

EFFECT OF PREHEAT TEMPERATURE VARIATION WITH COOLING MEDIA ON MECHANICAL PROPERTIES IN WELDING SS400 STEEL

Nadya Rachma Oktaviandy^{1,*}, Kardiman¹, Rizal Hanafi¹

¹Program Studi Teknik Mesin, Universitas Singaperbangsa Karawang, Jawa Barat, 41361, Indonesia

*E-mail: nadrachma8@gmail.com

Diterima: 26-06-2023

Direvisi: 15-11-2023

Disetujui: 01-12-2023

ABSTRAK

Material SS400 merupakan jenis baja karbon dengan kandungan karbon sebesar 0,17%, dikenal sebagai baja karbon rendah. Baja SS400 umumnya digunakan dalam konstruksi kapal dan proyek konstruksi umum. Penelitian ini merekomendasikan penggunaan baja SS400 dalam pembuatan tangki dengan metode pengelasan Shielded Metal Arc Welding (SMAW). Sebelum proses pengelasan SMAW, spesimen mengalami perlakuan khusus berupa preheat pada suhu 100°C, 150°C, dan 200°C. Setelah preheat, spesimen diolah dengan pengelasan, diikuti oleh pendinginan menggunakan media berupa air sumur dan oli SAE 15W-40. Proses preheat dan pendinginan bertujuan untuk meningkatkan sifat mekanik material. Uji impact, uji tarik, dan analisis struktur mikro dilakukan untuk mengevaluasi efek dari perlakuan tersebut. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan signifikan dalam energi impact, kekuatan tarik, kekuatan luluh, modulus elastisitas, dan regangan pada spesimen yang menjalani perlakuan preheat dan pendinginan. Temuan ini mengindikasikan bahwa penggunaan preheat dan media pendingin dapat meningkatkan performa mekanik material SS400, yang dapat memberikan manfaat positif dalam aplikasi konstruksi yang memerlukan kekuatan dan ketahanan yang lebih tinggi.

Kata Kunci: baja SS400; SMAW; *preheat*; media pendinginan; uji impact; uji tarik.

ABSTRACT

SS400 material is a type of low-carbon steel with a carbon content of 0.17%. It is recognized as low-carbon steel. SS400 steel is commonly employed in shipbuilding and general construction projects. This study recommends the utilization of SS400 steel in tank manufacturing through the Shielded Metal Arc Welding (SMAW) process. Before the SMAW welding process, specimens undergo a specific treatment involving preheating at temperatures of 100°C, 150°C, and 200°C. Subsequently, after preheating, specimens are welded, followed by immersion in a cooling medium, either well water or SAE 15W-40 oil. The preheating and cooling processes aim to enhance the mechanical properties of the material. Impact testing, tensile testing, and microstructure analysis were conducted to evaluate the effects of these treatments. The research results demonstrate a significant improvement in Impact energy, tensile strength, yield strength, modulus of elasticity, and strain in specimens subjected to preheating and cooling treatment. These findings indicate that the use of preheating and cooling can enhance the mechanical performance of SS400 material, providing positive benefits in construction applications that require increased strength and resilience.

Keywords: SS400 steel; SMAW; *preheat*; cooling media; impact test; tensile test.

1. PENDAHULUAN

Pengelasan adalah suatu proses yang tidak terpisahkan dalam industri manufaktur, terutama dalam konstruksi baja. Pengelasan memiliki peran penting dalam menghubungkan komponen-komponen struktural, dan keberhasilan proses pengelasan sangat ditentukan oleh sifat mekanik dari material yang digunakan [1-3]. Salah satu material yang sering digunakan dalam konstruksi adalah baja SS400, yang dikenal sebagai baja karbon rendah dengan keberagaman aplikasi di berbagai sektor, termasuk konstruksi kapal dan proyek konstruksi umum [4-6].

Secara teori, prosedur pengelasan adalah menggabungkan dua bagian atau lebih menjadi suatu bentuk [7-9]. Konstruksi logam sering dibangun menggunakan komponen las. Hal ini disebabkan bobot yang lebih ringan dan proses produksi yang lebih mudah dari struktur dan mesin yang diproduksi dengan menggunakan teknologi pengelasan ini [10-12]. Salah satu prosedur pengelasan yang paling banyak digunakan, khususnya untuk pengelasan jangka pendek di sektor manufaktur, pemeliharaan dan perbaikan, serta konstruksi, adalah SMAW (*Shield Metal Arc Welding*) [13-15].

Pengelasan busur listrik atau SMAW menggunakan api busur listrik sebagai sumber panas untuk melelehkan logam. Hampir semua pekerjaan pengelasan paling sering menggunakan jenis pengelasan ini. Sementara pengelasan peleburan membutuhkan arus hingga 500 A, tegangan yang digunakan hanya 23 hingga 45 Volt AC atau DC. Namun, 80-200 A adalah kisaran tipikal [16]. Baja karbon rendah sering dilas menggunakan teknik yang dikenal dengan SMAW [17]. Oleh karena itu, jenis baja seperti SS400 cocok untuk pengelasan SMAW.

Preheating merupakan salah satu prosedur yang dapat menaikkan nilai kekuatan mekanik suatu material. Untuk meningkatkan nilai sifat mekanik, berbagai teknik dapat digunakan bersamaan dengan *preheating* ini. Pemanfaatan media pendingin merupakan salah satu cara yang dapat dipadukan [18,19].

Penelitian sebelumnya mengenai pengaruh variasi media pendinginan pada sifat mekanik

pengelasan material baja SS400 menyatakan bahwa hasil pengujian tarik dengan media pendingin air rata-rata sebesar 499,4 MPa, media pendingin coolant rata-rata sebesar 476,4 MPa, dan media pendingin oli SAE 40 rata-rata sebesar 468,7 MPa. Jadi nilai kekuatan terbaik di variasi media pendingin air dengan nilai rata-rata sebesar 499,4 MPa [20].

Penelitian selanjutnya tentang pengaruh preheat terhadap tegangan tarik baja SS400. Penelitian ini menyatakan bahwa hasil yang diperoleh dari uji tarik dimana pengaruh *preheat* pada plat SS400 yang sudah dilas yaitu tegangan tariknya menjadi lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen yang mendapatkan perlakuan panas PWHT, dikarenakan pengaruh dari PWHT merubah struktur material menjadi lebih lunak sehingga lebih cepat putus [21].

Tinjauan literatur menunjukkan bahwa suhu preheat dan media pendingin memiliki peran signifikan dalam menentukan sifat mekanik dari hasil pengelasan baja. Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa variasi suhu preheat dapat mempengaruhi kekuatan tarik, kekuatan luluh, dan energi dampak dari sambungan las [22,23].

Namun, masih terdapat kekurangan pengetahuan terkait dengan dampak variasi suhu preheat dan media pendingin secara khusus pada baja SS400. Oleh karena itu, penelitian ini memiliki tujuan yang signifikan dalam memberikan kontribusi pada pemahaman lebih lanjut mengenai optimasi parameter pengelasan pada material ini. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan tidak hanya dapat membuka wawasan baru dalam konteks pengelasan baja SS400, tetapi juga memberikan pedoman praktis bagi industri dan peneliti yang terlibat dalam desain dan produksi struktural.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, peneliti memutuskan untuk melakukan kombinasi dari kedua penelitian tersebut, yaitu mengenai Pengaruh Variasi Temperatur Preheat dengan Media Pendingin pada Pengelasan Baja SS400 terhadap uji dampak, uji tarik, dan struktur mikro. Dengan pendekatan ini, penelitian bertujuan untuk mengidentifikasi hasil dari uji dampak, uji tarik, dan struktur mikro pada plat baja SS400

setelah dilas menggunakan metode Shield Metal Arc Welding dengan penerapan preheat dan media pendingin. Melalui pemahaman mendalam terhadap hasil-hasil ini, diharapkan penelitian ini dapat memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan praktik pengelasan di lapangan konstruksi, meningkatkan kualitas hasil pengelasan, dan memperkaya pengetahuan dalam domain ini.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan beberapa prosedur di antaranya yaitu persiapan alat dan bahan, pembuatan spesimen uji, pengelasan SMAW, *preheat*, media pendingin serta pengujian spesimen.

2.1 Pengelasan SMAW

SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*), sering dikenal sebagai las busur listrik elektroda terlindung, adalah metode pengelasan yang menggunakan api busur listrik untuk melelehkan logam. Antara elektroda yang dilindungi dan logam dasar, busur listrik terbentuk. Logam dasar dan ujung elektroda meleleh dan membeku secara bersamaan akibat panas dari busur listrik [24].

2.2 Baja SS40

SS400 adalah sejenis baja karbon rendah, yang didefinisikan sebagai baja karbon dengan kandungan karbon kurang dari 0,17%. Karbon (C), mangan (Mn), silikon (Si), belerang (S), dan fosfor (P) adalah unsur-unsur yang terdapat pada baja SS400. Baja SS400 sering digunakan dalam konstruksi umum, termasuk produksi tangki, dan pembuatan kapal [25].

Menurut standar proses pengelasan (WPS), pemanasan awal pada bahan sebelum pengelasan diperlukan tergantung pada jenis perlakuan panas (*heat treatment*) yang diterapkan pada bahan induk dan daerah yang dilas. *Preheating* adalah penerapan panas pada material yang akan disambung untuk mengurangi tegangan sisa yang berkembang di daerah sambungan sebagai akibat dari perbedaan suhu yang besar antara bahan sumber dan logam sambungan [26].

Ketika suatu material telah mengalami perlakuan panas, media pendingin adalah zat yang mengontrol seberapa cepat material tersebut mendingin. Secara umum, media pendingin dengan tingkat kerapatan rendah dan media pendingin dengan tingkat kerapatan tinggi adalah dua jenis yang digunakan. ketika ditumpuk dalam urutan yang tepat dari media pendingin dengan kepadatan tertinggi ke yang terendah.

Untuk media pendingin dengan kerapatan yang tinggi, laju pendinginan akan berlangsung secara cepat, karena proses transfer kalor lebih mudah terjadi apabila jarak molekul lebih kecil. Dengan percepatan proses pendinginan ini, maka akan terbentuk struktur martensit yang kasar, dimana memiliki sifat yang keras dan getas. Untuk media pendingin yang memiliki tingkat kerapatan rendah, laju pendinginan akan berlangsung secara lambat, karena proses transfer kalor tidak dapat berlangsung dengan mudah pada molekul-molekul yang memiliki jarak yang besar. Dengan proses yang lambat ini, akan membentuk struktur yang keras dan ulet [27].

2.3 Uji Impak

Uji impak ini didasarkan pada penyerapan energi potensial dari pendulum beban yang membentur benda uji setelah berayun dari ketinggian tertentu dan menyebabkan benda uji terdistorsi. Ketahanan benturan atau ketangguhan material ditentukan oleh berapa banyak energi yang diperlukan untuk terjadinya patah tulang selama uji tumbukan ini. Posisi h' akan lebih rendah jika materialnya kuat, atau jika dapat menahan gaya yang lebih tinggi. Suatu zat dianggap tangguh jika dapat menahan beban stres yang signifikan tanpa mudah pecah atau berubah bentuk.

Pada pengujian impak, energi yang diserap oleh benda uji biasanya dinyatakan dalam satuan Joule dan dibaca langsung pada skala (*dial*) penunjuk yang telah dikalibrasi yang terdapat pada mesin penguji. Harga *impak* (HI) suatu bahan yang diuji dengan metode *Charpy* diberikan oleh persamaan (1):

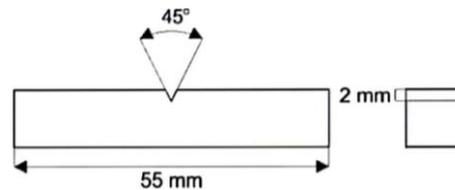
$$HI = \frac{E}{A} \quad (1)$$

Keterangan:

HI = Harga Impak (J)

E = Energi Impak (J)

A = Luas penampang (mm^2)



Gambar 1. Dimensi Spesimen Uji Impak Charpy

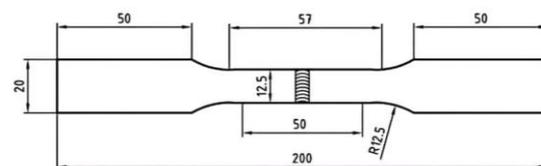
Tujuan dari dilakukannya suatu pengujian mekanis adalah untuk menentukan respon material dari suatu konstruksi, komponen atau rakitan fabrikasi pada saat dikenakan beban atau deformasi dari luar. Dalam hal ini akan ditentukan seberapa jauh perilaku inheren (sifat yang lebih merupakan ketergantungan atas fenomena atomik maupun mikroskopis dan bukan dipengaruhi bentuk atau ukuran benda uji) dari material terhadap pembebanan tersebut. Di antara semua pengujian mekanis tersebut, pengujian tarik merupakan jenis pengujian yang paling banyak dilakukan karena mampu memberikan informasi representatif dari perilaku mekanis material [28].

2.4 Pengujian Mikro

Pengujian mikro adalah suatu pengujian mengenai struktur bahan melalui pembesaran dengan menggunakan mikroskop khusus metalografi. Dengan pengujian mikro struktur, kita dapat mengamati bentuk dan ukuran kristal logam, kerusakan logam akibat proses deformasi, proses perlakuan panas, dan perbedaan komposisi. Untuk melakukan pengujian mikro, maka diperlukan proses metalografi yang bertujuan untuk melihat struktur mikro suatu bahan ada beberapa tahap yang harus dilakukan [29]. Tahapan yang harus dilalui adalah *mounting*, *grinding*, *polishing*, dan *etching*.

2.5 Pembuatan Spesimen Uji

Penelitian ini menggunakan material SS400. Sebelum dilakukan pengelasan material ini dipotong dan dibentuk dengan ukuran ASTM E 23 untuk uji impak Charpy, ASTM E8 untuk uji tarik dan ASTM E3 untuk uji struktur mikro dengan panjang 20 mm, lebar 20 mm dan tinggi 6 mm. Ukuran spesimen uji impak Charpy dan uji tarik dapat dilihat pada Gambar 1, dan 2.



Gambar 2. Dimensi Spesimen Uji Tarik

2.6 Proses Preheat

Setelah pembuatan spesimen, selanjutnya dilakukan proses *preheat* dimana spesimen diberikan panas dengan temperatur tertentu sebelum dilakukannya proses pengelasan. Proses *preheat* ini menggunakan gas burner. Temperatur *preheat* yang digunakan yaitu 100°C, 150°C dan 200°C. Setelah temperatur spesimen telah sesuai dengan yang diinginkan, maka proses pemanasan diberhentikan.

2.7 Proses Pengelasan

Proses selanjutnya merupakan pengelasan menggunakan las SMAW. Pengelasan ini dilakukan dengan menggunakan busur nyala listrik sebagai panas pencair logam. Busur listrik terbentuk diantara elektroda terlindung dan logam induk. Karena adanya panas dari busur listrik maka logam induk dan ujung elektroda mencair dan membeku secara bersamaan. Pengelasan dilakukan sebanyak 21 spesimen baja SS400 yang dibentuk mengikuti standar ASTM dengan variasi temperatur *preheat* dan media pendingin.

2.8 Proses Pendinginan

Setelah dilakukan pengelasan, spesimen diberikan sebuah pendinginan menggunakan media pendingin air sumur dan oli yang sudah disiapkan didalam wadah. Setiap spesimen akan dicelupkan kedalam media pendingin sesuai waktu yang telah ditentukan dan diberi nama

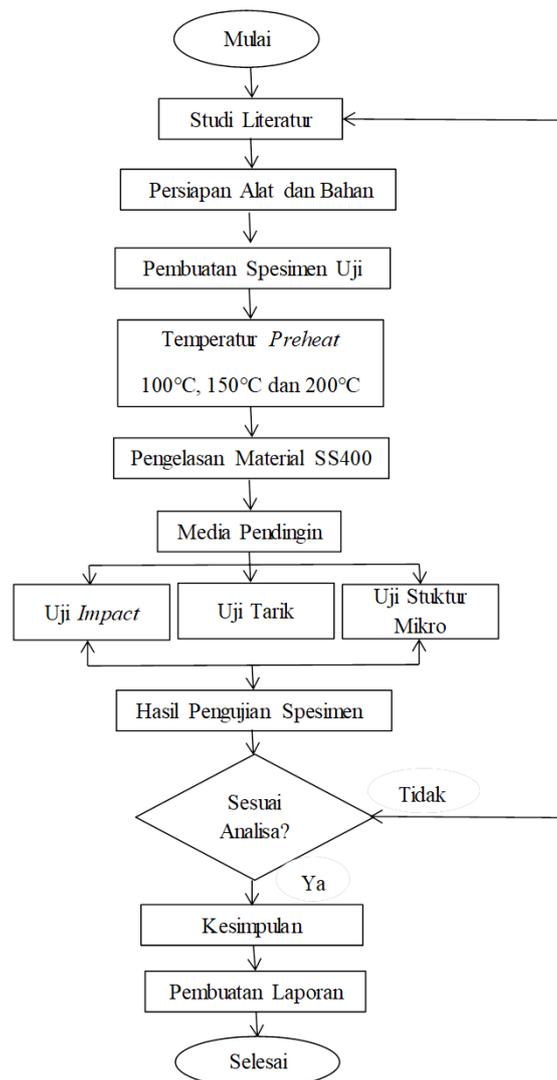
sesuai dengan perlakuannya. Jumlah spesimen total adalah 21 spesimen.

2.9 Proses Pengujian

Setelah rangkaian *treatment* pengelasan spesimen uji selesai, tahap selanjutnya yaitu proses pengujian meliputi pengujian mekanik yaitu uji Impak *Charpy*, uji tarik dan uji struktur

mikro. Pengujian ini dapat memperoleh data-data yang akan dianalisis secara kuantitatif, sehingga dapat disimpulkan sifat fisik dan mekanik dari material tersebut.

Agar lebih jelas, proses penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.

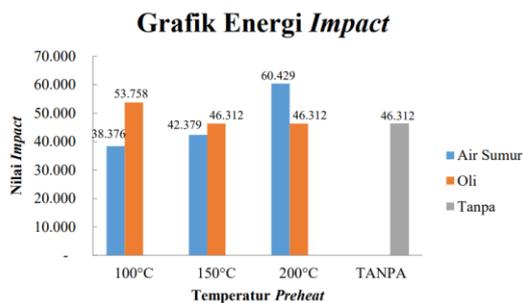


Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

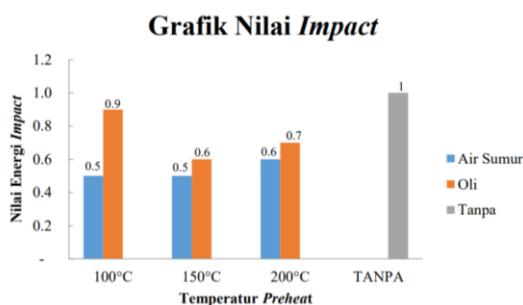
3.1 Pengaruh *Preheating* dan Media Pendingin Pada Uji Impak

Pengujian impak dilakukan untuk mengetahui perbedaan ketangguhan bahan yang mengalami perlakuan pengelasan dengan logam induk. Pengujian impak dilakukan dengan menggunakan mesin uji impak *Charpy*.



Gambar 4. Grafik Energi Impak

Berdasarkan grafik yang tercantum pada gambar 4, dapat dijelaskan bahwa spesimen dengan nilai energi impak tertinggi dihasilkan pada variasi suhu *preheat* 200°C dengan media pendingin air sumur, mencapai 60,429 J. Sebaliknya, spesimen dengan nilai energi impak terendah tercatat pada variasi suhu *preheat* 100°C, dengan nilai sebesar 38,376 J.



Gambar 5. Grafik Uji Impak *Charpy*

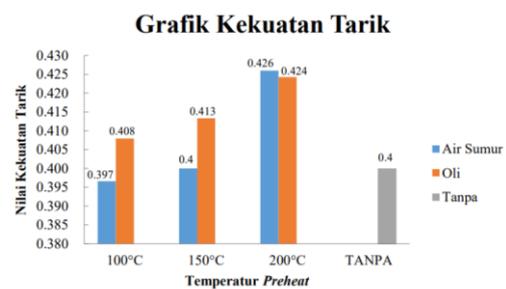
Grafik yang tertera pada gambar 5 mengindikasikan bahwa spesimen dengan nilai impak tertinggi dihasilkan oleh variasi tanpa perlakuan khusus, mencapai 1 J/mm. Sementara itu, nilai impak terendah tercatat pada variasi suhu *preheat* 100°C dan 150°C dengan penggunaan media pendingin air sumur, dengan nilai sebesar 0,5 J/mm².

Dalam hal ini dapat disimpulkan bahwa dengan adanya *preheating* dengan media pendingin air sumur maka semakin tinggi

temperatur dapat meningkatkan nilai impak, tetapi tidak terlalu signifikan. Sedangkan untuk *preheating* dengan media pendingin oli temperatur terendah memiliki nilai impak tertinggi. Namun kedua variasi tersebut tetap kalah dengan tingginya nilai impak spesimen tanpa *treatment*.

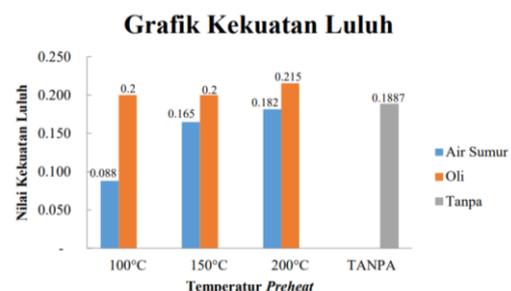
3.2 Pengaruh *Preheating* dan Media Pendingin Pada Uji Tarik

Hasil yang disimpulkan pada pengujian tarik pengelasan dengan variasi suhu *preheating* dan media pendingin terdapat perbedaan hasil kekuatan tarik yang dihasilkan dari setiap spesimen yang digunakan dalam penelitian.



Gambar 6. Grafik Kekuatan Tarik

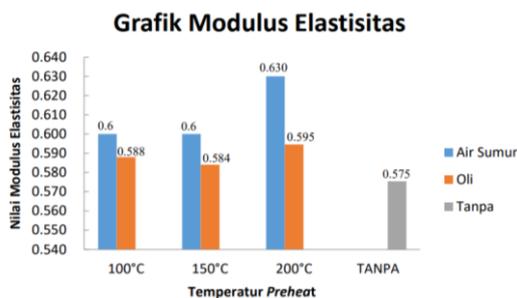
Grafik yang terdapat pada gambar 6 menjelaskan bahwa spesimen dengan nilai kekuatan tarik tertinggi dihasilkan oleh variasi suhu *preheat* 200°C dengan menggunakan media pendingin air sumur, mencapai 0,426 kN/mm². Sebaliknya, nilai kekuatan tarik terendah tercatat pada variasi suhu *preheat* 100°C dengan media pendingin air sumur, dengan nilai sebesar 0,397 kN/mm². Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penerapan *preheat* dan penggunaan media pendingin setelah proses pengelasan SMAW pada baja SS400 dapat meningkatkan nilai kekuatan tarik pada material.



Gambar 7. Grafik Kekuatan Luluh

Berdasarkan grafik pada gambar 7 menjelaskan bahwa spesimen yang memiliki rata-rata nilai kekuatan luluh tertinggi dihasilkan oleh variasi *preheat* temperatur 200°C dengan media pendingin oli sebesar 0,220 kN/mm². Sedangkan nilai kekuatan luluh terendah didapat dari variasi *preheat* temperatur 100°C dengan media pendingin air sumur nilai 0,100 kN/mm².

Dalam hal ini dapat disimpulkan bahwa dengan adanya *preheat* dan media pendingin setelah dilakukan pengelasan SMAW pada baja SS400 maka dapat meningkatkan nilai kekuatan luluh pada material. Kekuatan luluh sendiri adalah tegangan dimana kemiringan kurva tegangan regangan mulai menyimpang dari linieritas (garis lurus).



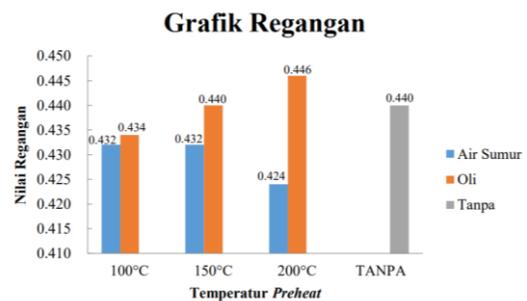
Gambar 8. Grafik Modulus Elastisitas

Pada grafik yang terlihat pada Gambar 8 menjelaskan bahwa spesimen yang memiliki rata-rata nilai modulus elastisitas tertinggi dihasilkan oleh variasi *preheat* temperatur 200°C dengan media pendingin air sebesar 0,630 kN/mm². Sedangkan nilai modulus elastisitas terendah didapat dari variasi tanpa treatment dengan nilai 0,575 kN/mm².

Dalam hal ini dapat disimpulkan bahwa dengan adanya *preheat* dan media pendingin setelah dilakukan pengelasan SMAW pada baja SS400 maka dapat meningkatkan nilai modulus elastisitas pada material. Modulus elastisitas menggambarkan kekakuan suatu bahan, semakin tinggi nilainya semakin tinggi juga kekakuannya.

Berdasarkan grafik yang terlihat pada Gambar 9 menjelaskan bahwa spesimen yang memiliki rata-rata nilai regangan tertinggi dihasilkan oleh variasi *preheat* temperatur 200°C dengan media pendingin oli sebesar 0,446. Rata-rata nilai regangan terendah didapat

dari variasi *preheat* temperatur 200°C dengan media pendingin air sebesar 0,424. Dalam hal ini dapat disimpulkan bahwa dengan adanya *preheat* dengan media pendingin oli setelah dilakukan pengelasan SMAW pada baja SS400 maka dapat meningkatkan nilai regangan pada material. Regangan sendiri merupakan perbandingan antara pertambahan panjang dari panjang mula-mula.



Gambar 9. Grafik Regangan

3.3 Pengaruh *Preheating* dan Media Pendingin Pada Uji Struktur Mikro

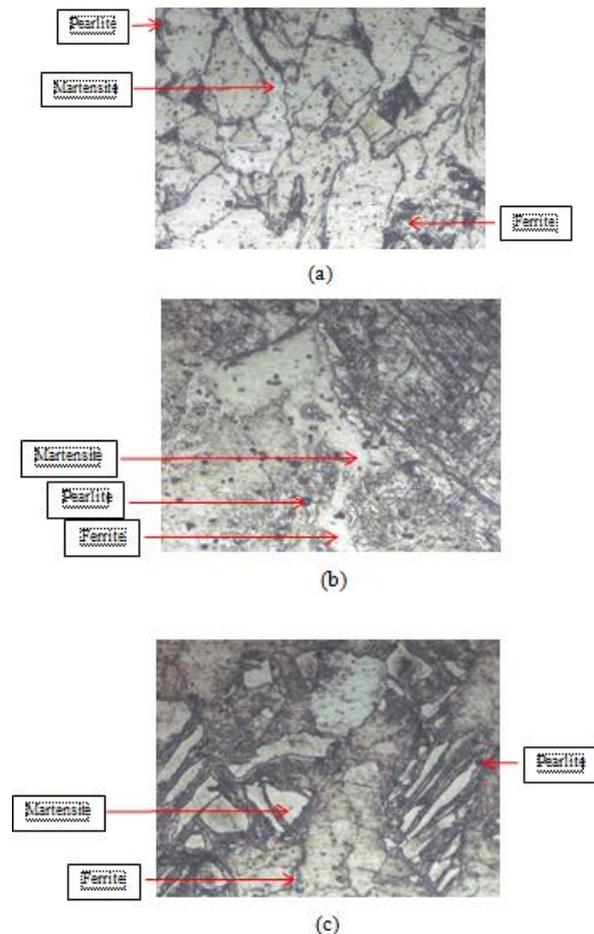
Hasil yang disimpulkan pada pengujian struktur mikro pengelasan dengan variasi suhu *preheating* terdapat perbedaan terhadap fasa-fasa yang terbentuk pada daerah *weld metal* (WM), *heat effected zone* (HAZ) dan *base metal* (BM) yang dihasilkan dari setiap spesimen yang digunakan dalam penelitian.

a. *Weld Metal* (WM)

Hasil pengujian struktur mikro pada setiap spesimen pada daerah *weld metal* dengan variasi suhu *preheating* dan media pendingin air sumur pengelasan SMAW dapat dilihat pada gambar 10.

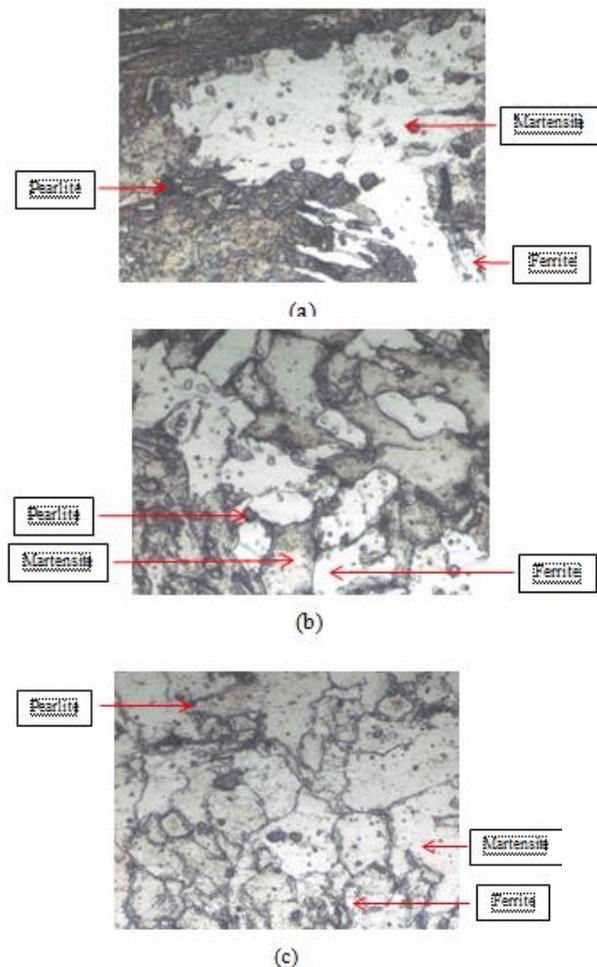
Berdasarkan gambar 10 menunjukkan hasil pengamatan struktur mikro pengelasan SMAW dengan pembesaran 500x pada daerah *weld metal*. Pada gambar (a) variasi *preheating* suhu 100°C terlihat fasa yang terbentuk adalah fasa *pearlite*, *ferrite* dan *martensite* namun lebih di dominasi oleh fasa *ferrite*. Sedangkan pada gambar (b) variasi *preheating* suhu 150°C terlihat fasa yang terbentuk adalah fasa *pearlite*, *ferrite* dan *martensite* namun lebih di dominasi oleh fasa *pearlite*. Serta gambar (c) variasi *preheating* suhu 200°C terlihat fasa yang terbentuk adalah fasa *pearlite*, *ferrite* dan

martensite namun lebih di dominasi oleh fasa *pearlite*. Fasa *martensite* terbentuk dari pendinginan cepat fasa *austenite* sehingga mengaibatkan sel satuan FCC bertransformasi secara cepat menjadi BCC. Unsur karbon yang larut dalam BCC terperangkap dan tetap berada dalam sel satuan itu, hal tersebut menyebabkan terjadinya distorsi sel satuan sehingga sel satuan BCC berubah menjadi BCT.



Gambar 10. Hasil pengamatan struktur mikro pengelasan baja SS400 pembesaran 500x daerah *weld metal* (a) variasi *preheating* suhu 100°C (b) variasi *preheating* suhu 150°C (c) variasi *preheating* suhu 200°C

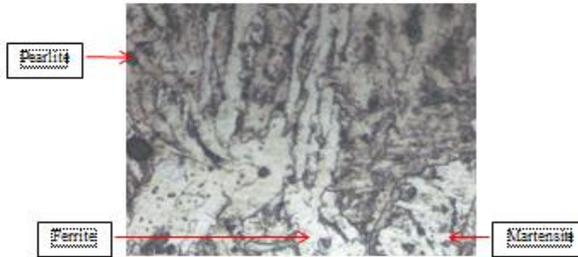
Hasil pengujian struktur mikro pada setiap spesimen pada daerah *weld metal* dengan variasi suhu *preheating* dan media pendingin air oli pengelasan SMAW dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Hasil pengamatan struktur mikro pengelasan baja SS400 pembesaran 500x daerah *weld metal* (a) variasi *preheating* suhu 100°C (b) variasi *preheating* suhu 150°C (c) variasi *preheating* suhu 200°C

Berdasarkan gambar 11 menunjukkan hasil pengamatan skruktur mikro pengelasan SMAW dengan pembesaran 500x pada daerah *weld metal*. Pada gambar (a) variasi *preheating* suhu 100°C terlihat fasa yang terbentuk adalah fasa *pearlite*, *ferrite* dan *martensite* namun lebih di dominasi oleh fasa *pearlite*. Sedangkan pada gambar (b) variasi *preheating* suhu 150°C terlihat fasa yang terbentuk adalah fasa *pearlite*, *ferrite* dan *martensite*. Serta gambar (c) variasi *preheating* suhu 200°C terlihat fasa yang terbentuk adalah fasa *pearlite*, *ferrite* dan *martensite* namun lebih di dominasi oleh fasa *ferrite*.

Hasil pengujian struktur mikro pada setiap spesimen pada daerah *weld metal* dengan variasi tanpa *treatment* pengelasan SMAW dapat dilihat pada gambar 12.



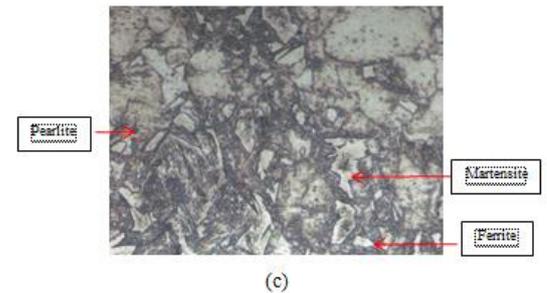
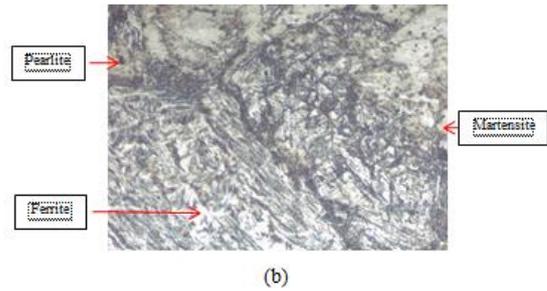
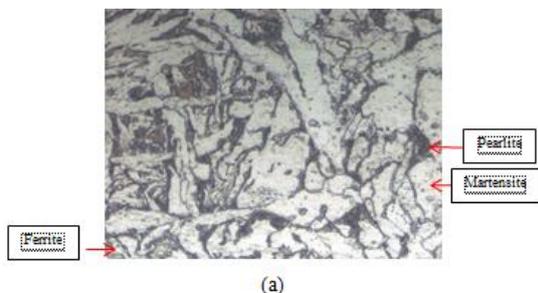
Gambar 12. Hasil pengamatan struktur mikro pengelasan baja SS400 pembesaran 500x daerah *weld metal* variasi tanpa *treatment*

Gambar 12 menunjukkan hasil pengamatan struktur mikro pengelasan SMAW dengan pembesaran 500x pada daerah *weld metal*. Pada tanpa *treatment* terlihat fasa yang terbentuk adalah fasa *pearlite* dan *ferrite* namun lebih didominasi oleh fasa *ferrite*.

Pada daerah *weld metal* mengalami proses pendinginan yang lebih cepat karena panas yang didapat pada *weld metal* diserap dengan cepat oleh daerah HAZ masuk panas yang terdistribusi pada material akan menyebabkan luasan HAZ menjadi lebih besar dan merubah struktur mikro dari material menjadi butir-butir yang kasar.

b. Heat Affected Zone (HAZ)

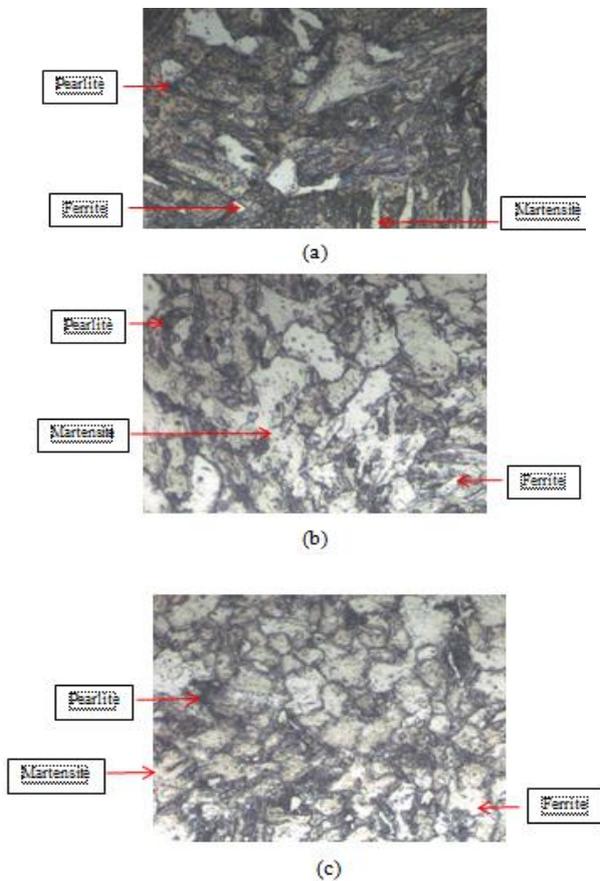
Hasil pengujian struktur mikro pada setiap spesimen pada daerah *heat affected zone* dengan variasi suhu *preheating* dan media pendingin air sumur pengelasan SMAW dapat dilihat pada gambar 13.



Gambar 13. Hasil pengamatan struktur mikro pengelasan baja SS400 pembesaran 500x daerah *heat affected zone* (a) variasi *preheating* suhu 100°C (b) variasi *preheating* suhu 150°C (c) variasi *preheating* suhu 200°C

Pada gambar 13 menunjukkan hasil pengamatan struktur mikro pengelasan SMAW dengan pembesaran 500x pada daerah HAZ. Pada gambar (a) variasi *preheating* suhu 100°C terlihat fasa yang terbentuk adalah fasa *pearlite*, *ferrite* dan *martensite* namun lebih didominasi oleh fasa *ferrite*. Sedangkan pada gambar (b) variasi *preheating* suhu 150°C terlihat fasa yang terbentuk adalah fasa *pearlite*, *ferrite* dan *martensite* namun lebih didominasi oleh fasa *pearlite*. Untuk gambar (c) variasi *preheating* suhu 200°C terlihat fasa yang terbentuk adalah fasa *pearlite*, *ferrite* dan *martensite* namun lebih didominasi oleh fasa *pearlite*. Fasa *martensite* terbentuk dari pendinginan cepat fasa *austenite* sehingga mengakibatkan sel satuan FCC bertransformasi secara cepat menjadi BCC. Unsur karbon yang larut dalam BCC terperangkap dan tetap berada dalam sel satuan itu, hal tersebut menyebabkan terjadinya distorsi sel satuan sehingga sel satuan BCC berubah menjadi BCT.

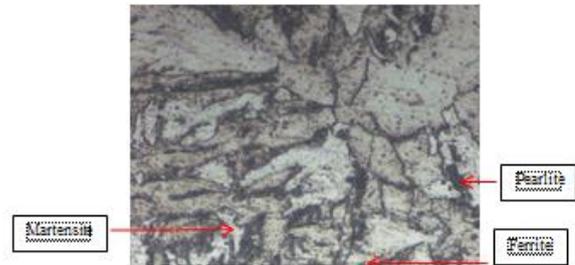
Hasil pengujian struktur mikro pada setiap spesimen pada daerah heat affected zone dengan variasi suhu *preheating* dan media pendingin oli pengelasan SMAW dapat dilihat pada gambar 14.



Gambar 14. Hasil pengamatan struktur mikro pengelasan baja SS400 pembesaran 500x daerah heat affected zone (a) variasi *preheating* suhu 100°C (b) variasi *preheating* suhu 150°C (c) variasi *preheating* suhu 200°C

Pada gambar 14 menunjukkan hasil pengamatan struktur mikro pengelasan SMAW dengan pembesaran 500x pada daerah HAZ. Pada gambar (a) variasi *preheating* suhu 100°C terlihat fasa yang terbentuk adalah fasa *pearlite*, *ferrite* dan *martensite* namun lebih di dominasi oleh fasa *pearlite*. Sedangkan pada gambar (b) variasi *preheating* suhu 150°C terlihat fasa yang terbentuk adalah fasa *pearlite*, *ferrite* dan *martensite*. Serta gambar (c) variasi *preheating* suhu 200°C terlihat fasa yang terbentuk adalah fasa *pearlite*, *ferrite* dan *martensite* namun lebih di dominasi oleh fasa *ferrite*.

Hasil pengujian struktur mikro pada setiap spesimen pada daerah heat affected zone dengan variasi tanpa *treatment* pengelasan SMAW dapat dilihat pada gambar 15.



Gambar 15. Hasil pengamatan struktur mikro pengelasan baja SS400 pembesaran 500x daerah heat affected zone variasi tanpa *treatment*

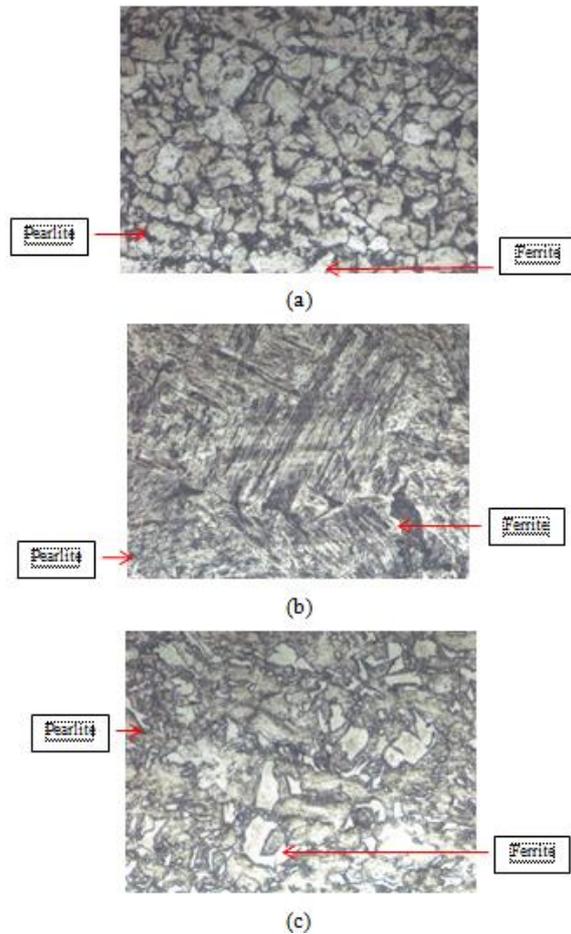
Berdasarkan Gambar 15 menunjukkan hasil pengamatan struktur mikro pengelasan SMAW dengan pembesaran 500x pada daerah HAZ. Pada gambar tanpa *treatment* terlihat fasa yang terbentuk adalah fasa *pearlite* dan *ferrite*.

Pada daerah transisi atau *Heat affected Zone* yaitu daerah yang berdekatan dengan logam pengelasan ada tiga fasa yang terjadi yaitu *ferrite*, *pearlite* dan *martensite*.

c. Base Metal (BM)

Hasil pengujian struktur mikro pada setiap spesimen pada daerah *base metal* dengan variasi suhu *preheating* dan media pendingin air sumur pengelasan SMAW dapat dilihat pada Gambar 16.

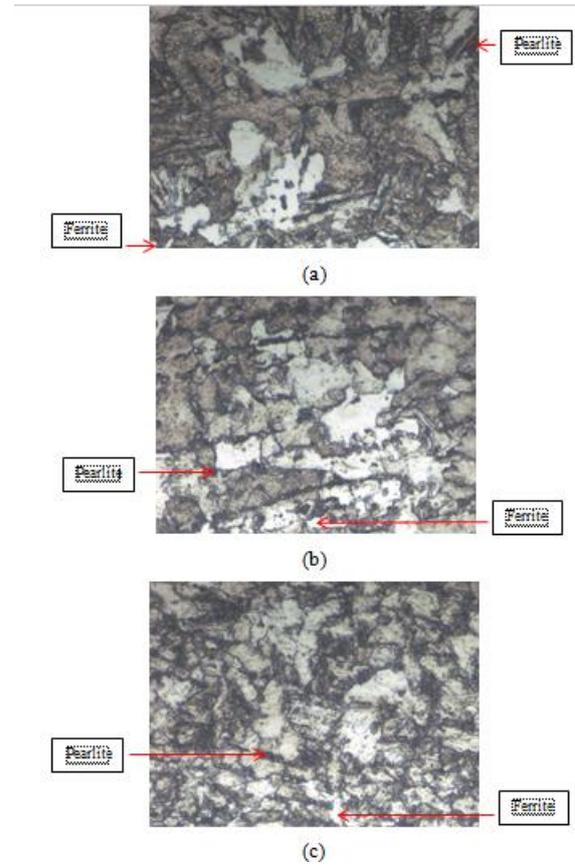
Berdasarkan gambar 16 menunjukkan hasil pengamatan struktur mikro pengelasan SMAW dengan pembesaran 500x pada daerah *base metal*. Pada gambar (a) variasi *preheating* suhu 100°C terlihat fasa yang terbentuk hanya fasa *ferrite* dan *pearlite*. Sedangkan pada gambar (b) variasi *preheating* suhu 150°C terlihat fasa yang terbentuk adalah fasa *pearlite* dan *ferrite* namun lebih di dominasi oleh fasa *pearlite*. Untuk gambar (c) variasi *preheating* suhu 200°C terlihat fasa yang terbentuk adalah fasa *pearlite* dan *ferrite* namun lebih di dominasi oleh fasa *pearlite*.



Gambar 16. Hasil pengamatan struktur mikro pengelasan baja SS400 pembesaran 500x daerah *base metal* (a) variasi *preheating* suhu 100°C (b) variasi *preheating* suhu 150°C (c) variasi *preheating* suhu 200°C

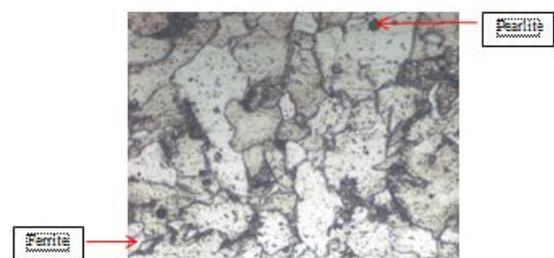
Hasil pengujian struktur mikro pada setiap spesimen pada daerah *base metal* dengan variasi suhu *preheating* dan media pendingin oli pengelasan SMAW dapat dilihat pada Gambar 17.

Berdasarkan gambar 17 menunjukkan hasil pengamatan struktur mikro pengelasan SMAW dengan pembesaran 500x pada daerah *base metal*. Pada gambar (a) variasi *preheating* suhu 100°C terlihat fasa yang terbentuk hanya fasa *ferrite* dan *pearlite* namun lebih di dominasi oleh fasa *pearlite*. Sedangkan pada gambar (b) variasi *preheating* suhu 150°C terlihat fasa yang terbentuk adalah fasa *pearlite* dan *ferrite*. Untuk gambar (c) variasi *preheating* suhu 200°C terlihat fasa yang terbentuk adalah fasa *pearlite* dan *ferrite* namun lebih di dominasi oleh fasa *ferrite*.



Gambar 17. Hasil pengamatan struktur mikro pengelasan baja SS400 pembesaran 500x daerah *base metal* (a) variasi *preheating* suhu 100°C (b) variasi *preheating* suhu 150°C (c) variasi *preheating* suhu 200°C

Hasil pengujian struktur mikro pada setiap spesimen pada daerah *base metal* dengan variasi tanpa *treatment* pengelasan SMAW dapat dilihat pada Gambar 18.



Gambar 18. Hasil pengamatan struktur mikro pengelasan baja SS400 pembesaran 500x daerah *base metal* variasi tanpa *treatment*

Berdasarkan gambar 18 menunjukkan hasil pengamatan struktur mikro pengelasan SMAW dengan pembesaran 500x pada daerah *base metal*. Pada tanpa *treatment* terlihat fasa yang terbentuk adalah fasa *pearlite* dan *ferrite*.

Pada daerah *base metal* merupakan daerah logam yang agak jauh disekitar daerah las namun masih terkena panas pengelasan. Pada daerah ini fasa yang terbentuk hanya fasa *ferite* dan *perlite*.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian mengenai Pengaruh Media Pendingin pada Proses Pengelasan Baja SS400 dengan Memvariasikan Suhu *Preheat* terhadap Sifat Fisik dan Mekanik, dapat ditarik beberapa kesimpulan yang signifikan. Pertama, pada pengujian impact, hasil menunjukkan bahwa variabel *preheat* temperatur 200°C dengan media pendingin air sumur menghasilkan energi impact tertinggi sebesar 60,429 J, sedangkan *preheat* temperatur 100°C menunjukkan nilai energi impact terendah sebesar 38,376 J. Kedua, dalam konteks nilai impact, variasi tanpa treatment memiliki nilai impact tertinggi sebesar 1 J/mm, sedangkan nilai terendah dicapai pada *preheat* temperatur 100°C dan 150°C dengan media pendingin air sumur sebesar 0,5 J/mm².

Selanjutnya, pada pengujian tarik, ditemukan bahwa kekuatan tarik tertinggi terjadi pada hasil pengelasan dengan *preheat* temperatur 200°C dan media pendingin air sumur, mencapai 0,426 kN/mm², sementara nilai terendah tercatat pada *preheat* temperatur 100°C dengan media pendingin air sumur sebesar 0,397 kN/mm². Begitu pula pada kekuatan luluh, variasi *preheat* temperatur 200°C dengan media pendingin oli menghasilkan nilai tertinggi sebesar 0,220 kN/mm², dan nilai terendah dicapai pada *preheat* temperatur 100°C dengan media pendingin air sumur sebesar 0,100 kN/mm². Terakhir, pada pengujian tarik, modulus elastisitas tertinggi tercatat pada *preheat* temperatur 200°C dengan media pendingin air sumur sebesar 0,630 kN/mm², sementara variasi tanpa treatment menunjukkan nilai modulus elastisitas terendah sebesar 0,575 kN/mm².

Kesimpulan ini menggambarkan bahwa variabel suhu *preheat* dan jenis media pendingin memiliki dampak yang signifikan terhadap sifat fisik dan mekanik Baja SS400, memberikan informasi yang berharga untuk pengembangan teknik pengelasan dan pemilihan parameter yang optimal dalam aplikasi konstruksi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Susanto, "Penyambungan Pipa Material Baja St37 Menggunakan Metode Friction Welding dengan Panjang Bushing 40 mm," Doctoral dissertation, Universitas Gadjah Mada, 2017.
- [2] R.R.N. Jalajuwita, "Hubungan Karakteristik Individu dan Posisi Kerja dengan Keluhan Muskuloskeletal (Studi pada Unit Pengelasan Pt. Duta Hita Jaya, Bekasi)," Doctoral dissertation, Universitas Airlangga, 2015.
- [3] S. Sutomo, "Pengaruh Frekuensi Gouging terhadap Kekerasan dan Cacat Pengelasan Baja St37 Menggunakan Pengelasan SMAW," Doctoral dissertation, Universitas Nahdlatul Ulama Sunan Giri, 2022.
- [4] N. Julian, "Analisa Perbandingan Kekuatan Tarik pada Sambungan Las Baja SS400 Pengelasan MAG dengan Variasi Arus Pengelasan dan Media Pendingin Sebagai Material Lambung Kapal," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 7, no. 4, 2019.
- [5] R.Y. Pratama, M. Basuki, and E. Pranatal, "Pengaruh Variasi Arus Pengelasan SMAW untuk Posisi Pengelasan 1g pada Material Baja Kapal SS 400 terhadap Cacat Pengelasan," *Jurnal Sumberdaya Bumi Berkelanjutan (SEMATAN)*, vol. 2, no. 1, pp. 203-209, 2020.
- [6] M.A.P. Famoesa, P.I. Santosa, and E. Pranatal, "Pengaruh Variasi Sudut Kampuh V pada Sambungan Las FCAW dari Material Baja SS 400," *Jurnal Sumberdaya Bumi Berkelanjutan (SEMATAN)*, vol. 2, no. 1, pp. 85-93, 2020.
- [7] E. Prasetyo, H. Hariri, R. Hermawan, and M.R.A. Putra, "Analisis Kekuatan Las pada Sambungan Bejana Tekan Decolorizer," *Teknobiz: Jurnal Ilmiah Program Studi Magister Teknik Mesin*, vol. 13, no. 2, pp. 130-136, 2023.
- [8] R.T. Salsabilah, "Pengaruh Sudut Single V Joint terhadap Distorsi dan Kekerasan Hasil Pengelasan SMAW Pelat Baja A36," Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2023.
- [9] A. Bianto, "Pengaruh Variasi Arus pada Las Spot Welding Material Beda Jenis SUS 301 dan DIN 1.4003," Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah

- Ponorogo, 2022.
- [10] B. Widyanto, "Studi Kasus: Analisis Kegagalan Sambungan Las Pipa CRA Clad Penyalur Gas 12 inch Akibat Terjadinya Perubahan Fasa dan Terbentuknya Cacat Las pada Saat Konstruksi," 2018.
- [11] D. Jarot Wijayanto, "Studi Korosi dan Sifat Mekanis Sambungan Las Busur Rendam untuk Konstruksi Baja dengan Perlakuan Panas," *Jurnal Teknologi TECHNOSCIENTIA*, ISSN: 1979-8415, p. 169.
- [12] J. Wijayanto, "Studi Korosi dan Sifat Mekanis Sambungan Las Busur Rendam untuk Konstruksi Baja dengan Perlakuan Panas," *Jurnal Teknologi TECHNOSCIENTIA*, pp. 169-176, 2014.
- [13] I. Alkahla and S. Pervaiz, "Sustainability Assessment of Shielded Metal Arc Welding (SMAW) Process," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 244, no. 1, p. 012001, September 2017.
- [14] A.K. Paul, "Robust Product Design Using SOSM for Control of Shielded Metal Arc-Welding (SMAW) Process," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 63, no. 6, pp. 3717-3724, 2016.
- [15] R. Datta, D. Mukerjee, and S. Mishra, "Weldability and Toughness Evaluation of Pressure Vessel Quality Steel Using the Shielded Metal Arc Welding (SMAW) Process," *Journal of Materials Engineering and Performance*, vol. 7, pp. 817-823, 1998.
- [16] A. Firmansah, "Analisis komposisi kimia dan keausan (wear testing) pada disc brake pesawat cessna grand caravan 208 B" (Tugas Akhir), *Program Studi DIII Aeronautika Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan (STTKD) Yogyakarta*, 2020.
- [17] X. Salahudin, S. F. Aziz, N. Mulyaningsih, and S. Widodo, "Analisis Laju Keausan Ring Ball Bearing Hasil Perlakuan Quenching," *Mekanik: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, vol. 7, no. 1, pp. 44-50, 2021.
- [18] A. Rifaldi, A.U. Ryadin, and A.R. Hakim, "Pengaruh Suhu Preheating Terhadap Kekuatan Tarik dan Kekerasan Pelat Baja ASTM A36 pada Pengelasan Shielded Metal Arc Welding (SMAW)," *Sigma Teknika*, vol. 4, no. 1, pp. 81-90, 2021.
- [19] M.D. Darsin, S. Junusii, and Y.I. Triawan, "Analisa Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Paduan Aluminium 5083 Akibat Pengelasan Metal Inert Gas (MIG) dengan Variasi Preheat dan Post Heat," *Jurnal ROTOR*, vol. 3, no. 2, pp. 67-74, 2010.
- [20] S. Maulana, "Pengaruh Variasi Media Pendingin pada Sifat Mekanik Pengelasan Material Baja SS400," Doctoral dissertation, Universitas Pancasakti Tegal, 2023.
- [21] C. Dedi, "Analysis of Micro Structure and Hardness on Pre Heating Results of SMAW Welding JIS G 3131 SPHC Steel Plate with Variation of Temperature and Cooling Media," Doctoral dissertation, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, 2022.
- [22] S. Askar, S. Sinarep, and N.H. Sari, "Pengaruh Preheat dan Tempering Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Hasil Pengelasan Baja JIS SS 400," *Dinamika Teknik Mesin*, vol. 3, no. 1, 2013.
- [23] R.T. Haniv, "Pengaruh Pre Heat pada Sambungan Butt Joint Material SS400 terhadap Nilai Tensile Strength, Uji Metallography dan Hardness Test dengan Pengelasan GMAW di PT. INKA Madiun," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 4, no. 02, 2016.
- [24] W. Soedarmadji, "Pengujian Impak Dan Mikrostruktur Terhadap Baja Per Daun Dengan Media Pendingin Oli Dan Air," *Cyber-Techn*, vol. 13, no. 02, p. 9, 2019.
- [25] A. Achmadi, "Studi Eksperimen Pengaruh Perlakuan Quenching Dengan Variasi Pendingin Konsentrasi Air Garam Terhadap Kekerasan Dan Kekuatan Tarik Pada Baja ST 37," *SIMETRIS*, vol. 11, no. 2, pp. 34-42, 2017.
- [26] S.P.P. Warman, "Analisis Faktor Penyebab Cacat Pengelasan pada Pipa (Study Kasus pada Pipa Distribusi PDAM Kabupaten Kutai Barat)," *Jurnal Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Sendawar*, vol. 8, pp. 730-736, 2017.
- [27] L. Farima and A. E. Palupi, "Efek Perlakuan Panas Dengan Variasi Double Quenching Dan Penambahan Garam (NaCl) Pada Al6061 Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 9, no. 1, pp. 47-56, 2021.
- [28] W. Hidayat, "Klasifikasi dan Sifat Material Teknik Serta Pengujian Material," 2019.
- [29] R.D. Prayogo, "Analysis Pengaruh Arus Pengelasan Terhadap Kekuatan Tarik dan Struktur Mikro Baja SS 41 pada Pengelasan GTAW," in *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan*, pp. 133-140, September 2018.