dengan sudut 60 derajat pada pelat setebal 6 mm juga meminimalkan kebutuhan pengelasan tambahan dari sisi belakang, serta mendukung konsistensi kualitas hasil las pada posisi horizontal 1G yang umum digunakan dalam industri fabrikasi tangki. Oleh karena itu, pemilihan kampuh X dengan sudut 60 derajat merupakan solusi teknis optimal yang mempertimbangkan aspek kekuatan mekanik, efisiensi proses, dan mutu sambungan, serta sejalan dengan standar prosedur pengelasan industri yang berlaku. Dalam proses pengelasan pelat *shell* tangki solar berbahan baja karbon rendah SS400 dengan ketebalan 6 mm menggunakan metode *SMAW* (*Shielded Metal Arc Welding*), pemilihan jenis dan ukuran elektroda menjadi faktor krusial dalam menjamin mutu hasil las, efisiensi proses, serta kekuatan sambungan.

Pada penelitian ini digunakan dua jenis elektroda sesuai dengan standar *AWS A5.1*, yaitu: Elektroda E7018 untuk filler dan capping pass, keduanya dengan diameter 2,6 mm.

Intelligentia - Dignitas

sambungan. Setelah lapisan akar terbentuk dengan sempurna, proses dilanjutkan menggunakan E7018 untuk filler dan capping pass. Elektroda ini termasuk dalam kategori low hydrogen, yang memberikan hasil las halus, percikan rendah, dan ketahanan tinggi terhadap retak akibat hidrogen (*hydrogen-induced cracking*). Selain itu, lapisan flux pada E7018 menghasilkan busur stabil dan penampilan manik las yang bersih, sehingga sangat sesuai untuk posisi 1G (datar) pada fabrikasi tangki solar. Kedua elektroda yang digunakan memiliki diameter 2,6 mm, ukuran ini secara teknis ideal untuk pelat dengan ketebalan 6 mm karena mampu memberikan pengendalian busur yang baik, penetrasi cukup dalam tanpa risiko burn-through, serta stabilitas pengisian lapis demi lapis yang optimal. Arus pengelasan yang direkomendasikan untuk kombinasi ini berada pada kisaran 60–90 Ampere, yang memberikan keseimbangan antara penetrasi dan kontrol panas selama proses pengelasan. Dengan demikian, elektroda E7018 untuk filler serta capping pass dengan diameter 2,6 mm merupakan pendekatan teknis yang sesuai dengan standar AWS, dan mampu menghasilkan sambungan las yang kuat, bebas cacat, serta memenuhi persyaratan mutu dan keselamatan pada aplikasi tangki bahan bakar berbahan baja karbon rendah SS400 dalam proses pengelasan pelat *shell* tangki solar berbahan SS400.

Dalam proses pengelasan pelat *shell* tangki solar berbahan baja karbon rendah SS400 dengan ketebalan 6 mm menggunakan metode *SMAW* (*Shielded Metal Arc Welding*), teknik gerakan elektroda memiliki peranan yang sangat penting dalam menentukan kualitas hasil las, terutama dalam pembentukan manik las yang merata, penetrasi optimal, serta pencegahan cacat pengelasan. Pada penelitian ini digunakan elektroda E7018 untuk filler serta capping pass, keduanya berdiameter 2,6 mm, dengan rentang arus 70 A, 80 A, dan 90 A. Arus tersebut dipilih untuk menyesuaikan karakteristik pelat berketebalan menengah (6 mm), agar input panas tetap terkendali tanpa menyebabkan burn-through atau distorsi termal.

Teknik yang diterapkan adalah gerakan *zig-zag* kecil, yaitu pola ayunan elektroda lateral dengan sudut sempit dan ritme pendek. Pola ini memberikan kendali yang baik terhadap lebar manik las dan distribusi panas, sehingga sangat cocok untuk kampuh X dengan sudut 60°.

, gerakan zig-zag kecil membantu mencapai fusi sempurna di akar kampuh serta menjamin penetrasi penuh (full penetration) tanpa meninggalkan celah akar (root gap defect). Selanjutnya, pada proses filler dan capping pass menggunakan E7018, teknik yang sama diterapkan untuk menjaga keseragaman pengisian logam las, mengurangi percikan, serta menghasilkan permukaan las yang halus dan bebas cacat. Pola gerakan ini juga berperan penting dalam menghindari cacat las seperti undercut, porositas, dan slag inclusion, yang umumnya disebabkan oleh gerakan elektroda yang tidak konsisten atau pengendalian busur yang kurang stabil. Selain itu, penerapan gerakan zig-zag kecil dengan parameter arus memberikan stabilitas busur yang baik, distribusi panas merata, serta pengendalian kolam las yang optimal, terutama pada posisi horizontal (1G) yang umum digunakan untuk pengelasan *shell* tangki horizontal.

Dengan demikian, penerapan pola gerakan zig-zag kecil pada elektroda E7018 berdiameter 2,6 mm serta kampuh X 60° merupakan strategi teknis yang efektif dan efisien dalam menghasilkan sambungan las yang kuat, halus, bebas cacat, serta memenuhi standar kualitas pengelasan tangki bahan bakar SS400. Pemilihan teknik gerakan elektroda yang tepat terbukti menjadi salah satu parameter krusial dalam menjamin keberhasilan, konsistensi, dan keandalan struktural tangki solar.

Metode *weight loss* adalah teknik yang digunakan untuk mengukur laju korosi dengan cara mengamati penurunan berat spesimen baja setelah direndam dalam larutan korosif selama periode tertentu. Metode ini dianggap efektif karena memberikan hasil yang kuantitatif dan mudah diinterpretasikan. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Mulyaningsih et al. (2018),

Dalam penelitian ini, penentuan waktu perendaman menjadi salah satu faktor penting dalam pengujian laju korosi pelat baja karbon rendah SS400. Karena media yang digunakan bukan larutan elektrolit, melainkan solar (bahan bakar diesel), maka laju reaksi korosi cenderung lebih lambat dibandingkan pengujian dalam larutan *NaCl*. Oleh karena itu, waktu perendaman diperpanjang menjadi 168 jam (7 hari) untuk memastikan proses korosi dapat teramatid dengan jelas dan menghasilkan data yang representatif terhadap kondisi sebenarnya pada tangki penyimpanan solar. Pemilihan media solar / Biosolar (B30) bertujuan untuk

mensimulasikan kondisi lingkungan operasional nyata dari tangki bahan bakar, di mana pelat baja SS400 akan kontak langsung dengan solar yang mengandung senyawa sulfur, air terlarut, dan hidrokarbon aromatik. Komponen-komponen tersebut berpotensi menimbulkan korosi mikrogalvanik dan pembentukan endapan korosif pada permukaan logam, khususnya di daerah sambungan las yang memiliki perbedaan struktur mikro akibat proses pengelasan.

Dalam pengujian hasil pengelasan pelat *shell* tangki solar berbahan SS400 dengan ketebalan 6 mm menggunakan metode *SMAW*, diperlukan metode pengujian *non-destructive testing (NDT)* yang mampu mendeteksi cacat pada permukaan maupun di bawah permukaan las tanpa merusak struktur material. Salah satu metode yang tepat untuk tujuan tersebut adalah *Magnetic Particle Inspection (MPI)*, karena memiliki sensitivitas tinggi terhadap cacat-cacat diskontinuitas permukaan seperti retak, porositas terbuka, *incomplete fusion*, atau *undercut* yang sering terjadi akibat variasi parameter pengelasan, termasuk arus, jenis elektroda, dan pola gerakan. MPT sangat efektif digunakan pada bahan ferromagnetik seperti baja karbon SS400, serta mampu memberikan hasil deteksi cepat, akurat, dan secara visual mudah dianalisis. Dibandingkan metode lainnya, *MPI* lebih efisien secara biaya dan operasional untuk kebutuhan inspeksi di industri fabrikasi tangki, terutama saat mengidentifikasi kualitas sambungan pengelasan kampuh X dalam posisi 1G. Oleh karena itu, metode *MPT* dipilih sebagai pendekatan evaluasi mutu las yang andal dalam rangka memastikan bahwa hasil pengelasan bebas dari cacat kritis yang dapat mengganggu integritas struktural dan keamanan fungsi tangki bahan bakar.

Selain itu, penelitian ini juga akan menganalisis pengaruh variasi kuat arus pengelasan *SMAW* (*Shielded Metal Arc Welding*) terhadap karakteristik sambungan dan ketahanan korosi. Menurut Sikumbang et al. (2022), perbedaan kuat arus las berpengaruh langsung terhadap input panas, ukuran butir logam, dan jumlah cacat las seperti *porosity* atau *slag inclusion*, yang selanjutnya mempengaruhi laju korosi hasil las. Dengan demikian, pengujian perendaman selama 168 jam dalam media Biosolar (B30) diharapkan dapat memberikan data yang lebih akurat dan relevan secara praktis mengenai perilaku korosi pelat SS400 pada kondisi yang menyerupai penggunaan aktual dalam tangki bahan

bakar. Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi hubungan antara variasi kuat arus las, jumlah cacat sambungan, dan laju korosi guna menentukan parameter arus optimal yang dapat menghasilkan sambungan las berkualitas tinggi dengan ketahanan korosi maksimal. Secara keseluruhan, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi penting bagi pengembangan teknologi pengelasan dan perlindungan material baja karbon rendah SS400, terutama dalam aplikasi industri penyimpanan energi dan bahan bakar, dengan fokus pada keandalan struktur dan ketahanan terhadap korosi akibat paparan Biosolar (B30). Secara keseluruhan, penelitian ini tidak hanya bertujuan untuk memahami pengaruh variasi kuat arus las terhadap kualitas sambungan, tetapi juga untuk memberikan wawasan yang lebih mendalam mengenai ketahanan korosi plat SS400 dalam kondisi yang relevan. Dengan demikian, hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang signifikan bagi pengembangan teknologi pengelasan dan perlindungan material dalam industri penyimpanan energi.

Selain pengujian laju korosi, penelitian ini juga melakukan pengujian struktur mikro pada spesimen las baja karbon rendah SS400 untuk mengetahui perubahan mikrostruktur yang terjadi akibat variasi kuat arus pengelasan serta hubungannya dengan ketahanan korosi dalam media Biosolar (B30). Pengujian ini bertujuan untuk mengamati karakteristik struktur mikro pada tiga zona utama, yaitu logam las (*weld metal*), daerah terpengaruh panas (*Heat Affected Zone/HAZ*), dan logam induk (*base metal*), yang masing-masing mengalami perbedaan siklus termal selama proses pengelasan. Analisis struktur mikro ini dilakukan untuk menjelaskan bagaimana variasi arus pengelasan (70 A, 80 A, dan 90 A) mempengaruhi morfologi butir, distribusi fasa *ferrite* dan *pearlite*, serta potensi pembentukan struktur yang kasar atau getas pada daerah *HAZ*, yang pada gilirannya dapat berpengaruh terhadap perilaku korosi ketika spesimen terpapar media Biosolar (B30).

Arus pengelasan yang lebih tinggi umumnya menghasilkan input panas yang besar dan laju pendinginan yang lambat, sehingga memperbesar ukuran butir dan menurunkan homogenitas struktur, yang dapat meningkatkan kerentanan terhadap korosi karena terbentuknya perbedaan potensial mikro antar fasa. Sebaliknya, arus yang terlalu rendah dapat menyebabkan penetrasi yang kurang

sempurna dan terbentuknya struktur tidak homogen yang juga berpotensi menjadi titik awal korosi. Oleh karena itu, variasi arus las diharapkan dapat menunjukkan korelasi langsung antara karakteristik mikrostruktur dengan laju korosi yang diukur dalam media solar.

Proses preparasi spesimen meliputi pemotongan, mounting, pengamplasan bertahap menggunakan kertas amplas halus, pemolesan (*polishing*) hingga permukaan mengilap, serta etsa kimia (*etching*) menggunakan larutan Nital 2% untuk menonjolkan batas butir. Pengamatan dilakukan dengan mikroskop optik metalografi untuk mengidentifikasi perbedaan morfologi dan distribusi fasa pada setiap zona pengelasan. Hasil pengamatan struktur mikro ini kemudian dikorelasikan dengan data pengujian laju korosi untuk memahami bagaimana perbedaan morfologi butir dan fasa *ferrite-pearlite* mempengaruhi mekanisme korosi, seperti terbentuknya sel galvanik mikro, difusi ion korosif, serta serangan selektif pada batas butir. Dengan demikian, pengujian struktur mikro dalam penelitian ini tidak hanya berfungsi untuk memvisualisasikan hasil pengelasan secara mikro, tetapi juga sebagai dasar ilmiah untuk menjelaskan hubungan antara variasi arus las, perubahan mikrostruktur, dan perilaku korosi baja SS400 dalam media solar. Analisis ini diharapkan mampu memberikan pemahaman komprehensif mengenai pengaruh parameter arus terhadap kualitas dan ketahanan sambungan las, serta menjadi acuan dalam penentuan parameter pengelasan yang optimal pada aplikasi tangki bahan bakar berbasis baja karbon rendah. Selain dilakukan pengujian cacat las (*MPT*), laju korosi, dan struktur mikro, penelitian ini juga dilengkapi dengan pengujian kekerasan menggunakan metode *vickers* (*vickers hardness test*). Pengujian ini dilakukan bukan sebagai fokus utama, melainkan sebagai data pendukung untuk memperkuat hasil analisis struktur mikro yang terbentuk akibat variasi arus pengelasan

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. cacat las apa saja yang dapat terdeteksi menggunakan metode *Magnetic Particle Test (MPT)* pada hasil pengelasan baja karbon rendah SS400 dengan metode *SMAW* menggunakan dengan variasi arus (70 A, 80 A, dan 90 A) kombinasi elektroda E7018 pada sambungan kampuh X sudut 60°?
2. Bagaimana variasi arus pengelasan (70 A, 80 A, dan 90 A)laju korosi sambungan las baja SS400 dalam media Biosolar (B30), serta bagaimana tingkat ketahanan korosi material terhadap paparan solar selama 168 jam?
3. Bagaimana variasi arus pengelasan (70 A, 80 A, dan 90 A) memengaruhi nilai kekerasan (HV) pada setiap zona sambungan las, yaitu *weld metal*, *heat affected zone (HAZ)*, dan *base metal*?
4. Bagaimana variasi arus pengelasan memengaruhi hubungan antara nilai kekerasan dan ketahanan korosi pada struktur mikro pada tiap zona sambungan las baja SS400?

1.3 Batasan Penelitian

1. Material uji yang digunakan adalah baja karbon rendah SS400.
2. Spesimen untuk pengelasan dan *MPT* berukuran 150 mm × 100 mm × 6 mm.
3. Spesimen untuk uji laju korosi berukuran 50 mm × 30 mm × 6 mm
4. Spesimen untuk uji kekerasan dan struktur mikro berukuran 30 mm × 30 mm × 6 mm
5. Jenis sambungan las yang digunakan adalah butt joint kampuh X dengan sudut 60°, dan proses pengelasan dilakukan pada posisi 1G (datar).
6. Metode pengelasan yang digunakan adalah *SMAW* (*Shielded Metal Arc Welding*) dengan kombinasi elektroda: E7018 untuk filler dan capping pass, berdiameter 2,6 mm.

7. Variasi arus pengelasan yang digunakan terdiri dari tiga level, yaitu 70 A, 80 A, dan 90 A. Evaluasi hasil penelitian difokuskan pada tiga aspek utama:
8. Pengelasan yang dilakukan secara manual dapat terjadinya beberapa faktor perbedaan meskipun dengan parameter yang sama dikarenakan tangan yang kurang stabil, kondisi mesin dan pengaruh sekeliling lingkungan terlalu lembab.
9. Pemeriksaan cacat las menggunakan *Magnetic Particle Test (MPT)* untuk mendeteksi cacat permukaan dan bawah permukaan seperti retak, undercut, atau porositas terbuka.
10. Pengujian laju korosi menggunakan metode *weight loss* dengan media Biosolar (B30) sebagai larutan perendaman selama 168 jam (7 hari) untuk mensimulasikan kondisi lingkungan aktual tangki bahan bakar.
11. pengujian kekerasan metode *Vickers* (HV 5) sebagai data pendukung untuk membantu menjelaskan perubahan struktur mikro akibat perbedaan arus pengelasan. Pengujian kekerasan tidak dijadikan variabel utama penelitian
12. Analisis struktur mikro pada logam las, daerah HAZ, dan logam induk, untuk mengamati pengaruh variasi arus terhadap morfologi butir dan distribusi fasa ferrite–pearlite.
13. Penelitian ini tidak mencakup pengujian sifat mekanik seperti uji tarik, atau impak, dan fokus hanya pada analisis cacat las, ketahanan korosi baja karbon rendah di dalam media Biosolar (B30) ,nilai kekerasan, serta struktur mikro.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Mengidentifikasi jenis dan jumlah cacat las pada hasil pengelasan baja karbon rendah SS400 menggunakan metode MPT.
2. Mengevaluasi pengaruh variasi arus pengelasan (70 A, 80 A, dan 90 A) terhadap jumlah cacat las yang terbentuk pada sambungan las.
3. Menganalisis pengaruh variasi arus pengelasan terhadap laju korosi sambungan las baja SS400 dalam media solar / Biosolar (B30) menggunakan metode weight loss dengan waktu perendaman 168 jam.
4. Untuk memperoleh data pendukung berupa nilai kekerasan (*Vickers Hardness*) yang dapat digunakan untuk memperkuat analisis hubungan

- antara variasi arus las dan perubahan struktur mikro baja SS400
5. Mengamati perubahan struktur mikro pada logam las, HAZ, dan logam induk akibat perbedaan arus las serta mengorelasikannya dengan tingkat ketahanan korosi dalam lingkungan solar / Biosolar (B30).
 6. Menentukan parameter arus pengelasan paling optimal yang menghasilkan sambungan las dengan cacat minimal, struktur mikro halus, dan ketahanan korosi terbaik terhadap Biosolar (B30)

1.5 Kegunaan Penelitian

1. Sebagai panduan teknis dalam menentukan parameter arus dan teknik pengelasan *SMAW* yang mampu menghasilkan sambungan las baja SS400 dengan cacat minimal dan ketahanan korosi tinggi terhadap solar / Biosolar (B30).
2. Sebagai referensi bagi kontrol kualitas (*Quality Control*) dalam industri fabrikasi tangki bahan bakar atau struktur baja yang beroperasi di lingkungan terpapar solar / Biosolar (B30).
3. Memberikan bukti ilmiah bahwa *Magnetic Particle Test (MPT)* efektif dalam mendeteksi cacat permukaan dan bawah permukaan seperti retak, porositas, *undercut*, dan *incomplete fusion*.
4. Memberikan kontribusi ilmiah mengenai hubungan antara arus pengelasan, cacat las, laju korosi, dan struktur mikro terhadap ketahanan korosi baja SS400 dalam media solar.
5. Menjadi acuan praktis dan akademik dalam pengujian korosi berbasis bahan bakar, karena solar/ Biosolar (B30) bersifat lebih kompleks karena mengandung hidrokarbon aromatik, sulfur, dan senyawa polar yang dapat mempercepat atau memperlambat reaksi korosi tergantung kondisi mikrostruktur dan cacat permukaan logam.
6. Penelitian ini dapat menjadi dasar untuk meningkatkan keandalan material dalam aplikasi tangki penyimpanan solar Biosolar (B30).

Intelligentia - Dignitas