

Analisa Kekuatan Tarik Dan Kekerasan Pada Baja ST.32 Menggunakan Elektroda E 6013 Dan E 7016

Andreas Bari Rante Rerung¹, Corvis L. Rantererung², Salma Salu³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia Paulus
Jl. Perintis Kemerdekaan Km 13 Daya Makassar, 90243
Email: rerungbari@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini berfokus pada analisa kekuatan tarik dan kekerasan pada baja ST.32 memakai elektroda E 6013 dan E 7016. Baja ST.32 dipilih karena material ini sering digunakan dalam berbagai aplikasi industri yang membutuhkan baja yang memiliki keuletan yang tinggi. Sampel penelitian dibuat dengan memakai teknik pengelasan *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW), serta selanjutnya dilakukan pengujian tarik dan uji kekerasan untuk menilai kualitas hasil lasan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa elektroda E 7016 menghasilkan nilai kekuatan tarik lebih tinggi dibanding elektroda E 6013. Selain itu, variasi jenis elektroda juga mempengaruhi distribusi kekerasan pada zona las, dimana elektroda E 7016 cenderung menghasilkan distribusi kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan elektroda E 6013. Penelitian ini menyimpulkan bahwa pemilihan jenis elektroda yang tepat dalam proses pengelasan SMAW sangat penting untuk meningkatkan kualitas sambungan las pada baja ST.32. Temuan ini memberikan panduan praktis bagi para praktisi industri pengelasan dalam memilih jenis elektroda yang optimal untuk aplikasi spesifik yang melibatkan baja ST.32.

Kata kunci: pengelasan SMAW, baja ST.32, elektroda E 6013 dan E 7016, kekuatan tarik dan kekerasan.

Abstract

This research focuses on analyzing the tensile strength and hardness of ST.32 steel using E 6013 and E 7016 electrodes. The research samples were made using the Shielded Metal Arc Welding (SMAW) welding technique, then tensile testing and hardness testing were carried out to assess the quality of the weld results. The test results show that the E 7016 electrode produces a higher tensile strength value compared to the E 6013 electrode. In addition, variations in electrode type also influence the hardness distribution in the weld zone, where the E 7016 electrode tends to produce a higher hardness distribution than the E 6013 electrode. This research concludes that selecting the right electrode type in the SMAW welding procedure is crucial to raising the grade of welded joints in ST.32 steel. These findings provide practical guidance for welding industry practitioners in selecting the optimal electrode type for specific applications involving ST.32 steel.

Keywords: SMAW welding, ST.32 steel, E 6013 and E 7016 electrodes, tensile strength and hardness.

1. Pendahuluan

Pengelasan merupakan teknik penyambungan logam dimana logam induk dan logam pengisi dicairkan dengan atau tanpa logam pengisi sehingga membentuk logam continue. Pengelasan *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) merupakan proses penyambungan logam yang memakai tanaga listrik sebagai sumber panas dan elektroda sebagai bahan tambahannya [1].

Logam merupakan suatu unsur kimia dimana memiliki sifat kekerasan kuat, dapat mengantarkan panas serta listrik, kemudian memiliki titik leleh yang tinggi. Dari membuat variasi terhadap kandungan karbon serta unsur paduan yang lain, banyak jenis mutu dari baja mampu diperoleh [2].

Persentase karbon baja rendah % C < 0,3 %. Baja ini lunak, sangat lentur, dan memiliki kekerasan yang relatif rendah. Baja karbon rendah biasanya dipakai didalam bentuk pelat, sekrup, ulir serta baut [3].

Elektroda berselaput yang digunakan pada las SMAW mempunyai perbedaan komposisi selaput

maupun kawat inti. Pelapisan fluks pada kawat inti dapat menggunakan cara destrusi, semprot atau celup. Ukuran standar diameter kawat inti dari 1,5 mm sampai 7 mm dengan panjang antara 350 mm sampai 450 mm. Jenis-jenis senyawa kimia selaput fluks pada elektroda misalnya seluso, kalsium karbonat (Ca CO₃), titanium dioksida (rutil), kaolin, kalium oksida mangan, oksida besi, serbuk besi, besi silicon, besi mangan dan sebagainya dengan persentase berbeda-beda, untuk tiap jenis elektroda [1]. E 6013 termasuk elektroda jenis selaput rutile yang bisa menghasilkan penembusan sedang. Elektroda ini juga dapat digunakan segala posisi, tetapi biasanya baik untuk posisi tegak arah ke bawah. Elektroda E 6013 yang mengandung lebih banyak kalium memudahkan pemakaian pada voltage mesin yang rendah [4]. E 7016 merupakan jenis elektroda dengan salut yang terbuat dari baja lunak khusus untuk las busur listrik (SMAW). Elektroda ini memiliki kestabilan nyala api yang sangat baik, terfokus serta stabil sehingga cocok untuk pengelasan *root pass* serta pengelasan segala posisi [5].

Definisi dari *American Welding Society* (AWS) pengelasan yakni ikatan metallurgi, yang dilakukan dalam kondisi cair atau meleleh pada sambungan logam atau paduan. Ringkasnya, pengelasan adalah teknik menyambungkan batang logam dengan memakai energi panas. Karakteristik logam yakni satu unsur memengaruhi mutu hasil penyambungan logam [6].

Shielded Metal Arc Welding (SMAW) atau yang biasa dikenal dengan istilah *Manual Metal Arc Welding* (MMAW) merupakan proses penyambungan dua logam atau atau lebih yang memanfaatkan sumber panas dari tenaga listrik yang digunakan untuk membangkitkan nyala listrik melalui elektroda yang meleleh atau mencairkan permukaan logam yang akan disambung [7].

Logam induk pengelasan ini meleleh akibat menerima panas busur listrik antara ujung elektroda serta permukaan benda kerja. Mesin las menyediakan busur listrik. Kawat dimana telah dilapisi lapisan pelindung berupa arus listrik fungsinya menjadi elektroda. Elektroda ini menyatu bersama logam dasar selama pengelasan serta mengeras membentuk kampuh las. Ketika ujung elektroda meleleh serta membentuk butiran diangkat arus busur dihasilkan, maka terjadilah pergerakan logam elektroda. Partikel logam cair yang diangkat menjadi lebih halus ketika dialiri arus listrik tinggi, dan sebaliknya ketika dialiri arus listrik rendah. Kemampuan logam untuk mengelas sangat dipengaruhi oleh pola migrasi logam cair. Jika pemindahan dilakukan dengan butiran halus, logam memiliki kualitas pengelasan yang tinggi[8].

Elektroda berlapis fluks berfungsi sebagai pembangkit busur dan material pengisi dalam proses pengelasan busur listrik yang diumpulkan, yang merupakan dasar untuk pengelasan busur elektroda berlapis SMAW. Ujung elektroda las (kawat) serta bahan dasar dicairkan oleh panas dihasilkan di antara keduanya, sehingga menciptakan kawah las cair yang akhirnya membentuk lapisan las. Selama proses berlangsung, lapisan elektroda (*coating*) yang berfungsi sebagai fluks terbakar. Gas yang dihasilkan membantu menstabilkan busur dan melindungi proses dari pengaruh luar seperti oksidasi. Ketika elektroda atau lapisan fluks rusak (hancur), gas pelindung terbentuk. Salah satu jenis teknik pengelasan sering dipakai didalam pembuatan kapal adalah pengelasan SMAW [9].

Baja karbon yakni baja struktural sering digunakan dalam pembuatan dan konstruksi komponen mesin. Untuk mendapatkan kualitas mekanis yang sesuai dengan tujuannya, baja karbon ini merupakan kombinasi beberapa komponen. Baja tersebut merupakan paduan FeC dengan kandungan karbon maksimum 1,7%. Diantara beberapa jenis baja, baja karbon merupakan salah satu yang karakteristiknya ditentukan oleh jumlah karbon yang dikandungnya [10].

Kampuh V terbagi atas dua jenis, yaitu kampuh V terbuka dan tertutup. Plat yang memiliki ketebalan 6–

15 mm, sudut kampuh 60° - 70° , jarak antar akar 2 mm, serta tinggi akar 1-2 mm disambung menggunakan kampuh V terbuka [11]. Karena kualitas lasnya yang sangat baik, kampuh V merupakan desain paling populer didalam aplikasi konstruksi. Luas kampuh V lebih besar dari pada jenis kampuh lainnya, dan juga menghasilkan las yang lebih baik.

Pengujian tarik bertujuan untuk mengetahui sifat mekanik suatu logam. Dalam pengujian tarik, logam diberi beban dengan menerapkan gaya berlawanan ke arah yang menyimpang dari titik pusat. Pengujian ini berfungsi menjadi dasar mengevaluasi serta meneliti kekuatan tarik logam. Hasil kekuatan tarik terhadap logam menyebabkan perubahan pada logam, yaitu pergeseran butiran kristal hingga gaya maksimum menyebabkan sambungan kristal putus [12].

Pengujian kekerasan bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan material dalam menghadapi deformasi. Teknik pengujian kekerasan terbagi menjadi tiga model yaitu berdasarkan dinamis, tekanan dan goresan. Pengujian yang lazim dan mudah digunakan adalah pengujian berbasis penekanan. Ada tiga cara untuk menguji kekerasan yaitu metode *rockwell*, metode *brinell* serta metode *vickers*. Teknik *brinell* dan *vickers* berfokus pada hubungan antara kekuatan material dan luas penampang, sedangkan metode *rockwell* didasarkan pada kedalaman penekan pada benda uji [13].

2. Metode

Laboratorium Metalurgi Fisik, Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Paulus Indonesia menjadi lokasi penelitian ini pada bulan November 2024 - Januari 2025. Alat yang dipakai terdiri dari mesin las SMAW, mesin gurinda tangan, kikir, alat pelindung diri, penggaris, dan sigma. Bahan yang digunakan meliputi baja ST.32, elektroda E 6013 dan elektroda E 7016. Dimensi spesimen yang dipakai adalah sebagai berikut:

Panjang spesimen	: 160 mm
Lebar	: 20 mm
Tebal	: 4,5 mm
Radius fillet	: 10 mm
Panjang uji	: 60 mm
Panjang grip	: 40 mm
Lebar grip	: 40 mm

Proses pengelasan untuk spesimen pengujian tarik yaitu sebagai berikut:

Pengelasan spesimen untuk setiap jenis elektroda yaitu 3 spesimen jadi ada 6 spesimen total untuk uji tarik. Ukuran dimensi uji tarik mengacu pada standar uji ASTM (*American Standard Testing and Material*) E-83.

Proses pengelasan untuk spesimen uji kekerasan yaitu sebagai berikut:

Pengelasan untuk uji kekerasan tiap jenis elektroda memiliki 3 spesimen, jadi ada 6 total spesimen untuk uji kekerasan. Standar uji kekerasan yang digunakan

yaitu (*American Standard Testing and Material*) ASTM E-18 dimana yakni standar uji kekerasan bahan logam.

Terdapat beberapa prosedur atau cara-cara pengujian visual di antaranya pengujian tarik dan pengujian kekerasan yaitu sebagai berikut:

Pengujian Tarik

Berikut merupakan cara dalam pengujian tarik:

- Siapkan kertas milimeter blok serta masukkan ke dalam plotter,
- Spesimen mulanya diberi beban 0 kg sampai spesimen putus pada saat uji;
- Pada saat beban maksimum diberikan, spesimen tersebut mampu menahannya;
- Pengukuran panjang dan luas penampang benda uji dilakukan setelah benda uji tarik putus;
- Beban maksimum benda uji dapat diketahui ketika benda kerja putus setelah ditarik;
- Data beban maksimum bisa dilihat pada dilayar digital setelah benda kerja putus;
- Hasil diagram dari spesimen yang kita uji ditampilkan pada monitor mesin uji tarik;
- Dengan menggunakan data yang telah kita kumpulkan dan persamaan saat ini, kita kemudian dapat menentukan kekuatan tarik spesimen.

Pengujian Kekerasan

Berikut ini adalah cara-cara dalam pengujian kekerasan:

- Siapkan benda kerja untuk pengujian serta pastikan benda kerja bebas korosi ataupun kotoran.
- Pasangkan indentor ke mesin uji *rockwell* menggunakan diameter bola yang umum adalah 10 mm;
- Selanjutnya, bersihkan meja uji dari kotoran yang menempel untuk memastikan sterilitas selama pengujian;
- Letakkan benda kerja pada meja uji dan sesuaikan pada lima titik daerah logam induk, lima titik daerah las dan lima titik daerah HAZ.
- Selanjutnya, gerakkan tuas ke kanan untuk menaikkan meja uji dan ke kiri untuk menurunkannya;
- Atur besarnya beban yang akan diberikan hingga indikator menyala berwarna hijau dengan cara memutar knop pengatur beban di mesin untuk menampilkan beban yang diberikan;
- Selanjutnya, catat hasil uji kekerasan dan ulangi proses untuk setiap benda kerja yang akan diuji.

3. Hasil dan Pembahasan

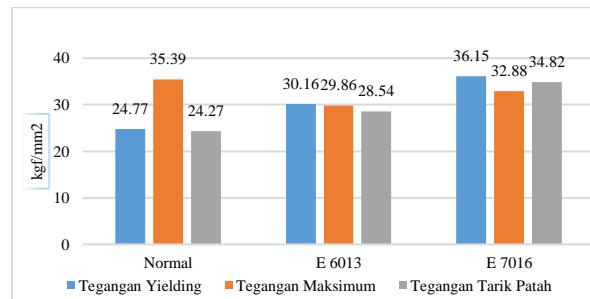
Prosedur perhitungan dan analisis data kemudian dilakukan dengan cara menggunakan data uji. Data spesimen awal yang digunakan untuk menghitung data uji tarik diketahui yakni:

- Panjang awal spesimen (L_o) = 60 mm
- Lebar spesimen (W_o) = 20 mm
- Tebal spesimen (t_o) = 4,5 mm

Berdasarkan persamaan saat ini, spesimen akan dimanfaatkan melalui data hasil uji tarik dimana sudah dijalankan yakni spesimen tanpa perlakuan pengelasan (spesimen normal) melalui data hasil pengujian:

- Beban tarik yielding (F_y) : 2229,6 kgf
- Beban tarik maksimum (F_u) : 3185,49 kgf
- Beban tarik patah (F_p) : 2184,84 kgf

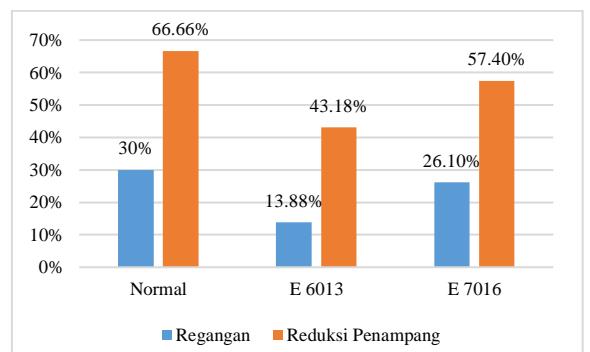
3.1. Uji Tarik



Gambar 1. Grafik hubungan tegangan tarik versus jenis elektroda

Berdasarkan gambar 1 hubungan tegangan tarik vs jenis elektroda E 6013 serta E 7016 memakai arus 90 A menyatakan jika spesimen dengan menggunakan elektroda E 6013 memiliki nilai rata-rata tegangan tarik yielding berjumlah 30,16 kgf tegangan tarik maksimum 29,86 kgf serta tegangan tarik patah sebanyak 28,54 kgf kemudian spesimen yang menggunakan elektroda E 7016 memiliki tegangan tarik maksimum sebesar 32,88 kgf, tegangan tarik patah sebesar 34,82 kgf, dan nilai tegangan yielding rata-rata sebesar 36,15 kgf.

Pengaruh elektroda pada spesimen baja ST.32 dengan menggunakan kampus las V dengan jenis elektroda E 6013 dan E 7016 inilah yang menyebabkan perbedaan pada masing-masing nilai tegangan tarik maksimum. Sehingga, bisa dikatakan jika jenis elektroda mempunyai dampak yang signifikan pada pengelasan SMAW guna menentukan hasil pengelasan SMAW yang baik pada baja ST.32.



Gambar 2. Grafik regangan dan reduksi penampang

Regangan

Salah satu faktor kunci dalam menentukan kapasitas suatu material untuk mengalami deformasi

plastis sebelum kegagalan adalah regangan. Spesimen menunjukkan nilai regangan yang relatif tinggi sebesar 30% dalam keadaan normal, bebas dari pengaruh eksternal seperti elektroda. Nilai regangan rata-rata menggunakan elektroda E 6013 adalah 13,88%, yang 16,12% lebih rendah dari spesimen normal, dan nilai regangan rata-rata menggunakan elektroda E 7016 adalah 26,10%, yang 3,9% lebih rendah dari spesimen normal. Hal ini menunjukkan bahwa bahan tersebut dapat meregang atau mengalami deformasi plastik yang signifikan sebelum putus atau rusak secara permanen.

Banyaknya elemen yang berkaitan dengan struktur mikro dan mekanika material dapat menyebabkan tingkat regangan tinggi yang ditemukan pada spesimen normal. Secara umum, material dengan nilai regangan tinggi memiliki kualitas ketangguhan yang kuat, artinya material tersebut dapat menyerap banyak energi sebelum putus. Hal ini sering kali merupakan hasil dari struktur kristal dalam logam atau paduan, yang memungkinkan dislokasi bergeser dan atom bergerak dengan hambatan minimal. Material dapat mengalami deformasi plastis yang cukup besar berkat teknik ini tanpa mengalami kerusakan struktural secara langsung.

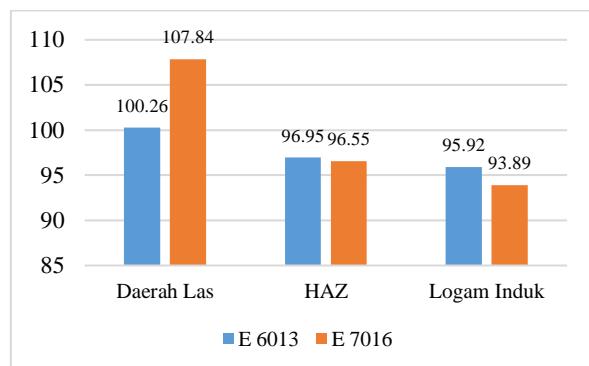
Jika mempertimbangkan semua hal, regangan normal yang tinggi pada suatu material menunjukkan ketangguhan dan kapasitasnya untuk menahan deformasi plastis tanpa langsung rusak. Keseimbangan karakteristik mekanis material, kekuatan ikatan antar atom, dan struktur kristal semuanya memiliki dampak signifikan pada nilai regangan tinggi

Reduksi Penampang

Reduksi penampang merupakan indikator penting untuk mengevaluasi kapasitas deformasi plastis suatu material, yang sering kali dihubungkan dengan kemampuan material untuk menyerap energi sebelum gagal. Nilai reduksi penampang pada spesimen normal adalah 66,66%. Variasi signifikan dalam pengurangan penampang juga terlihat saat jenis elektroda digunakan. Nilai pengurangan penampang rata-rata turun menjadi 43,18% saat elektroda E 6013 digunakan, yang menunjukkan penurunan sebesar 23,48% dari spesimen standar. Pengurangan ini menunjukkan bahwa penggunaan elektroda E 6013 membuat material lebih sulit mengalami deformasi plastik. Hal ini mungkin disebabkan oleh perubahan struktural pada material atau pengerasan termal lokal.

Meskipun hasilnya secara signifikan lebih tinggi (14,22%) saat menggunakan elektroda E 7016, tetapi masih ada penurunan sebesar 9,26% dibandingkan dengan spesimen normal. Penurunan yang jauh lebih kecil ini dapat dianggap sebagai indikasi bahwa material dapat mengalami deformasi plastis yang sedikit lebih banyak dibandingkan saat menggunakan elektroda E 6013, bahkan saat pemanasan dan perubahan pada struktur material masih terjadi.

3.2. Uji Tarik



Gambar 3. Grafik pengujian kekerasan

Di pengujian kekerasan metode *rockwell*, dibuat 15 titik setiap spesimen elektroda tipe E 6013 dan E 7016. Titik-titik tersebut adalah lima titik pada logam induk, lima titik daerah las, serta lima titik daerah HAZ (*Heat-Affected Zone*). Daerah las yakni zona pada material yang mengalami proses pengelasan. HAZ (*Heat-Affected Zone*) merupakan daerah di sekitaran sambungan las tidak meleleh tapi terjadi perubahan sifat material sebab peningkatan suhu. Logam Induk merupakan material logam yang berada disekitar las tetapi tidak terjadi proses pengelasan secara langsung. Tujuan dilakukannya penitikan pada setiap bagian material yaitu untuk mengamati pengaruh berbagai jenis elektroda terhadap distribusi kekerasan material.

4. Kesimpulan

Melalui hasil penelitian, dihasilkan kesimpulan yakni:

- Jenis elektroda berpengaruh terhadap tegangan tarik baja ST.32 dalam proses pengelasan SMAW, dimana tegangan tarik tertinggi diperoleh sebesar 33,80 kgf terjadi pada saat menggunakan elektroda E 7016 dibandingkan dengan menggunakan elektroda E 6013 sebesar 28,95 kgf.
- Jenis elektroda berpengaruh pada kekerasan, yang mana kekerasan tertinggi dihasilkan berjumlah 107,84 HRC pada daerah las yang terjadi menggunakan elektroda E 7016 dibandingkan menggunakan elektroda E 6013 sebesar 100,26 HRC.

Adapun saran dari penelitian ini yakni:

- Memilih elektroda dan desain kampuh tepat sesuai spesifikasi material yang akan dilas.
- Sebelum melakukan pengujian, pastikan terlebih dahulu spesimen yang akan diuji tidak ada kerak ataupun kotoran las untuk memperoleh hasil yang maksimal.
- Sebaiknya pihak kampus lebih memperhatikan alat-alat pengujian dalam leb agar dapat memudahkan mahasiswa dalam melakukan penelitian selanjutnya.

Daftar Pustaka

- [1] Azwinur, A., & Muhazir, M. (2019). Pengaruh jenis elektroda pengelasan SMAW terhadap sifat mekanik material SS400. *Jurnal Polimesin*, 17(1), 19-25.
- [2] Saktisahdan, T. J. (2019). Pengaruh Proses Heat Treatment Terhadap Perubahan Struktur Mikro Baja Karbon Rendah. *Jurnal Laminar*, 1(1), 28-33.
- [3] Mohruni, A. S., & Kembaren, B. H. (2013). Pengaruh Variasi Kecepatan Dan Kuat Arus Terhadap Kekerasan, Tegangan Tarik, Struktur Mikro Baja Karbon Rendah Dengan Elektroda E6013. *Jurnal Rekayasa Mesin Universitas Sriwijaya*, 13(1), 1-8.
- [4] Veranika, R. M., Fauzie, M. A., Ali, H., & Solihin, M. (2019). Studi pengaruh variasi elektroda E 6013 dan E 7018 terhadap kekuatan tarik dan kekerasan pada bahan baja karbon rendah. *Jurnal Desiminasi Teknologi*, 7(2).
- [5] Ilmi, B. (2017). ANALISA PENGGUNAAN KAWAT ELEKTRODA E 7016 UNTUK PENGEELASAN OKSIASETILEN PADA BAJA ST45. *JURNAL DESIMINASI TEKNOLOGI*, 5(2).
- [6] Nugroho, A. (2018). Pengaruh variasi kuat arus pengelasan terhadap kekuatan tarik dan kekerasan sambungan las plate carbon steel ASTM 36. *Jurnal Rekayasa Sistem Industri*, 3(2), 134-142.
- [7] Fadhil, M. (2018). Pengaruh Posisi Pengelasan dan Jenis Elektroda E 7016 dan E 7018 Terhadap Kekuatan Tarik Hasil Las Baja Karbon Rendah Trs 400.
- [8] Bakhori, A. (2017). Perbaikan Metode Pengelasan SMAW (Shield Metal Arc Welding) Pada Industri Kecil di Kota Medan. *Buletin Utama Teknik*, 13(1), 14-20.
- [9] Wirajaya, Y. M., Nugroho, N. Y., & Suwasono, B. (2021). Holding Time pada sifat fisik pengelasan SMAW Baja ASTM-A36 melalui uji penetrasi. *Jurnal Jaring SainTek*, 3(2), 45-50.
- [10] Nasution, M. (2018). Karakteristik baja karbon terkorosi oleh air laut. *Buletin Utama Teknik*, 14(1), 68-75.
- [11] Wahyudi, R., Nurdin, N., & Saifuddin, S. (2019). Analisa pengaruh jenis elektroda pada pengelasan SMAW penyambungan baja karbon rendah dengan baja karbon sedang terhadap tensile strength. *Journal of Welding Technology*, 1(2), 43-47.
- [12] Sardi, V. B., Jokosisworo, S., & Yudo, H. (2018). Pengaruh normalizing dengan variasi waktu penahanan panas (Holding Time) baja ST 46.
- [13] Aminuddin, R. R., Santosa, A. W. B., & Yudo, H. (2020). Analisa kekuatan tarik, kekerasan dan kekuatan puntir baja ST 37 sebagai bahan poros baling-baling kapal (propeller shaft) setelah proses tempering. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 8(3), 368-374.