



MEKANIKA : JURNAL TEKNIK MESIN

Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Volume 10 No. 1 (2024)

ISSN: 2460-3384 (p); 2686-3693 (e)

ANALISIS PENGARUH VARIASI KECEPATAN DAN ARUS PENGELASAN TERHADAP SIFAT MEKANIK HASIL LAS

Mohammad Mufti¹, Ismail¹, Ichlas Wahid¹

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Jalan Semolowaru No. 45 Surabaya 60118, Tel. 031-5931800, Indonesia

email: moh.mufti@untag-sby.ac.id

ABSTRAK

Prosedur pengelasan memainkan peranan penting dalam sektor teknologi manufaktur, dan prosedur pendinginan selanjutnya digunakan pada material yang dihasilkan dari pengelasan baja ST-42, menggunakan oli SAE-10W-30 sebagai bahan pendingin. Prosedur ini, yang meliputi peleburan logam dan Perlakuan Termal selanjutnya dengan pendinginan yang dipercepat untuk mencapai proses pengerasan, dimaksudkan untuk memperoleh karakteristik material yang sesuai. Nilai tegangan tarik tertinggi diperoleh selama prosedur pendinginan, yang bervariasi tergantung pada laju dan arus pengelasan. Mesin las Gas Metal Arc Welding (GMAW) digunakan dengan fluktuasi arus sebesar 120 A, 130 A, dan 140 A. Tujuan utama penelitian ini adalah untuk mengevaluasi pengaruh fluktuasi kecepatan pengelasan dan arus listrik terhadap karakteristik mekanik mesin las. pengelasan dan tentukan kombinasi kecepatan dan arus pengelasan yang paling menguntungkan di antara tiga opsi—55 mm/s, 52 mm/s, dan 49 mm/s untuk kecepatan pengelasan, dan 120 A, 130 A, dan 140 A untuk arus pengelasan — dalam hasil pengelasan GMAW. Pada pengujian pada plat induk baja karbon rendah yaitu “ST42” yang dilakukan dengan pengujian tegangan tarik maksimum dan uji kekerasan brinell. Tegangan tarik maksimum terbesar berada pada, Hasil Pengujian Tarik dengan variasi kecepatan 55mm/s, 52mm/s, dan 49mm/s dan variasi arus 120A, 130A, Dan 140A. Dan media pendingin OLI SAE 10W-30 kekuatan tarik maksimum terbesar berada di pengelasan, arus 140A dengan kode spesimen G2 dengan kekuatan tarik maksimum sebesar 43,58 kg/mm². Dan tegangan tarik maksimum terendah yaitu berada pada kode spesimen A2 di arus 120 A sebesar 33,14 kg/mm². Dan kecepatan pengelasan 52mm/s. pada media pendingin oli yang didapatkan yaitu semakin besar arus maka semakin tinggi tegangan tarik maksimumnya, sedangkan untuk pengujian kekerasan Brinell, Pengujian Kekerasan Brinell dengan pengambilan sampel titik pada daerah Weld Metal, HAZ, Base Metal. Dan nilai tertinggi kekerasan HBN berada pada arus 130 A dengan kode spesimen D, dan kecepatan Pengelasan 55mm/s sehingga nilai kekerasan yang di dapat sebesar 175,3 HBN Pada daerah weld metal, dan pada daerah HAZ nilai tertinggi berada pada arus 120A pada kode spesimen A dengan kecepatan pengelasan 55mm/s sebesar 164 HBN. Dan pada daerah base metal yang tertinggi yaitu pada arus 130 A pada kode spesimen E, dengan kecepatan pengelasan 52mm/s sebesar 159 HBN.

ABSTRACT

Welding procedures play an important role in the manufacturing technology sector, and cooling procedures are then used on the material resulting from welding ST-42 steel, using SAE-10W-30 oil as a cooling agent. This procedure, which includes melting the metal and subsequent Thermal Treatment with accelerated cooling to achieve the hardening process, is intended to obtain appropriate material characteristics. The highest tensile stress values are obtained during

the cooling procedure, which varies depending on the welding rate and current. The Gas Metal Arc Welding (GMAW) welding machine is used with current fluctuations of 120 A, 130 A, and 140 A. The main objective of this research is to evaluate the effect of fluctuations in welding speed and electric current on the mechanical characteristics of the welding machine. welding and determine the most favorable combination of welding speed and current among the three options—55 mm/s, 52 mm/s, and 49 mm/s for welding speed, and 120 A, 130 A, and 140 A for welding current—in GMAW welding results. The test on the low carbon steel main plate, namely "ST42", was carried out using maximum tensile stress testing and Brinell hardness testing. The largest maximum tensile stress is in Tensile Test Results with speed variations of 55mm/s, 52mm/s, and 49mm/s and current variations of 120A, 130A, and 140A. And the OLI SAE 10W-30 cooling medium has the greatest maximum tensile strength in welding, current 140A with specimen code G2 with a maximum tensile strength of 43.58 kg/mm². And the lowest maximum tensile stress is in specimen code A2 at a current of 120 A of 33.14 kg/mm². And the welding speed is 52mm/s. In the oil cooling media, the greater the feed current, the higher the maximum tensile stress, while for Brinell hardness testing, Brinell hardness testing is done by taking point samples in the Weld Metal, HAZ, Base Metal areas. And the highest value of HBN hardness is at a current of 130 A with specimen code D, and a welding speed of 55mm/s so that the hardness value obtained is 175.3 HBN in the weld metal area, and in the HAZ area the highest value is at a current of 120A in the specimen code. A with a welding speed of 55mm/s of 164 HBN. And in the highest base metal area, namely at a current of 130 A in specimen code E, with a welding speed of 52mm/s of 159 HBN.

PENDAHULUAN

Pengelasan adalah suatu metodologi yang melibatkan peleburan dua atau lebih komponen logam melalui penggunaan energi panas, sebagaimana dijelaskan oleh Wiryosumarto (2000). Menurut American Welding Society (AWS), pengelasan mengacu pada peleburan metalurgi logam atau paduan logam dalam kondisi cair atau cair. Pada dasarnya pengelasan adalah prosedur penyambungan beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas. Integritas logam yang menyatu sangat dipengaruhi oleh karakteristik yang melekat pada logam itu sendiri, yang bergantung pada fluktuasi suhu selama prosedur pengelasan. Pemanfaatan energi panas memainkan peran penting, menghasilkan siklus termal yang cepat yang mencakup penerapan panas dan pendinginan selanjutnya di area pengelasan, akibatnya mempengaruhi proses metalurgi, distorsi, dan kualitas keseluruhan hasil pengelasan, termasuk jenis ketidaksempurnaan yang dihasilkan. , ketahanan sendi, potensi tarik, dan struktur mikro logam (Teguh Wiyono, 2012).

Pengelasan Busur Logam Gas Petroleum (GMAW) yang menggunakan Gas Petroleum memerlukan penggunaan gas pelindung untuk melindungi logam las agar tidak ternoda oleh atmosfer sekitar selama keseluruhan prosedur pengelasan. Difusi hidrogen menimbulkan bahaya besar pada logam las, yang berpotensi mengakibatkan pembentukan kerentanan dalam bentuk porositas. Dalam proses Gas Metal Arc Welding (GMAW), digunakan gas pelindung seperti argon (Ar), yang sering disebut Metal Inert Gas (MIG), atau karbon dioksida (CO₂), yang disebut Metal Active Gas (MAG), yang digunakan. untuk tujuan khusus ini.

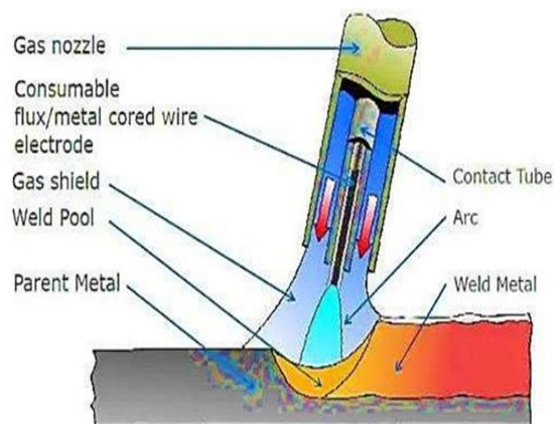
Baja, yang banyak digunakan dalam operasi industri, menunjukkan karakteristik mekanis tertentu, seperti kekerasan, dalam kondisi operasional atau penggunaan. Perlakuan termal dan perlakuan kriogenik adalah prosedur yang dapat meningkatkan karakteristik mekanis ini.

Pengujian kekerasan terbukti menjadi teknik yang sangat mujarab untuk mengevaluasi karakteristik mekanik suatu zat. Meskipun pengujian terbatas pada tempat atau area tertentu, nilai kekerasan yang diperoleh cukup mencerminkan kekuatan material. Uji kekerasan berfungsi sebagai metode untuk memastikan pengaruh perlakuan termal atau kriogenik terhadap suatu zat. Bahan yang mengalami perlakuan panas dapat dinilai dengan mengukur

kekerasan permukaan, yang memberikan informasi berharga mengenai perubahan kekuatan bahan.

Hasilnya, pengujian menyeluruh memfasilitasi manajemen kualitas bahan yang efisien. Melalui perlakuan termal, sifat-sifat logam dapat diubah agar sesuai dengan kualitas mekanis yang diinginkan. Proses anil, lebih tepatnya, menjadikan material lebih lentur dengan menyebabkan perubahan karakteristiknya.

Prosedur pengelasan terdiri dari beragam teknik, salah satunya adalah Gas Metal Arc Welding (GMAW). Pengelasan Busur Logam Gas (GMAW) melibatkan peleburan beberapa zat logam melalui peleburan lokal, menggunakan elektroda (batang kawat atau logam pengisi) yang tidak dapat dibedakan dari logam dasar. Elemen penting dari prosedur ini adalah penggunaan gas pengawet untuk melindungi area pengelasan. Elektroda umumnya berbentuk kawat heliks (rol), yang gerakannya dikontrol secara otomatis oleh motor listrik pada peralatan las. Argon, helium, karbon dioksida, dan nitrogen adalah beberapa gas pelindung yang digunakan dalam pengelasan busur logam gas (GMAW). Namun demikian, argon dan helium lebih disukai karena kemampuannya menghasilkan busur yang stabil dengan percikan api minimal, sehingga menghasilkan kualitas las yang unggul. Di sisi lain, penggunaan karbon dioksida dan nitrogen mempunyai kecenderungan untuk meningkatkan terjadinya percikan api dan mengganggu kelancaran pengangkutan logam cair. Gas inert berfungsi sebagai pelindung terhadap proses oksidasi yang disebabkan oleh udara sekitar, sehingga menjamin integritas keseluruhan lasan. Pengelasan Busur Logam Gas (GMAW) sering dilakukan secara otomatis atau semi-otomatis.



Baja

Baja adalah amalgamasi logam di mana besi sebagai unsur dasarnya, dan karbon. Karbon memainkan peran penting dalam baja dengan berfungsi sebagai bahan penguat. Selain itu, berbagai unsur paduan, termasuk mangan (Mn), kromium (Cr), vanadium, dan nikel, sering kali diintegrasikan. Penggabungan karbon menambah kekakuan dan potensi tarik baja. Namun demikian, hal ini disertai dengan kerugian berupa meningkatnya kerapuhan dan berkurangnya kelenturan. Pengaruh utama karbon pada baja terlihat pada sifat kekokohan, kekakuan, dan pragmatismenya. Peningkatan kadar karbon berkontribusi terhadap peningkatan kekerasan, namun hal ini juga membuat baja menjadi rapuh dan tidak cocok untuk beberapa aplikasi (Davis, 1982).

Struktur Baja

Baja, terdiri dari unsur besi (Fe) dan karbon (C), mempunyai kemampuan untuk digabungkan dengan banyak zat lain untuk menghasilkan berbagai macam paduan baja. Ini banyak digunakan di sektor global, seperti komponen otomotif, trafo listrik, dan proses industri lainnya seperti fabrikasi lembaran besi dan ekstrusi. Pemilihan baja sebagian besar dipengaruhi

oleh penggunaannya dan sesuai dengan perubahan kebutuhan berbagai industri, terutama di bidang otomotif, di mana preferensi terhadap kendaraan bermotor, komponen mesin, bahan konstruksi, dan sektor lainnya ditentukan oleh karakteristik mekanis yang diinginkan. Kelenturan baja patut diperhatikan, karena logam yang terlalu kaku dapat menimbulkan kesulitan dalam prosedur pembentukan. Baja memberikan spektrum pengerasan yang luas, memungkinkan modifikasi untuk memenuhi tuntutan sifat mekanik tertentu (Troxell, 1998). Dalam pekerjaan ini, fokus utama adalah mengoptimalkan konfigurasi dan karakteristik material agar dapat mencapai umur panjang yang maksimal. Dengan mendalamnya penelitian dan analisis, tujuan kami adalah mencari kombinasi yang paling efektif dan efisien dalam memaksimalkan daya tahan material terhadap berbagai tekanan dan kondisi lingkungan. Upaya ini didasarkan pada keyakinan bahwa dengan mengidentifikasi faktor-faktor kritis yang mempengaruhi umur panjang, kita dapat merancang material yang lebih tahan lama dan dapat diandalkan. Selain itu, upaya ini juga bertujuan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan material, meminimalkan dampak lingkungan, dan mendukung keberlanjutan dalam penggunaan sumber daya. Dengan demikian, pekerjaan ini tidak hanya berkaitan dengan pencarian keunggulan teknis, tetapi juga bertujuan untuk memberikan dampak positif dalam jangka panjang melalui inovasi dan perbaikan berkelanjutan.

Holding Time

Durasi periode retensi sangat penting dalam mencapai kekerasan maksimal selama proses pengerasan, karena hal ini memerlukan pemeliharaan material pada suhu pengerasan untuk menjamin pemanasan yang merata. Tahap ini sangat penting untuk mencapai komposisi austenit yang seragam dan integrasi karbida ke dalam austenit, sehingga memungkinkan dispersi karbon dan unsur paduan lainnya. Durasi periode holding memainkan peranan penting dalam proses transformasi, karena waktu holding yang tidak tepat atau terlalu cepat dapat mengakibatkan perubahan yang tidak lengkap dan tidak merata. Di sisi lain, durasi penahanan yang terlalu singkat dapat menyebabkan penurunan kekerasan akibat pemecahan karbida yang tidak memadai dalam larutan. Sebaliknya, durasi penahanan yang terlalu lama dapat memicu metamorfosis, yang selanjutnya menyebabkan pembesaran butir, yang pada akhirnya mengurangi ketangguhan (Thelning, 1984). Penggambaran durasi retensi yang sesuai untuk berbagai jenis baja dijelaskan dalam tabel yang tersedia untuk mendapatkan bantuan.

Jenis baja	Waktu tahan (menit)
Baja karbon dan baja paduan rendah	5-15
Baja paduan menengah	15-25
<i>Low alloy tool steel</i>	10-30
<i>High alloy chrome steel</i>	10-60
<i>Hot-work tool steel</i>	15-30

Quenching

Quenching adalah proses metalurgi yang memerlukan penurunan suhu suatu zat secara cepat. Prosedur ini dilakukan untuk mencegah segala kemungkinan yang mungkin terjadi selama proses pendinginan yang melambat, seperti perkembangbiakan biji-bijian. Secara umum, proses quenching mengakibatkan penurunan ukuran butiran di dalam suatu paduan logam dan mempunyai kemampuan untuk meningkatkan kekerasan paduan tersebut. (Syaefudin, 2001).

Pengujian Kekerasan

Secara umum, konsep kekerasan mengacu pada ketahanan suatu zat terhadap deformasi dan bertindak sebagai indikator kemampuannya untuk menahan deformasi plastis atau permanen. Bagi insinyur desain, kekerasan sering dianggap sebagai indikator kemudahan memanipulasi logam dan ukuran tertentu yang memberikan wawasan tentang kekuatan dan perlakuan panas (Dieter, 1987). Deformasi plastis terjadi ketika suatu zat, ketika diberikan gaya, mengalami modifikasi struktur mikro yang menghambatnya untuk kembali ke bentuk awalnya. Di sisi lain, deformasi elastis memungkinkan struktur mikro kembali ke bentuk aslinya. Prosedur untuk mengevaluasi kekerasan mencakup dimulainya inspeksi dengan menerapkan indentor pada kemiringan 90°C pada permukaan logam yang diperiksa. Metode pengujian kekerasan diklasifikasikan ke dalam banyak kategori, termasuk pengujian Brinell, Rockwell, dan Vickers.

Uji Tarik

Uji tarik berfungsi sebagai alat untuk menilai sifat-sifat suatu zat. Dengan memberikan tegangan pada suatu zat, kita dapat memantau reaksinya terhadap gaya tarikan dan mengukur derajat pemanjangannya. Peralatan yang digunakan untuk melakukan pemeriksaan tarik memerlukan pegangan yang kuat dan kekakuan yang tinggi. Hasil uji tarik memberikan pengamatan yang signifikan, dan dengan penerapan gaya berkelanjutan hingga material mengalami patah (dalam kasus logam), profil tarik menyeluruh diperoleh dalam bentuk kurva, seperti yang ditunjukkan dalam eksperimen.

PROSEDUR EKSPERIMEN

Pada bab ini menjelaskan bagaimana hasil data dari proses *Hardening* pada material baja ST-42 dengan variasi arus pengelasan pada uji kekerasan, dan uji tarik.

Jenis Penelitian

Penelitian ini adalah sebuah eksperimen, yang dirancang dengan cermat untuk mengumpulkan data langsung di lingkungan laboratorium terkendali, yang mencakup banyak terapi. Menurut Sugiyono (2010:107), penelitian eksperimental adalah suatu teknik yang digunakan untuk menguji pengaruh intervensi tertentu terhadap variabel-variabel dalam lingkungan yang terkendali. Dalam studi khusus ini, kelompok terpilih menjalani intervensi yang tepat, diikuti dengan penilaian lebih lanjut untuk mengevaluasi nilai uji kekerasan dan tarik material.

Variabel Penelitian

1. Variabel bebas: Holding time 15 menit
2. Variabel tetap:
 - Proses hardening
 - Material Baja ST 42
 - Temperatur 800°C
 - Media pendingin Oli SAE 10
3. Variabel terikat:
 - Perubahan kekerasan

Pengujian Hardening

Prosedur fortifikasi baja ST 42 memerlukan perubahan struktur mikro austenit menjadi martensit. Hal ini dicapai dengan menempatkan baja pada suhu 800°C, mempertahankannya pada suhu ini selama 15 menit, dan segera mendinginkannya menggunakan media pendingin berbahan dasar minyak.

Pengujian Hardness

Penilaian kekerasan dilakukan di laboratorium teknik mesin Politeknik Negeri Malang. Benda uji yang digunakan dibuat dari baja ST 42 dengan ukuran tebal 10 mm, lebar 20 mm, dan panjang 200 mm. Evaluasi kekerasan menggunakan alat uji kekerasan Brinell dengan bola baja sebagai indentor. Untuk mengumpulkan data, pengukuran diperoleh dari tiga lokasi unik pada setiap spesimen: Logam Las, Zona Terpengaruh Panas (HAZ), dan Logam Dasar. Daerah-daerah ini menghadapi beragam kecepatan dan aliran listrik selama evaluasi.

Pengujian Tarik

Adapun material yang digunakan yaitu baja ST 42 dengan ketebalan 10mm, lebar 20mm, dan Panjang 200mm. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pertambahan Panjang pada spesimen dan mengetahui kekuatan tarik pada spesimen tersebut.

Data diameter lekukan digunakan untuk mencari data selanjutnya yaitu data hasil uji kekerasan. Berikut contoh perhitungan uji kekerasan pada baja ST 42 spesimen A1 perlakuan dingin menggunakan oli:

Data perhitungan kekerasan kemudian dihitung untuk mencari nilai tengah hasil perlakuan pemanasan dan pendinginan. Contoh perhitungan baja ST 42 spesimen A1 pada 3 titik daerah weld metal, HAZ, dan base metal dengan pendingin oli:

HBN rata – rata =

$$\frac{\text{HBN A1} + \text{HBN A2} + \text{HBN A3}}{3}$$

HBN rata – rata =

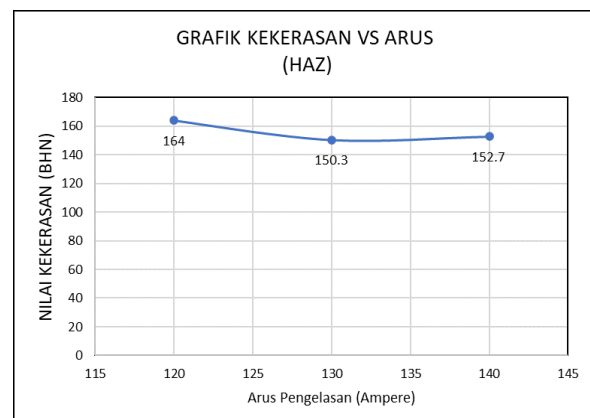
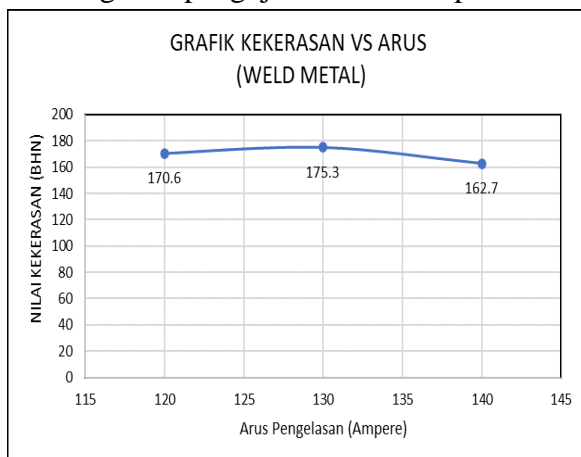
$$\frac{152 + 191 + 162}{3}$$

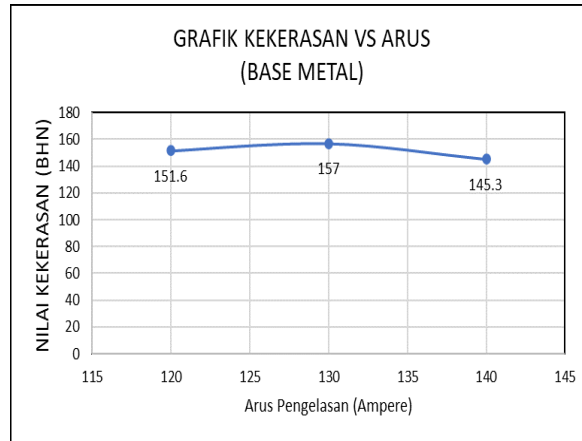
HBN rata – rata =

$$\frac{512}{3}$$

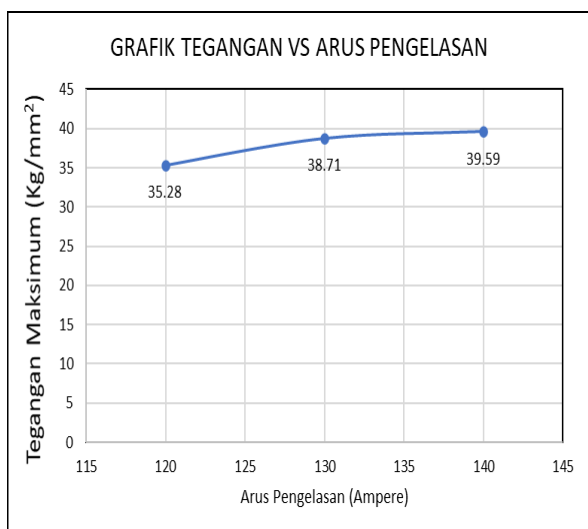
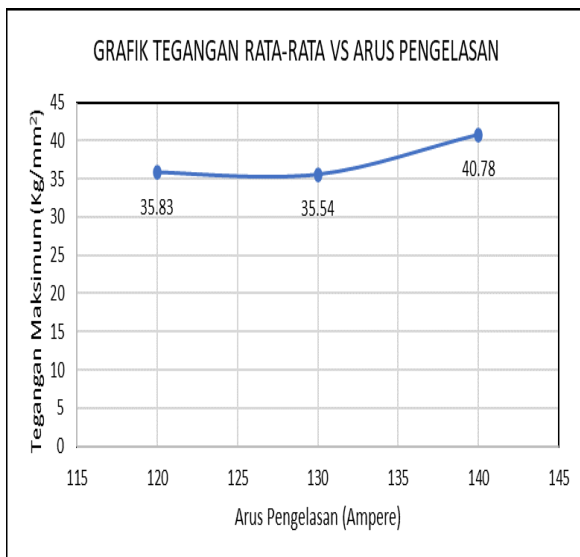
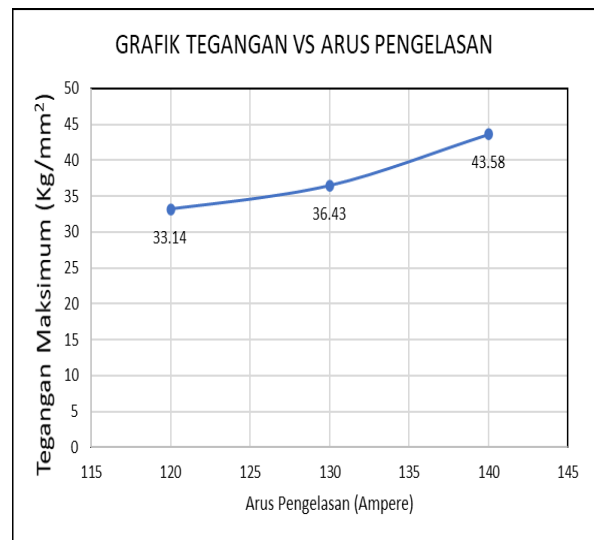
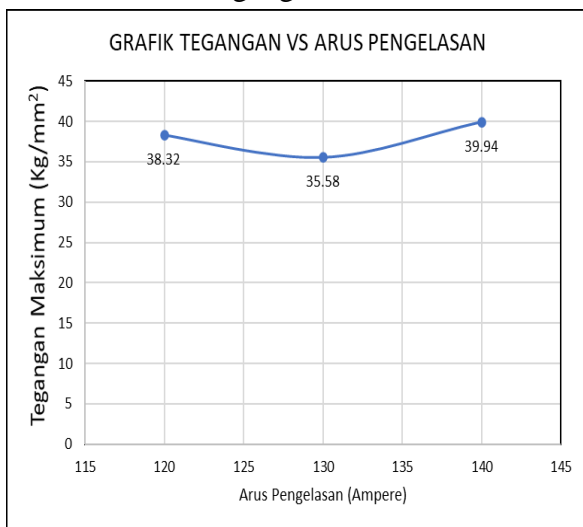
HBN rata – rata = 170,6 HBN

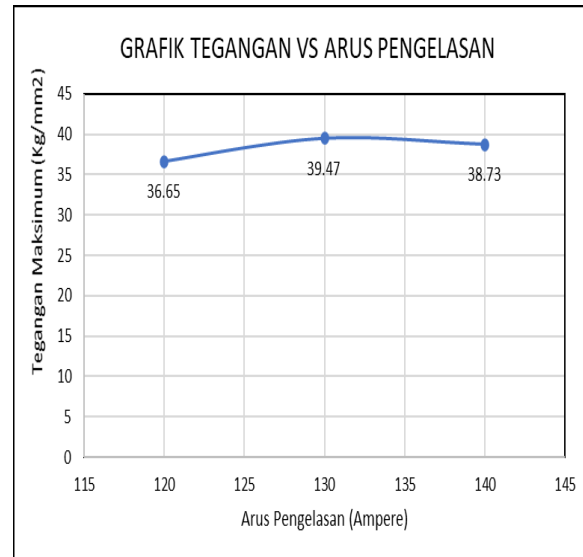
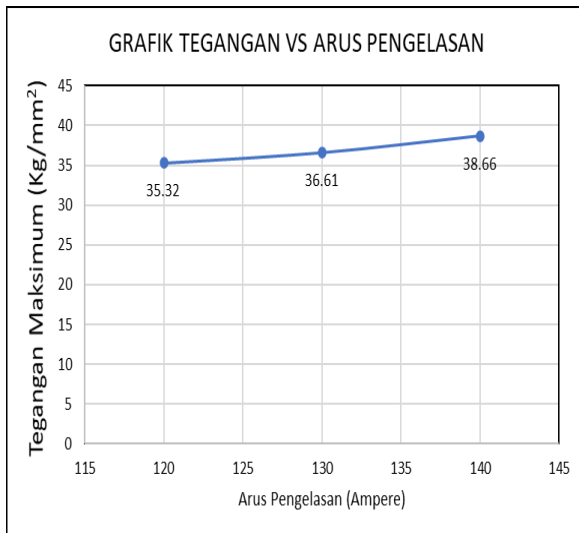
Berikut grafik pengujian kekerasan pada daerah weld metal, HAZ, dan base metal.





Berikut Grafik Tegangan Tarik Maksimum





Dari hasil penelitian pengelasan Dari grafik diatas dapat diketahui semakin besar arus maka semakin tinggi tegangan tarik maksimum pada material baja ST-42 dengan perlakuan panas 800°C menggunakan media pendingin oli sebesar 39,94 (kg/mm²) dengan arus 140A.

material baja ST-42 dengan pengelasan GMAW menggunakan variasi kecepatan pengelasan dan arus pengelasan dan menggunakan media pendingin Heat Treatment OLI SAE 10W-30 dapat disimpulkan sebagai berikut:

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan temuan investigasi pada proses Gas Metal Arc Welding (GMAW) yang diterapkan pada baja ST-42, dimana dilakukan perubahan kecepatan dan arus pengelasan, selain itu juga dilakukan penerapan Heat Treatment dengan menggunakan OLI SAE 10W-30 sebagai pendingin, pengurangan berikut dapat dilakukan:

1. Hasil Pengujian Tarik dengan variasi kecepatan 55mm/s, 52mm/s, dan 49mm/s dan variasi arus 120A, 130A, Dan 140A. Dan media pendingin OLI SAE 10W-30 kekuatan tarik maksimum terbesar berada di pengelasan, arus 140A dengan kode spesimen G2 dengan kekuatan tarik maksimum sebesar 33,14 kg/mm². Dan tegangan maksimum terendah yaitu berada pada kode spesimen A2 di arus 120 A sebesar 43,58 kg/mm². Dan kecepatan pengelasan 52mm/s.

Dalam media pendingin oli yang digunakan, dapat disimpulkan bahwa peningkatan arus pengelasan dikaitkan dengan peningkatan kekuatan tarik maksimum. Pada tegangan puncak minimum, yang diukur pada kondisi arus rendah, tegangan maksimum yang dicapai akan berkurang. Arus pengelasan yang meningkat mendorong peningkatan penetrasi logam las dan perluasan Zona Terpengaruh Panas (HAZ). Sebaliknya, arus pengelasan yang lebih besar menghasilkan manik las yang lebih lebar. Arus pengelasan juga mempengaruhi pengenceran atau pencampuran, dengan arus pengelasan yang lebih tinggi menyebabkan pengenceran yang lebih besar, yang menunjukkan tingkat peleburan logam dasar yang lebih besar.

2. Pengujian Kekerasan Brinell dengan pengambilan sampel titik pada daerah Weld Metal, HAZ, Base Metal. Dan nilai tertinggi kekerasan HBN berada pada arus 130 A dengan kode spesimen D, dan kecepatan Pengelasan 55mm/s sehingga nilai kekerasan yang di dapat sebesar 175,3 HBN Pada daerah weld metal , dan pada daerah HAZ nilai tertinggi berada pada arus 120A pada kode spesimen A dengan kecepatan pengelasan 55mm/s sebesar 164 HBN. Dan pada daerah base metal yang tertinggi yaitu pada arus 130 A pada kode spesimen E, dengan kecepatan pengelasan 52mm/s sebesar 159 HBN.

Saran

Berdasarkan temuan tersebut, disarankan beberapa rekomendasi sebagai berikut:

1. Penyelidikan selanjutnya harus mendalami penerapan perlakuan panas dengan derajat suhu pengerasan yang bervariasi, mengingat penelitian ini hanya terkonsentrasi pada suhu tertentu.
2. Saat melakukan pengujian tarik pada material berbentuk pelat, disarankan untuk memasukkan perubahan lapisan las untuk memudahkan perbandingan hasil data uji tarik dengan berbagai jenis lapisan.
3. Berdasarkan temuan penelitian ini, disarankan untuk menggunakan arus pengelasan 140 A, kecepatan pengelasan 52 mm/s, dan media pendingin oli untuk pengelasan, khususnya saat mengerjakan material baja ST-42, seperti yang ditunjukkan kekuatan tarik maksimum tertinggi yaitu sebesar 43,58 kg/mm².

REFERENSI

- [1]. Sonawan, H., Suratman, R., 2004, Pengantar Untuk Memahami Pengelasan Logam, Alfa Beta, Bandung.
- [2]. Suharto, 1991, Teknologi Pengelasan Logam, Rineka Cipta, Jakarta.
- [3]. M. Yogi Nasrul L., Heru Suryanto, Abdul Qolik. 2016. Pengaruh Variasi Arus Las SMAW Terhadap Kekerasan Dan Kekuatan Tarik Sambungan Dissimilar Stainless Steel 304 Dan St37.
- [4]. Wiryosumarto. 2000. Teknologi Pengelasan Logam. Jakarta: PT. Pradya Paramita.
- [5]. Wiryosumarto, H. dan Okumura, T. 1996. Teknologi Pengelasan Logam. Jakarta: PT. Pradya Paramita.
- [6]. Rochim Suratman. (1994), Panduan Proses Perlakuan Panas, Lembaga Penelitian Institut Teknologi Bandung.
- [7]. Moh.Jufri Nur Subeki, Arizal Asfat, "Efek kecepatan pengelasan terhadap sifat mekanik hasil pengelasan FCAW pada pelat baja A 36, SENTRA(2017).
- [8]. S.Gusti Rusydi Furqon, "Analisa Uji Kekerasan Pada Poros Baja ST 60 Dengan Media Pendingin Yang Berbeda," Jurnal Teknik Mesin, Vol. 1 No. 2, 2016.
- [9]. L. P. Ketaren, U. Budiarto, and A. W. B. Santosa, "Analisa Pengaruh Variasi Kampuh Las dan Arus Listrik Terhadap Kekuatan Tarik Dan Struktur Mikro Sambungan Las GMAW (Gas Metal ARC Welding) Pada Aluminium 6061," J. Tek. Perkapalan, vol. 7, no. 4, 2019.
- [10]. R. Setiaji, "Pengujian Tarik," Laboratorium Metalurgi Fisik FTUI, 2009.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN