

ANALISA PENGARUH KAMPUH PENGELASAN DAN PERLAKUAN PANAS TERHADAP SIFAT MEKANIK SAMBUNGAN LAS BAJA SUP9

ANALYSIS OF THE EFFECT OF WELDING GROOVE AND HEAT TREATMENT ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF SUP9 STEEL WELDED JOINTS

I Made Mara*, Tri Rachmanto, S. Hadi

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mataram,
Jl. Majapahit no. 62, Mataram, NTB, 83125, Indonesia

*Corresponding author

E-mail: made.mara@unram.ac.id

<https://doi.org/10.29303/empd.v2i2.2688>

Received 7 June 2023; Received in revised form 31 October 2023; Accepted 2 November 2023

ABSTRACT

The rapid development of science and technology has greatly influenced industry, especially industries that produce machine components that use steel as the main raw material. This causes many steel welding processes to use the shielded metal arc welding (SMAW) welding process without paying attention to the welding method and mechanical properties which causes the welding results not to meet the specified quality standards, thus endangering safety. The aim of this research is to determine the effect of the welding groove (V, K, and X) and the heat treatment process (normalizing, quenching, and without heat treatment) on the mechanical properties of SUP9 steel welded joints. The results of this research show that the welding groove and heat treatment have an effect on the tensile strength and impact strength of SUP9 steel. The best heat treatment that produces the highest tensile strength is quenching heat treatment on welding groove X using the ASTM E8 test standard, with a maximum tensile strength value of 84.23 Kgf/mm². In addition, the best heat treatment to produce high impact strength is the X groove welding variation with normalizing heat treatment using the ASTM E23 test standard which has an average impact strength value of 1.11 J/mm².

Keywords: Welding groove, SMAW, Heat treatment, SUP9 steel, Mechanical properties

1. Pendahuluan

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang semakin berkembang pesat mempengaruhi perindustrian baik di dalam maupun di luar negeri, salah satunya adalah industri yang menghasilkan atau memproduksi elemen-elemen mesin yang sebagian besar menggunakan logam sebagai bahan baku utamanya. Salah satu jenis logam yang sering digunakan pada industri permesinan adalah baja karena mudah dijumpai dan memiliki kekuatan dan ketahanan yang tinggi, memiliki banyak variasi grade dan kandungan unsur karbon serta harga cukup terjangkau yang bisa menyesuaikan kebutuhan. Proses pengelasan yang paling sering digunakan untuk penyambungan baja karbon sedang seperti baja SUP9 adalah metode pengelasan SMAW (*Shield Metal Arc Welding*) yang dikombinasikan dengan elektroda E7018 karena lebih praktis, lebih mudah pengoperasiannya dan lebih efisien dari segi biaya [1, 2].

Kombinasi variasi kampuh pengelasan dan perlakuan panas tentu akan berpengaruh pada sifat mekanik baja SUP9, yang merupakan baja karbon rendah yang mengandung sejumlah komposisi kimia yang khas. Komposisi kimianya dapat mencakup sekitar 0,52-0,60% karbon, 0,75-1,00% silikon, 0,65-0,95% mangan, 0,17-0,37% fosfor, dan kurang dari 0,035% belerang [2, 3]. Baja ini merupakan baja yang dibuat dengan standar JIS dan banyak digunakan dalam bidang otomotif. Kampuh pengelasan yang

digunakan harus sesuai dengan ketebalan plat baja yang akan digunakan dan variasi kampuh yang tepat untuk ketebalan plat baja lebih dari 8 mm adalah kampuh V, K dan X. [1, 4]. Perlakuan panas sangat berperan penting didalam industri permesinan atau elemen-elemen yang berkaitan dengan logam atau baja karena merupakan proses yang cukup berpengaruh dalam menentukan sifat fisik ataupun mekanik logam karena dalam proses perlakuan panas kekurangan yang dimiliki logam atau baja bisa diperbaiki [3, 5].

Baja banyak digunakan sebagai konstruksi seperti halnya kerangka jembatan, atap bangunan, rel kereta api, tower dan masih banyak lagi. Oleh sebab itu proses pengelasan baja ini harus memperhatikan metode pengelasan yang sesuai dengan bahan yang dilas dan sifat mekanik hasil pengelasan syarat konstruksi yang direncanakan [2,6]. Dalam penelitian ini penulis melakukan uji coba variasi kampuh pengelasan dan perlakuan panas pada baja SUP9 untuk melihat kekuatan, ketahanan dan ketangguhan terhadap tarikan dan dampak mengingat tujuan utama penelitian ini adalah untuk menemukan sifat mekanik sambungan las pada baja SUP9 yang banyak digunakan sebagai konstruksi seperti pemancar, tiang jembatan dan lainnya.

2. Bahan dan Metode

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain gerinda potong, mesin las SMAW, jangka sorong, *clamp amper*, penggaris siku, kikir, ragum, tang penjepit, amplas, oven pemanas, alat pelindung diri, mesin uji dampak, mesin uji tarik. Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja SUP9 dan oli mesin sebagai media *quenching*.

Dalam penelitian ini kampuh pengelasan yang digunakan adalah kampuh V, K dan X untuk perlakuan panas yang digunakan yaitu perlakuan panas *normalizing*, *quenching* dan tanpa perlakuan panas. Tahap pertama yaitu baja SUP9 berdimensi 500 mm x 500 mm x 10 mm dipotong dengan ukuran 100 mm x 100 mm x 10 mm lalu dipotong lagi menjadi 2 bagian kemudian diberikan kampuh. Tahap selanjutnya yaitu proses pengelasan, baja yang sudah diberikan kampuh selanjutnya akan dilas menggunakan elektroda LB52 E7016 dan E7018 dengan diameter 2,6 mm dengan memvariasikan arus dan tegangan menggunakan *Welding Procedure Specifications (WPS)* agar proses pengelasan berjalan lancar dan meminimalisir cacatan pada hasil pengelasan. Parameter proses pengelasan diukur dan dicatat dalam WPS. Kemudian setelah dilakukan pengelasan dilakukan pembentukan spesimen menggunakan standar ASTM E8 [4] untuk spesimen uji tarik dengan dimensi 100 x 10 x 6 mm dan standar ASTM E23 untuk spesimen uji dampak dengan dimensi 55 x 10 x 10 mm kemudian dibuatkan takikan sesuai dengan standar pengujian.

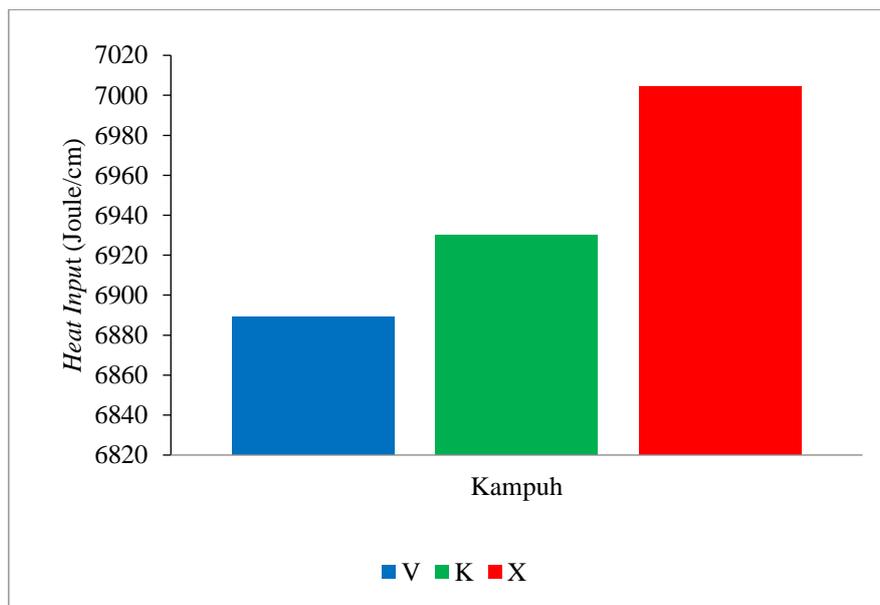
Tahap selanjutnya yaitu proses perlakuan panas, spesimen uji yang sudah dibentuk diberikan 3 jenis perlakuan panas, spesimen dipanaskan menggunakan oven dengan suhu 850°C dan ditahan selama 20 menit agar baja mencapai suhu austenite kemudian dikeluarkan dan didinginkan pada suhu ruang agar menjadi perlakuan panas *normalizing*, perlakuan panas yang selanjutnya adalah *quenching* di mana spesimen yang sudah dipanaskan di dinginkan dengan cara dicelup kedalam oli dan ditahan selama 5 menit dan yang kombinasi yang ketiga adalah spesimen tanpa perlakuan panas.

Tahap berikutnya yaitu pengujian menggunakan mesin uji tarik dan uji dampak, pada pengujian tarik alat dikalibrasi terlebih dahulu kemudian spesimen ASTM E8 [4] dijepit dikedua bagian penjepit (*chuck*) mesin uji tarik kemudian mengatur *speed control* untuk mengatur kecepatan grafik, tarikan dan pelepasan spesimen. Selanjutnya jalankan mesin uji tarik Saat proses penarikan berlangsung diperhatikan *load indicator* dan data yang ditampilkan di komputer untuk memudahkan mengambil data dan mengolahnya setelah terjadi patahan pada spesimen cacat hasil pengujian. Dan pada pengujian dampak alat dikalibrasi terlebih dahulu kemudian spesimen ASTM E23 dipasang mendarat ke *anvil* dan kedua ujung spesimen ditumpu pada suatu landasan. Mengatur letak dari takikan (*notch*) berada tepat ditengah arah pemukulan dari belakang takikan lalu mengatur *alfa* pada sudut yang sudah ditentukan kemudian melepas kunci pada *hammer* dari *starting position* lalu diangkat dan dilepaskan seketika sehingga menumbuk spesimen, setelah proses dampak selesai perhatikan jarum penunjuk yang dihasilkan oleh proses dampak pada alat dan dicatat hasil beta pada *scale* di alat uji untuk mendapatkan nilai energi terserap (J) dan kekuatan dampak (J/mm²) serta kondisi patahan untuk proses pengambilan dan pengolahan data.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Heat Input

Dari hasil penelitian, proses pengelasan dengan tiga variasi kampuh dengan menggunakan metode pengelasan SMAW dan mempertimbangkan diameter elektroda, perbedaan kecepatan laju elektroda, *voltage*, *ampere*, dan sudut kampuh mempunyai tujuan agar masukan panas (*heat input*) dan penetrasi sambungan las dapat maksimal. Dari pengelasan SMAW yang sudah dilakukan didapatkan rata-rata kecepatan pengelasan sebesar 15 cm/menit, dan didapatkan data rata-rata *heatinput* menggunakan rumus $HI = 60 \times \text{tegangan pengelasan} \times \text{ arus pengelasan} / \text{kecepatan elektroda (Travel speed)}$ seperti pada spesimen kampuh V didapatkan dengan perhitungan ($HI = 60 \times 20 \text{ Volt} \times 90 \text{ Ampere} / 15,69 \text{ cm/menit} = 6889 \text{ Joule/cm}$). Untuk heat input kampuh V, K dan X dapat dilihat pada Gambar 1.

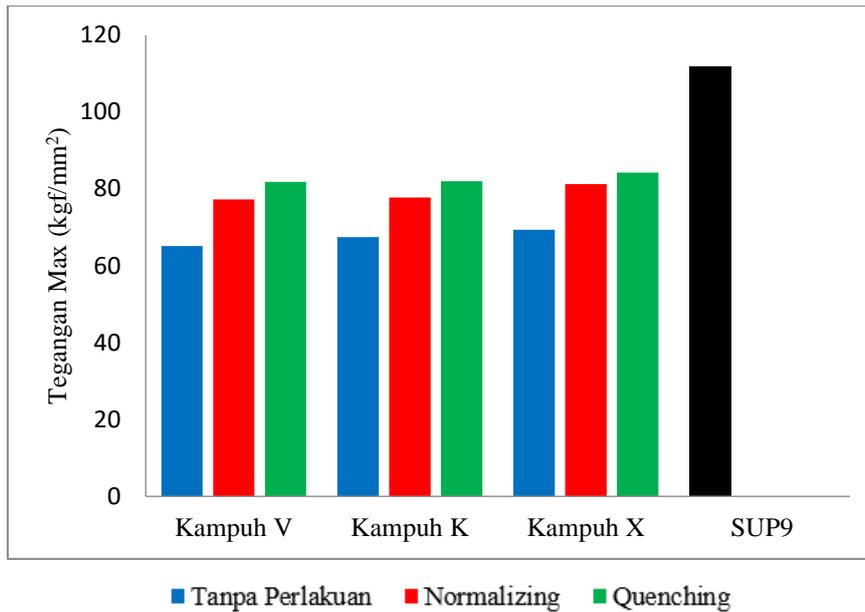


Gambar 1 Nilai rata-rata *heat input*

Dari Gambar 1, terlihat bahwa pada pengelasan dengan kampuh V memiliki nilai *heat input* rata-rata sebesar 6889,0 Joule/cm. Pada variasi kampuh K memiliki nilai *heat input* rata-rata yang sama yaitu sebesar 6929,9 Joule/cm. Dan pada variasi kampuh X memiliki nilai *heat input* rata-rata sebesar 7004,15 Joule/cm. Setiap jenis kampuh las memiliki karakteristik penetrasi yang berbeda. Kampuh las V memungkinkan penetrasi yang lebih dalam dibandingkan dengan kampuh las X dan K. Oleh karena itu, kampuh las V mungkin memerlukan heat input lebih rendah untuk mencapai kedalaman penetrasi yang diinginkan. Sedangkan kampuh las X dan K memiliki lebar pada kedua sisi dibandingkan dengan kampuh las V [8]. Hal ini mempengaruhi jumlah lelehan logam cair yang diperlukan untuk mengisi selama proses pengelasan. Kampuh las X memerlukan lelehan logam cair yang lebih banyak dibandingkan kampuh las V maupun K. Sehingga heat input yang dibutuhkan dalam proses pengelasan sebanding dengan jumlah lelehan logam cair yang dibutuhkan [5, 7].

3.2 Kekuatan Tarik

Dari hasil proses pengujian tarik didapatkan tegangan tarik yang bisa diambil langsung dari komputer alat uji tarik. Berikut ini pada Gambar 2 memperlihatkan besarnya tegangan Tarik maksimum dari hasil pengelasan.

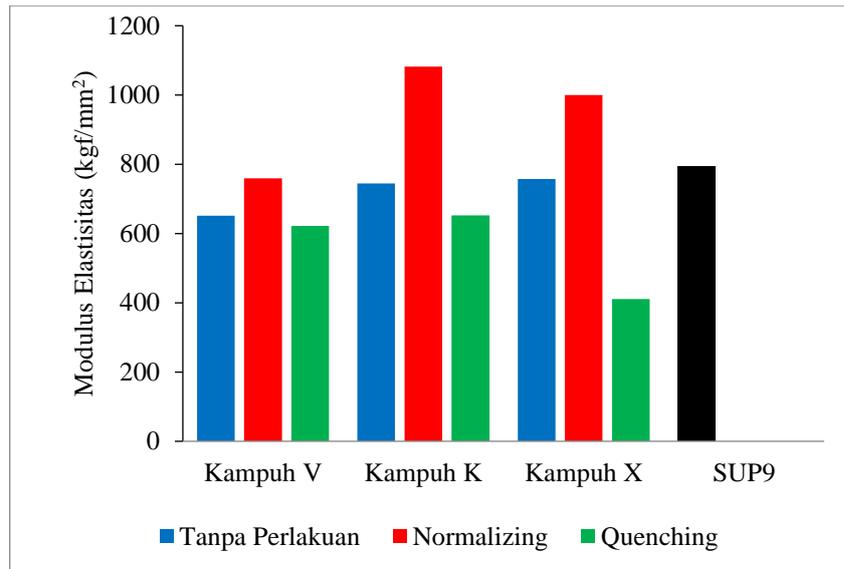


Gambar 2 Tegangan tarik maksimum

Dari hasil pemaparan diatas, dapat dilihat Pada variasi kampung V tanpa perlakuan panas memiliki nilai tegangan tarik rata-rata sebesar 65,13 Kgf/mm² dan variasi kampung V dengan perlakuan panas *normalizing* mengalami peningkatan nilai tegangan menjadi 77,27 Kgf/mm² kemudian meningkat lagi pada variasi kampung V dengan perlakuan panas *quenching* dengan nilai tegangan 81,82 Kgf/mm². Pada variasi kampung K tanpa perlakuan panas memiliki nilai tegangan tarik rata-rata sebesar 67,46 Kgf/mm² dan pada kampung K dengan perlakuan panas *normalizing* memiliki nilai tegangan 77,75 Kgf/mm², kemudian pada kampung K dengan perlakuan panas *quenching* memiliki tegangan tarik lebih tinggi dengan nilai 82,01 Kgf/mm². Pada variasi kampung X tanpa perlakuan panas memiliki nilai tegangan tarik rata-rata sebesar 69,37 Kgf/mm² dan pada kampung X dengan perlakuan panas *normalizing* memiliki nilai tegangan lebih tinggi sebesar 81,22 Kgf/mm², kemudian pada kampung X dengan perlakuan panas *quenching* memiliki tegangan tarik sebesar 84,23 Kgf/mm². Kemudian baja asli SUP9 memiliki tegangan tarik terbesar dengan tegangan tarik maksimum sebesar 111,72 Kgf/mm². Nilai tegangan tarik rata-rata kombinasi kampung dan perlakuan panas yang dihasilkan lebih kecil dari nilai tegangan tarik yang dihasilkan oleh baja SUP9, hal ini disebabkan oleh kualitas sambungan yang kurang sempurna dan masih terdapat cacat pengelasan. Dari pengujian di atas nilai tegangan tarik yang berbeda-beda disebabkan oleh variasi kampung dan jenis perlakuan panas yang berbeda dimana nilai rata-rata tegangan tarik tertinggi terjadi pada variasi kampung X dan perlakuan panas *quenching*, pada kampung X tegangan tarik lebih besar karena kekuatan sambungan menggunakan kampung X lebih besar dari kampung V dan K [8]. Sedangkan pada perlakuan panas *quenching* kemampuan menahan tegangan tarik menjadi lebih tinggi dari *normalizing* dan tanpa perlakuan panas, hal ini dikarenakan baja yang di*quenching* menjadi lebih keras dan kuat menahan tegangan tarik yang dibebankan secara perlahan namun lemah terhadap beban kejut atau impak [6, 7].

3.3 Modulus Elastisitas

Dari proses pengujian tarik didapatkan nilai modulus elastisitas atau modulus elastisitas diperoleh langsung dari komputer alat uji tarik atau bisa dihitung dari data uji Tarik, seperti contoh pada spesimen uji dengan kombinasi kampung V tanpa perlakuan panas didapatkan dengan perhitungan ($E = 638,74 \text{ Kgf/mm}^2 / 0,1 = 651,77 \text{ Kgf/mm}^2$) sehingga didapatkan data nilai modulus elastisitas pada setiap spesimen seperti Gambar 3.



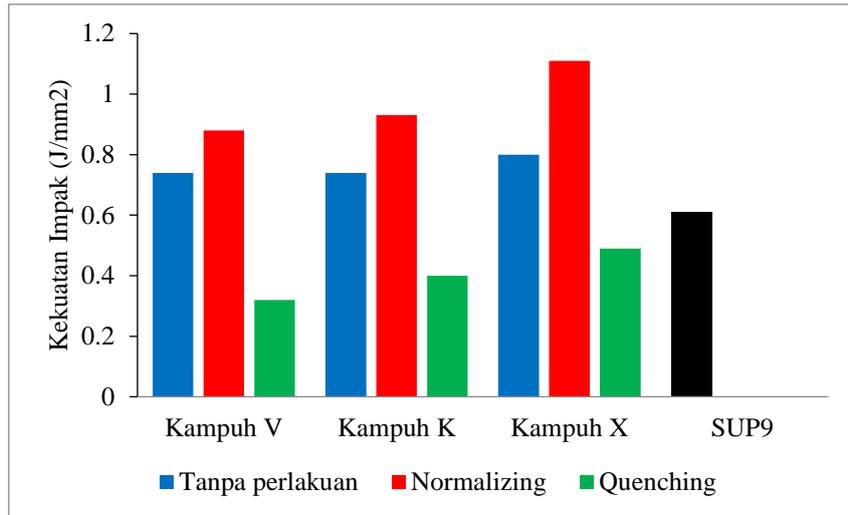
Gambar 3 Modulus elastisitas

Dari hasil pemaparan di atas, dapat dilihat pada Pada variasi kampuh V tanpa perlakuan panas memiliki nilai modulus elastisitas sebesar 651,77 Kgf/mm² dan variasi kampuh V dengan perlakuan panas *normalizing* mengalami peningkatan nilai modulus elastisitas menjadi 759,55 Kgf/mm² kemudian menurun lagi pada variasi kampuh V dengan perlakuan panas *quenching* dengan nilai modulus elastisitas 622,15 Kgf/mm². Pada variasi kampuh K tanpa perlakuan panas memiliki nilai modulus elastisitas sebesar 744,22 Kgf/mm² dan pada kampuh K dengan perlakuan panas *normalizing* memiliki nilai modulus elastisitas paling tinggi sebesar 1081,72 Kgf/mm² kemudian pada kampuh K dengan perlakuan panas *quenching* memiliki nilai modulus elastisitas lebih sedikit dengan nilai 652,17 Kgf/mm². Pada variasi kampuh X tanpa perlakuan panas memiliki nilai modulus elastisitas sebesar 757,36 Kgf/mm² dan pada kampuh X dengan perlakuan panas *normalizing* memiliki nilai modulus elastisitas 1000,15 Kgf/mm² kemudian pada kampuh X dengan perlakuan panas *quenching* nilai modulus elastisitas turun menjadi 411,30 Kgf/mm². Kemudian baja asli SUP9 memiliki nilai modulus elastisitas sebesar 792,44 Kgf/mm². Nilai modulus elastisitas yang paling tinggi didapat rata-rata pada kombinasi perlakuan panas *normalizing* dengan nilai 1081,72 bahkan lebih tinggi dari baja SUP9, hal ini disebabkan karena saat baja yang *dinormalizing* kemampuan elastisitas baja SUP9 ditingkatkan. Nilai modulus elastisitas yang berbeda-beda diatas disebabkan oleh variasi kampuh dan jenis perlakuan panas yang berbeda dimana nilai modulus elastisitas tertinggi terjadi pada variasi kampuh K dan perlakuan panas *normalizing*, pada kombinasi kampuh K dengan perlakuan panas *normalizing* modulus elastisitas lebih besar karena memiliki regangan atau *elongation* yang paling kecil menyebabkan hasil pembagian dari nilai tegangan leleh menjadi lebih besar dan perlakuan panas *normalizing* membuat kemampuan elastis baja menjadi lebih baik dibandingkan dengan *quenching* dan tanpa perlakuan panas [5, 6].

3.4 Kekuatan Impak

Dari proses pengujian impak dengan spesimen yang sudah dilas dengan variasi kampuh dan diberikan perlakuan panas, diperoleh kekuatan impak menggunakan data dari pengujian impak, seperti pada spesimen dengan kombinasi kampuh V tanpa perlakuan panas didapatkan dengan perhitungan ($KI = 55J / 79,77 = 0,689 J/mm^2$) sehingga didapatkan data rata-rata kekuatan impak pada setiap spesimen seperti Gambar 4.

Dari hasil pemaparan di atas, dapat dilihat Pada variasi kampuh V tanpa perlakuan panas memiliki nilai kekuatan impak rata-rata 0,741 J/mm² dan variasi kampuh V dengan perlakuan panas *normalizing* mengalami peningkatan nilai harga impak menjadi 0,889 J/mm² kemudian menurun lagi pada variasi kampuh V dengan perlakuan panas *quenching* dengan nilai kekuatan impak 0,322 J/mm².

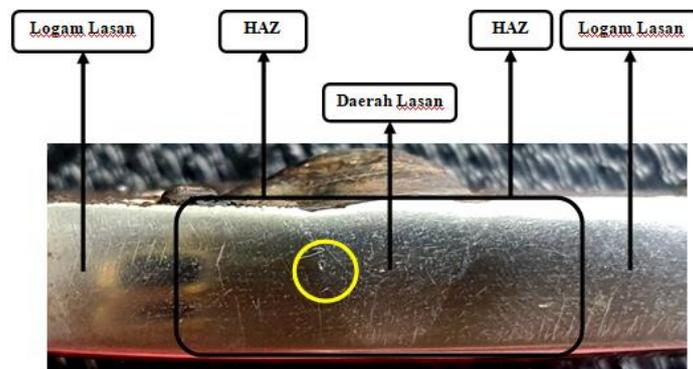


Gambar 4 Kekuatan impak

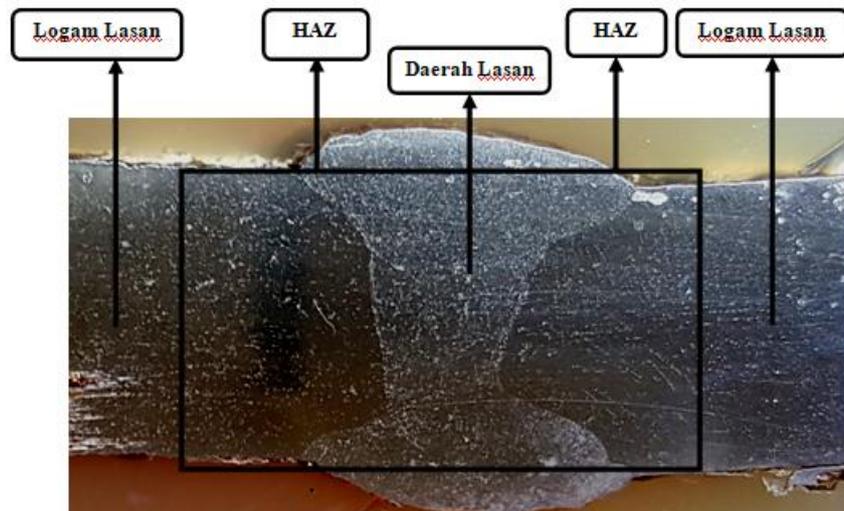
Pada variasi kampuh K tanpa perlakuan panas memiliki nilai harga impak rata-rata sebesar 0,74 J/mm² dan pada kampuh K dengan perlakuan panas *normalizing* memiliki nilai kekuatan impak 0,936 J/mm² kemudian pada kampuh K dengan perlakuan panas *quenching* memiliki kekuatan impak lebih kecil dengan nilai 0,401 J/mm². Pada variasi kampuh X tanpa perlakuan panas memiliki nilai harga impak rata-rata sebesar 0,809 J/mm² dan pada kampuh X dengan perlakuan panas *normalizing* memiliki nilai kekuatan impak tertinggi sebesar 1,11 J/mm² kemudian pada kampuh X dengan perlakuan panas *quenching* memiliki kekuatan impak lebih kecil dengan nilai 0,49 J/mm². Kemudian baja baja SUP9 memiliki nilai kekuatan impak sebesar 0,613 J/mm². Nilai kekuatan impak tertinggi rata-rata diperoleh pada spesimen dengan kombinasi kampuh X dengan perlakuan panas *normalizing*, hal ini dikarenakan pada kampuh X kualitas sambungan lebih bagus dan kekuatannya menjadi lebih besar sehingga mendapatkan nilai harga atau ketangguhan impak lebih besar dari pada kampuh V dan K [8,12], dan pada perlakuan panas *normalizing* kemampuan baja menahan beban kejut atau impak lebih baik dari *quenching* dan tanpa perlakuan panas karena pada proses *normalizing* deformasi atom terjadi secara normal dalam udara ruang berbeda dengan *quenching* yang terjadi secara singkat karena pendinginan cepat menyebabkan baja yang di *quenching* menjadi getas dan mudah patah jika diberikan beban kejut [9,11].

3.5 Foto Makro

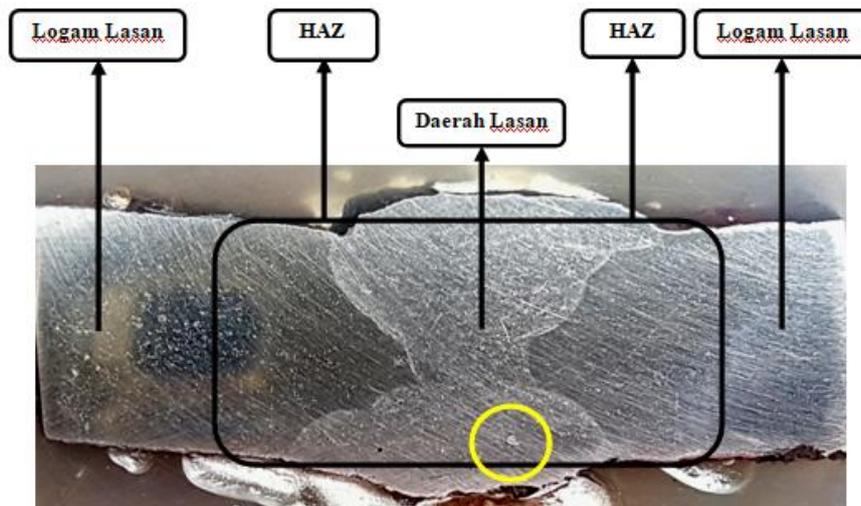
Dari hasil pengujian tarik dan impak salah satunya dipengaruhi oleh kualitas sambungan, untuk lebih jelasnya foto makro hasil dari proses pengelasan dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Foto makro kampuh V perbesaran 3x



Gambar 6 Foto makro kampung K perbesaran 3x



Gambar 7 Foto makro kampung X perbesaran 3x

Dari Gambar 5 spesimen difoto menggunakan kamera dengan perbesaran 3x dapat dilihat daerah lasan, HAZ dan logam induk atau *base metal* dan pada lingkaran berwarna kuning terdapat sedikit cacat pengelasan atau bisa disebut porositas, hal ini disebabkan oleh elektroda masih lembab, *travel speed* yang tinggi dan arus las yang cukup kecil pada saat proses pengelasan sehingga terjadinya sedikit rongga pada kampung V atau pada daerah HAZ mengakibatkan nilai *heat input*, kekuatan tarik dan kekuatan impak kampung V menjadi yang paling kecil [7, 9, 10]. Dari Gambar 6 spesimen difoto menggunakan kamera dengan perbesaran 3x dapat dilihat HAZ, daerah lasan, logam induk atau *base metal* dan terlihat hasil pengelasan yang sedikit melebar dari kampung yang semula kampung K di bagian kiri yang seharusnya lurus dan memiliki sudut 90° di ujungnya, namun setelah dilas sudutnya menjadi hilang, hal ini disebabkan pada proses pengelasan kecepatan elektroda sedikit lebih lambat dibagian sudut kampung sehingga sedikit merubah bentuk dari kampung K. Dari Gambar 7 spesimen difoto menggunakan kamera handphone dengan perbesaran 3x dapat dilihat logam induk atau *base metal*, daerah lasan dan HAZ serta dapat dilihat pada lingkaran berwarna kuning terdapat sedikit porositas atau rongga yang terjadi dalam daerah las yang disebabkan oleh elektroda masih lembab dan arus las yang cukup kecil pada saat proses pengelasan sehingga hasil pengelasan kurang sempurna [7, 9]. Dan pada kampung X terlihat memiliki jarak antar kampung yang sedikit lebih renggang dari yang lain yang disebabkan oleh terjadinya pengulangan proses pengelasan karena pada saat pengelasan yang pertama hasil sambungan tidak rapi yang berakibat nilai *heat input*, kekuatan tarik dan kekuatan impak pada kampung X menjadi yang paling besar [8].

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian rata-rata tegangan tarik yang dihasilkan paling kecil sebesar 65,13 Kgf/mm² pada kombinasi kampuh V dan tanpa perlakuan panas dan yang paling tinggi sebesar 84,23 Kgf/mm² pada kombinasi kampuh X dan perlakuan panas *quenching*. Sedangkan untuk kekuatan impak rata-rata tertinggi sebesar 1,11 J/mm² pada kombinasi kampuh X dan perlakuan panas *normalizing* dan yang terendah sebesar 0,322 J/mm² pada kombinasi kampuh V dan perlakuan panas *quenching*.

Ucapan Terima kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu baik berupa materi maupun pikiran sehingga tulisan ini dapat terselesaikan. Penulis juga mengapresiasi atas dukungan yang diberikan oleh Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mataram berupa fasilitas yang dipergunakan dalam penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] M.N. Aji, "Pengaruh variasi jenis kampuh pengelasan SMAW pada sambungan pengelasan logam baja JIS G 3131 Spbc dengan baja AISI 201 terhadap sifat mekanik" (desertasi), Malang: Institut Teknologi Nasional Malang, 2019.
- [2] Z. Anwar, Analisa pengaruh perlakuan panas quench-temper terhadap nilai kekerasan dan kekuatan tarik baja JIS SUP9, *Jurnal Inovator*, 4 (2) (2021) 36-40.
- [3] Z. Arifin, A. Uliyak, "Pengaruh variasi temperature dan media pendingin perlakuan panas quencing pelat baja SUP9 terhadap sifat mekanis kekuatan dan kekerasan" (desertasi), Surabaya: Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, 2020.
- [4] ASTM, E. 2, Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials. E23-07a, Pennsylvania, PA, USA, 2007.
- [5] M. Dikwan, S. Jokosisworo, A.F. Zakki, Pengaruh normalizing terhadap kekuatan tarik, impak, dan mikrografi pada sambungan las baja A36 pengelasan Shielded Metal Arc Welding (SMAW) dengan variasi 2 waktu pemanasan, *Jurnal Teknik Perkapalan*, 7 (4) (2019).
- [6] M.F. Hasan, Analysis of mechanical behavior and microstructural characteristics change of ASTM A-36 steel applying various heat treatment, *Journal of Material Science & Engineering*, 5 (2) (2016) 1-6.
- [7] A. Saputra, Pengaruh amper terhadap cacat las pada pengelasan baja lunak dengan menggunakan pengelasan SMAW posisi pengelasan 2F, *Manutech: Jurnal Teknologi Manufaktur*, 13 (1) (2021) 41-50.
- [8] L.I. Saputra, U. Budiarto, S. Jokosisworo, Analisa perbandingan kekuatan tarik, impak, dan mikrografi pada sambungan las baja SS400 pengelasan SMAW (Shielded Metal Arc Welding) akibat dengan variasi jenis kampuh dan posisi pengelasan, *Jurnal Teknik Perkapalan*, 7 (4) (2019).
- [9] N.H. Sari, Perlakuan panas pada baja karbon: Efek media pendinginan terhadap sifat mekanik dan struktur mikro, *Jurnal Teknik Mesin (JTM)*, 6 (4) (2017) 264.
- [10] F. Sukarman, M.H. Ismail, M. Shah, N.H. Ramli, I. Tharazi, welding quality assessment for oil and gas industry by comparison of mechanical testing properties and microstructure analysis, *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, IOP Publishing, 834 (1) (2020) 012046.
- [11] R. Wurdhani, U. Budiarto, W. Amiruddin, Pengaruh perlakuan panas (heat treatment) normalizing terhadap kekuatan impak aluminium 6061 pengelasan MIG dengan variasi posisi dan bentuk kampuh, *Jurnal Teknik Perkapalan*, 9 (1) (2020) 70-78.
- [12] Z. Zulkifli, B. Dahlan, N. Fatimah, Analisa pengaruh variasi media pendingin terhadap kekuatan mekanik pada hasil pengelasan metode SMAW material baja ST 52, *Journal of Welding Technology*, 1 (2) (2019) 48-51.